# สารานุกรม
# เปิดโลกปิโตรเคมี
Petrochemical Encyclopedia

สารานุกรม เปิดโลกปิโตรเคมี
Petrochemical Encyclopedia

บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
555 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจตุจักร เขตจตุจักร
กรุงเทพมหานคร 10900
โทร. 0 2537 2000 www.pttplc.com

สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย
ชั้น 11 ศูนย์เอนเนอร์ยี่คอมเพล็กซ์ อาคาร บี
555/2 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจตุจักร เขตจตุจักร
กรุงเทพมหานคร 10900
โทร. 0 2537 0440-8 www.ptit.org

ISBN 978-974-496-257-7

- ปิโตรเคมีคืออะไร
- พลิตภัณฑ์และกระบวนการพลิต
- คอมพาวนด์และการปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติก
- ระบบลอจิสติกส์และการจัดจำหน่ายพลิตภัณฑ์
- อาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อม



# สารานุกรมเปิดโลกปิโตรเคมี
# Petrochemical Encyclopedia

# กองบรรณาธิการ


**ผู้จัดทำ**
ฝ่ายสื่อสารองค์กร
บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

**ผู้เขียน**
**ปิโตรเคมีคืออะไร**
ดร. สิริจุฑารัตน์ โควาวิสารัช
ดร. เกรียงศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์
ปาริชาต ศิริ
จุฑามาศ นันทิทรรภ

**ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี กระบวนการผลิต คุณสมบัติผลิตภัณฑ์ และการใช้งาน**
ผศ.ดร. ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา
รศ.ดร. ปราโมช รังสรรค์วิจิตร
ผศ.ดร. มานิตย์ นิธิธนากุล
ผศ.ดร. ศิริพร จงผาติวุฒิ
ผศ.ดร. ธรรมนูญ ศรีทะวงศ์
ผศ.ดร. ธัญญลักษณ์ ฉายสุวรรณ
ปฤชญ์ิน นาครทรรพ
กิติพงษ์ เตชะเพิ่มผล
สุเทพ เจริญพงศ์พูล
ธิติวรรณ รุ่งเรืองพัฒนา

**คอมพาวนด์และการปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติก**
ดร. สิริจุฑารัตน์ โควาวิสารัช

**ระบบลอจิสติกส์และการจำหน่ายผลิตภัณฑ์**
มงคล พันธุมโกมล

**อาชีวอนามัย**
กฤษฎา ชัยกุล

**ความปลอดภัย**
ประกอบ เพชรรัตน์
กฤษฎา ประเสริฐสุโข

**สิ่งแวดล้อม**
ดร. จริยา สุขะปาน

**ผู้ดำเนินการ** สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

**ที่ปรึกษากิตติมศักดิ์** คุณหญิงทองทิพ รัตนะรัต

**ที่ปรึกษา** ดร. ศิริ จิระพงษ์พันธ์
ดร. เรืองศักดิ์ จิตติรัตน์สกุล
ดร. เกรียงศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์
วิชัย ธารณเจษฎา
ประไพ นำธรวัช
ฐนันดร์ มฤคทัต

**ประสานงาน** อัจฉรียา โชติกเดชาณรงค์

**บรรณาธิการวิชาการ** รศ. กัญจนา บุณยเกียรติ

**บรรณาธิการอำนวยการ** ณาฐยา เนตรรัตน์

**ผู้ช่วยบรรณาธิการอำนวยการ** สุชาดา ยะมาลี
พิรุณพร เลิศผาติวงศ์

**บรรณาธิการบริหาร** กฤษณ์ ส่องโลก

**บรรณาธิการศิลปกรรม** สาคร มงคล

**รูปเล่ม** วิโรจน์ นาคะ
รุ่งฤทัย พุ่มมา
วิมลมาศ โพธิ์ทอง

**ภาพวาดประกอบ** อำนาจ ลาดภูเขียว

**ช่างภาพ** อธิชาติ ดาแหยม
อนุรักษ์ จตุรงค์ล้ำเลิศ

**สารานุกรม**
**เปิดโลกปิโตรเคมี**
**Petrochemical Encyclopedia**

สงวนลิขสิทธิ์ © บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

**ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ**
National Library of Thailand Cataloging in Publication Data
บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
สารานุกรม เปิดโลกปิโตรเคมี = Petrochemical encyclopedia.-- กรุงเทพฯ : บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2554.
450 หน้า.

1. เคมีภัณฑ์ปิโตรเลียม--คำศัพท์. 2. ปิโตรเลียม--คำศัพท์. 3. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี--คำศัพท์. I. ชื่อเรื่อง.

661.804

**เลขที่มาตรฐานสากลประจำหนังสือ**
ISBN 978-974-496-257-7

**พิมพ์ครั้งที่ 1** พ.ศ. 2554

**เจ้าของลิขสิทธิ์** บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
555 ถนนวิภาวดีรังสิต จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

**จัดพิมพ์** บริษัท มีเดีย เอกซ์เพอร์ทีส อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด
194 ซอยปรีดีพนมยงค์ 46 ถนนสุขุมวิท 71 แขวงคลองตันเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

**แยกสี** บริษัท สุนทรฟิล์ม จำกัด

**พิมพ์และเข้าเล่ม** บริษัท ดับบลิวพีเอส (ประเทศไทย) จำกัด
167/5 หมู่ 4 ถนนบางนา-ตราด (กม. 29.5)
ตำบลบางบ่อ อำเภอบางบ่อ สมุทรปราการ 10560

# สาร



## ประธานเจ้าหน้าที่บริหารและกรรมการผู้จัดการใหญ่ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

นับเป็นเวลากว่า 30 ปี ตั้งแต่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยได้ถือกำเนิดเมื่อปี พ.ศ. 2521 จวบจนวันนี้ที่ได้แปรรูปเป็นบริษัทมหาชน ปตท. ในฐานะบริษัทพลังงานแห่งชาติ ยังคงมุ่งมั่นต่อภารกิจหน้าที่ในการสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้แก่ประเทศ ควบคู่ไปกับการดูแลสังคม ชุมชน และสิ่งแวดล้อม ให้พร้อมเติบโตไปด้วยกันอย่างยั่งยืน

นอกเหนือจากธุรกิจปิโตรเลียมแล้ว ปตท. ยังดำเนินธุรกิจปิโตรเคมีอย่างครบวงจร โดยเชื่อมต่อกับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต ต่อเนื่องไปยังขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย รวมถึงการตลาด การจัดจำหน่าย และระบบลอจิสติกส์ เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ ทั้งการผลิตบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์สื่อสารและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้ไฟฟ้า ยานยนต์ สารซักล้างและทำความสะอาด ยาและอุปกรณ์การแพทย์ รวมถึงเครื่องใช้ภาคการเกษตร ประมง และอื่นๆ อีกมากมาย ทั้งนี้เพื่อให้คนไทยได้มีสิ่งอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันอย่างครบครัน อีกทั้งยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับทรัพยากรธรรมชาติของประเทศ สร้างงาน สร้างรายได้ และสนับสนุนการเติบโตของเศรษฐกิจของชาติอีกด้วย

เพื่อเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจในผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่แทรกซึมอยู่ในชีวิตประจำวันตลอด 24 ชั่วโมง ปตท. จึงได้จัดทำสารานุกรม **“เปิดโลกปิโตรเคมี”** ที่จะเป็นแหล่งข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับธุรกิจปิโตรเคมี และเป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงเชิงวิชาการที่เป็นประโยชน์ในการค้นคว้าและเรียนรู้สำหรับประชาชนและเยาวชน ในการทำความรู้จักกับปิโตรเคมีว่าคืออะไร มีที่มาอย่างไร รวมถึงเรื่องของความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสิ่งแวดล้อมในการประกอบอุตสาหกรรมอีกด้วย

ปตท. เชื่อมั่นว่าการดำเนินธุรกิจควบคู่ไปกับความรับผิดชอบต่อชุมชน สังคม และสิ่งแวดล้อมตลอดมา จะเป็นแรงในการขับเคลื่อนให้อุตสาหกรรมสามารถอยู่อย่างเกื้อหนุนกับชุมชน สังคม และสิ่งแวดล้อม ให้เติบโตไปอย่างยั่งยืนด้วยกันตลอดไป

ประเสริฐ บุญสัมพันธ์
ประธานเจ้าหน้าที่บริหารและกรรมการผู้จัดการใหญ่
บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

# กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เอื้อเฟื้อภาพ

- บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) และกลุ่ม ปตท.
- สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย
- บริษัท มีเดีย เอกซ์เพอร์ทีส อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด
- บริษัท เนชั่น มัลติมีเดีย กรุ๊ป จำกัด (มหาชน)
- บริษัท เนชั่น โพส จำกัด

# สารบัญ


12 วิธีใช้สารานุกรม

14 ปิโตรเคมีคืออะไร

68 ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี กระบวนการผลิต
คุณสมบัติผลิตภัณฑ์ และการใช้งาน

290 คอมพาวนด์และการปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติก

326 ระบบลอจิสติกส์และการจำหน่ายผลิตภัณฑ์

368 อาชีวอนามัย ความปลอดภัย สิ่งแวดล้อม

424 ดัชนีภาษาอังกฤษ

432 ดัชนีภาษาไทย

# วิธีใช้สารานุกรม

เพื่อให้ผู้ศึกษาได้รับประโยชน์จากสารานุกรมเปิดโลกปิโตรเคมีอย่างเต็มที่ คณะผู้จัดทำขอแนะนำลักษณะเด่นๆ ของสารานุกรมฉบับนี้ ดังนี้

**การนำเสนอเนื้อหา**

สารานุกรมเปิดโลกปิโตรเคมีประกอบด้วยเนื้อหารวม 5 หมวด ได้แก่

- ปิโตรเคมีคืออะไร
- ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี กระบวนการผลิต คุณสมบัติผลิตภัณฑ์ และการใช้งาน
- คอมพาวนด์และการปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติก
- ระบบลอจิสติกส์และการจำหน่ายผลิตภัณฑ์
- อาชีวอนามัย ความปลอดภัย สิ่งแวดล้อม

ผู้ศึกษาสามารถสังเกตการแยกเนื้อหาหมวดต่างๆ ข้างต้นได้จากแถบสีริมหน้ากระดาษซึ่งแสดงแตกต่างกันไป โดยในหมวดแรกจะเป็นบทความกล่าวถึงภาพรวมของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เพื่อทำความเข้าใจกับอุตสาหกรรมดังกล่าว ก่อนที่จะเข้าสู่ส่วนคำศัพท์ในแต่ละหมวด

**การค้นหาคำศัพท์**

คำศัพท์ของแต่ละหมวดจัดเรียงตามลำดับตัวอักษรภาษาอังกฤษ คือ a, b, c, d .... และจบลงภายในหมวดนั้นๆ การค้นหาคำศัพท์จึงสามารถไล่ดูตามตัวอักษรของหมวดต่างๆ ได้โดยตรง

ผู้ศึกษายังสามารถเปิดหาคำศัพท์ที่ต้องการจากดัชนีภาษาอังกฤษและดัชนีภาษาไทยที่อยู่ท้ายเล่ม ดัชนีจะระบุเลขหน้าที่คำศัพท์นั้นๆ ปรากฏอยู่โดยไม่แบ่งตามหมวดเนื้อหา ดังนั้นเมื่อผู้ศึกษาทราบเลขหน้าแล้วจึงค่อยเปิดดูความหมายของคำศัพท์ที่ค้นหา

**การอ้างอิง**

โดยทั่วไปแล้ว คำหรือความที่ปรากฏอยู่ในคำอธิบายอาจมีคำภาษาอังกฤษกำกับอยู่ในวงเล็บ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ศึกษารู้จักคำศัพท์ภาษาอังกฤษควบคู่กันไปด้วย และเพื่อประโยชน์ในการค้นคว้าเพิ่มเติมจากแหล่งอื่นต่อไป ตัวอย่าง

***additive สารเติมแต่ง***

*สารเคมีอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่ใช้ผสมในเม็ดพลาสติกก่อนและระหว่างขึ้นรูป เพื่อปรับปรุงสมบัติขณะขึ้นรูป สารเคมีอินทรีย์ที่เติมแต่งบนผิวผลิตภัณฑ์หลังขึ้นรูปเพื่อปรับปรุงสมบัติผลิตภัณฑ์พลาสติกขณะใช้งาน มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ เช่น เพื่อปรับปรุงพฤติกรรมพลาสติกระหว่างขึ้นรูป ช่วยให้การขึ้นรูปพลาสติกดีขึ้น (processability) ช่วยเพิ่มสมบัติหรือคุณลักษณะบางประการเพื่อความทนทาน/ยืดอายุการใช้งาน (life/survival ability) แก่ผลิตภัณฑ์พลาสติก เพิ่มสมบัติเชิงกล (mechanical properties) หรือปรับปรุงลักษณะปรากฏ เช่น สี ธุรกิจสารเติมแต่งมีอัตราการเติบโตอย่างรวดเร็วตามอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพลาสติกใช้มากในผลิตภัณฑ์ที่เป็นชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนงานก่อสร้าง ชิ้นส่วนเครื่องไฟฟ้าบรรจุภัณฑ์*

***noise induced hearing loss การสูญเสียการได้ยินจากเสียง***

*การสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน ซึ่งมีสาเหตุมาจากการรับเสียงเกินปริมาณของเสียงที่กำหนดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (dose) ซึ่งมีผลต่อเซลล์ในหู การสัมผัสเสียงที่ดังทำให้เกิดการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน 2 ระดับ คือ การสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินแบบชั่วคราว (temporary threshold shift) ซึ่งมักทำให้ความสามารถในการได้ยินเสียงความถี่สูงลดลง หูอื้อ หรือมีอาการเสียงก้องในศีรษะร่วมด้วย (tinnitus) อาการเหล่านี้มักเกิดขึ้นใน 2 ชั่วโมงแรกของการทำงานที่สัมผัสเสียงดังอย่างต่อเนื่อง และการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินอย่างถาวร (permanent threshold shift) ซึ่งเกิดจากการ*

*สัมผัสเสียงดังซ้ำๆ กันเป็นระยะเวลานานโดยไม่มีการป้องกันที่เหมาะสม การสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินอย่างถาวรไม่สามารถรักษาให้หายได้ การตรวจกระทำโดยใช้เครื่องมือวัดความไวของการได้ยินของคน (audiometer) มีหน่วยเป็นเดซิเบล*

อย่างไรก็ดี การมีวงเล็บคำศัพท์ภาษาอังกฤษกำกับยังเป็นไปเพื่อประโยชน์ในการอ้างอิง ดังนี้

- เพื่อให้ผู้ศึกษาทราบว่าสามารถค้นหาความหมายเพิ่มเติมได้จากคำศัพท์ภาษาอังกฤษซึ่งอยู่ในหมวดเนื้อหาเดียวกัน ในกรณีนี้จะกำกับไว้ว่า (ดู xxxx) ตัวอย่าง

***light fastness ความทนแสง***

*สมบัติที่สำคัญของสารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในพลาสติก ประเภทสารเพิ่มความขาวจากการวาวแสง (ดู fluorescent whitening agent) หรือสารเพิ่มความสว่างเชิงแสง (ดู optical brightening agent) บ่งชี้และตรวจสอบด้วยดัชนีความขาว (whitening index) ถ้าระดับดัชนีความขาวมีค่าสูงและคงที่แม้ถูกแสงเป็นเวลานาน บ่งชี้ว่าสารเพิ่มความขาวและพลาสติกที่ใส่สารเพิ่มความขาวดังกล่าวสามารถทนแสงได้ดี*

***occupational disease โรคที่เกิดจากงานอาชีพ***

*โรคที่เกิดจากสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสมโดยมีการสัมผัสปัจจัยสภาพแวดล้อมในการทำงานติดต่อกันเป็นระยะเวลานานจนทำให้เกิดความเจ็บป่วยจากการทำงานขึ้น (occupational illness) เช่น การสัมผัสกับสารตะกั่วเป็นเวลานานจนทำให้เกิดโรคพิษตะกั่ว การสัมผัสสารอินทรีย์ไอระเหยจนทำให้เกิดความผิดปกติของอวัยวะภายใน การสัมผัสสารจนทำให้เกิดเป็นโรคผิวหนัง การสัมผัสเสียงจนทำให้มีการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน (ดู noise induced hearing loss) การวินิจฉัยว่าเป็นโรคจากงานอาชีพหรือไม่ต้องกระทำโดยแพทย์ด้านอาชีวเวชศาสตร์และพิจารณา วิเคราะห์ข้อมูลประวัติการทำงาน และภาวะภัยสุขภาพที่พบในที่ทำงานร่วมด้วย*

- เพื่อให้ผู้ศึกษาทราบว่ามีคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องและควรศึกษาเพิ่มเติม ทั้งนี้อาจไม่มีความเกี่ยวข้องกับคำหรือความที่อยู่ข้างหน้าวงเล็บ ในกรณีนี้จะกำกับไว้ว่า (ดู xxxx ประกอบ) ตัวอย่าง

***placard ป้ายปิดเพื่อสื่อสารข้อมูลสินค้า***

*สัญลักษณ์และข้อความติดข้างรถขนส่งหรือถังเก็บสารเคมีเพื่อสื่อสารข้อมูลของสินค้าและข้อความอื่นๆ ที่จำเป็น ได้แก่ ประเภทของสินค้า ประเภทของวัตถุอันตราย สัญลักษณ์หมายเลขติดต่อเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงเห็น และสามารถสื่อสารข้อความบนรถให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตามที่ระบุข้อความไว้ในป้ายดังกล่าว (ดู globally harmonized system for classification and labeling of chemicals (GHS), hazard classification ประกอบ)*

***evaporative cooler ตัวทำความเย็นแบบระเหย. อุปกรณ์หล่อเย็นก๊าซ***

*อุปกรณ์ลดอุณหภูมิก๊าซร้อน โดยฉีดพ่นน้ำเป็นหยดน้ำขนาดเล็กซึ่งรับความร้อนจากก๊าซร้อน ทำให้น้ำระเหยเป็นไอ มักติดตั้งไว้ด้านหน้าของเครื่องฟอกเวนจูรี (venture scrubber) ในระบบดักฝุ่นแบบเปียก (particulate wet scrubbing system) ซึ่งใช้ดักฝุ่นที่มีขนาดเล็กมาก (เล็กกว่า 1 ไมครอน) เป็นอุปกรณ์จำเป็นเพื่อป้องกันความเสียหายของวัสดุโครงสร้างภายในเครื่องฟอกเวนจูรี และช่วยป้องกันการเกิดหยดน้ำภายในคอคอด (throat) ซึ่งอาจไปขัดขวางการชนหรือปะทะกันระหว่างของเหลวที่ฉีดพ่นเข้ามาที่คอคอดกับอนุภาคฝุ่น (ดู wet scrubber ประกอบ)*

# ปิโตรเคมี คืออะไร

“ปิโตรเคมี” มาจากรากศัพท์เดิมคือ สารเคมีหรือเคมีภัณฑ์จากปิโตรเลียม (petroleum chemicals) ในเบื้องต้น หมายถึง สารเคมี กลุ่มสารเคมีหรือเคมีภัณฑ์ใดๆ ที่มีองค์ประกอบหลักคือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มาจากปิโตรเลียมหรือก๊าซธรรมชาติ เช่น เอทิลีน โพรพิลีน เบนซีน เป็นต้น ต่อมาได้ขยายความครอบคลุมถึงสารอินทรีย์อีกหลายชนิดและสารอนินทรีย์บางชนิด และยังมีที่มาจากแหล่งอื่นนอกจากปิโตรเลียมด้วย เช่น เบนซีนจากถ่านหิน เป็นต้น ดังนั้นในปัจจุบัน เคมีภัณฑ์ปิโตรเลียมหรือปิโตรเคมี (petrochemicals) จึงมีจำนวนมากมายนับหมื่นชนิด หลายชนิดเราพบเห็นคุ้นเคย ใช้งานอยู่ทุกวัน แต่อีกหลายชนิดเราอาจไม่คุ้นเคยหรือไม่ทราบมาก่อนว่าวัสดุหรือผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมาจากปิโตรเคมีนั่นเอง

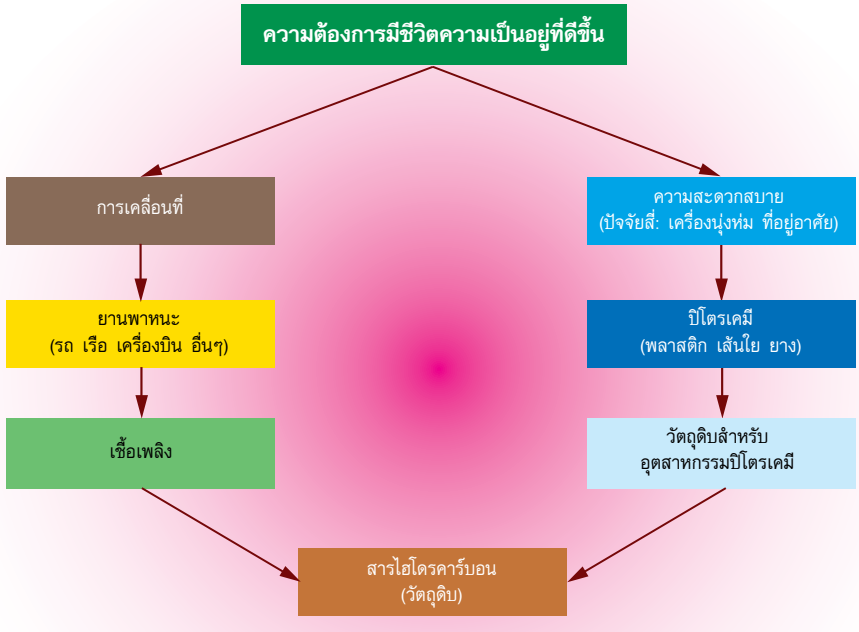


## ปิโตรเคมีเป็นสิ่งที่มีอยู่ในชีวิตประจำวันตั้งแต่ตื่นจนเข้านอน

ในชีวิตประจำวันของเราตั้งแต่ตื่นนอนจนเข้านอนอีกครั้ง ปิโตรเคมีเข้ามามีบทบาทหรือมีส่วนร่วมในกิจกรรมทุกอย่างที่เราทำ ไม่ว่าเพื่อความจำเป็นพื้นฐาน เพื่อความสะดวกสบาย เพื่อการเดินทาง หรือเพื่อการติดต่อสื่อสาร อาจเป็นวัสดุต่างๆ ที่เราสัมผัสได้ ส่วนที่ประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่เราใช้งานทั้งที่อยู่ภายในและที่มองเห็นภายนอก เมื่อมองดูรอบๆ เราต้องเห็นสิ่งที่มีที่มาจากปิโตรเคมีทั้งสิ้น อาจเป็นเสื้อผ้า รองเท้า ที่นอน เครื่องนอน เครื่องใช้ส่วนตัว ของใช้ในบ้านในครัว เช่น โต๊ะ เก้าอี้ ตู้เย็น ชิ้นส่วนยานพาหนะ บรรจุภัณฑ์อาหารและสินค้า เครื่องใช้สำนักงาน เช่น คอมพิวเตอร์ วัสดุก่อสร้างที่อยู่อาศัยที่ทำงาน อุปกรณ์การสื่อสาร เช่น โทรศัพท์มือถือ ระบบโครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภค เช่น ระบบท่อ สายไฟ สายเคเบิ้ล สิ่งอำนวยความสะดวกและสิ่งสร้างความบันเทิง เช่น โทรทัศน์ วิทยุ แผ่นซีดี จึงกล่าวได้ว่า **ปิโตรเคมีได้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตเราแล้วอย่างปฏิเสธไม่ได้**

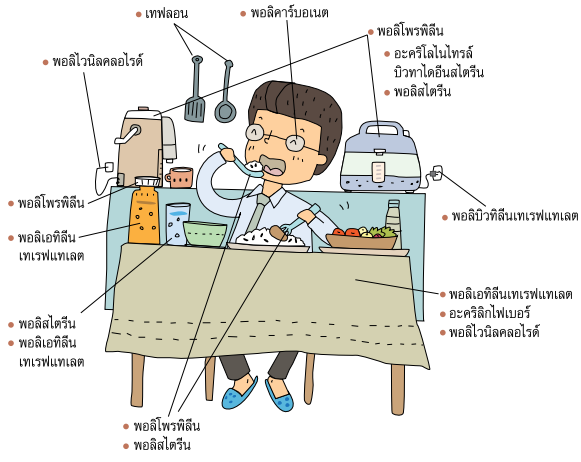


ก่อนที่เราจะได้รับความสะดวกสบายจากปิโตรเคมี มนุษย์ต้องพึ่งพาวัสดุธรรมชาติเพื่อการดำรงชีพต่างๆ เช่น ใช้ใบตองบรรจุอาหาร ใช้หินและไม้สร้างที่อยู่อาศัย ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้มและให้ความอบอุ่นแก่ที่อยู่อาศัย และใช้น้ำมันปลาวาฬเป็นเชื้อเพลิงให้แสงสว่าง เมื่อประชากรโลกเพิ่มขึ้น ความต้องการแสงสว่างยามค่ำคืนเพิ่มขึ้น ความต้องการความอบอุ่นมากขึ้น จึงทำให้เกิดการตัดไม้ทำลายป่าและการล่าปลาวาฬอย่างทำลายล้าง ต่อมาในยุคเริ่มต้นการปฏิวัติอุตสาหกรรม ก่อนที่จะมีอุตสาหกรรมปิโตรเลียม มีการประดิษฐ์รถจักรไอน้ำขึ้น ยิ่งทำให้ความต้องการไม้สำหรับทำฟืนเป็นเชื้อเพลิงสูงขึ้นรวดเร็วมากจึงเกิดการตัดไม้ทำลายป่าอย่างกว้างขวาง ในขณะที่ความต้องการของมนุษย์ยังพัฒนาต่อไป ทำให้เกิดวิกฤตด้านทรัพยากรและวัสดุที่มีในธรรมชาติโดยเฉพาะในทวีปยุโรป จนกระทั่งประมาณ ค.ศ. 1880 ที่ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมโดยเฉพาะน้ำมันปิโตรเลียมเริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญทดแทนทรัพยากรธรรมชาติอย่างไม้ฟืนซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักเดิมให้พลังงานสร้างความอบอุ่นและแสงสว่าง และที่สำคัญเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในที่มีการประดิษฐ์ขึ้นสำหรับรถยนต์ หลังจากนั้นอีกประมาณ 20 ปี จึงเกิดการพัฒนาเคมีภัณฑ์ปิโตรเลียมหรือปิโตรเคมี และเริ่มเข้ามามีบทบาททดแทนวัสดุจากธรรมชาติเพื่อตอบสนองความต้องการพื้นฐาน ความสะดวกสบายและเพื่อชีวิตที่ดีขึ้น เช่น บรรจุภัณฑ์อาหาร ช่วยรักษาคุณภาพการจัดเก็บและถนอมอาหาร ลดอัตราการเสียของอาหารได้เป็นอย่างมาก เป็นส่วนสร้างมูลค่าให้สินค้าและเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ชีวิตประจำวันของผู้คนในปัจจุบันจนแตกต่างจากในอดีตเป็นอย่างมาก เส้นใยสังเคราะห์โดยเฉพาะเส้นใยพอลิเอสเทอร์ที่ปัจจุบันมีการใช้อย่างแพร่หลายมีส่วนทดแทนความต้องการเส้นใยธรรมชาติอย่างสำคัญ วัสดุสำหรับก่อสร้างหลากหลายรูปแบบที่สำคัญ คือเป็นวัสดุทดแทนไม้ ช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่าได้อย่างมาก นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมีได้เข้าไปมีส่วนช่วยพัฒนายารักษาโรคและอุตสาหกรรมการแพทย์ โดยอาจเป็นทั้งวัตถุดิบหรือส่วนประกอบของยาหรือบรรจุภัณฑ์ยา และยังเป็นวัสดุสำคัญสำหรับอุปกรณ์การแพทย์หลายชนิด เช่น ชิ้นส่วนเครื่องฟอกไต ขวดน้ำเกลือ สายน้ำเกลือ เข็มฉีดยา วัสดุอุดฟัน และกระดูกเทียม เป็นต้น แม้กระทั่งปิโตรเคมีในการผลิตผลิตผลภาคการเกษตรและอาหาร ทั้งที่เป็นส่วนผสมของอาหาร ปุ๋ย วิตามินสำหรับพืช หรือเป็นอุปกรณ์การเกษตร




แรงผลักดันการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

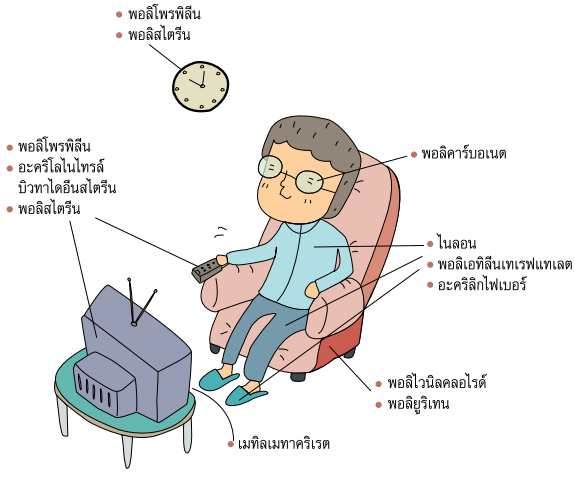



สมัยก่อนคริสตกาล โลกของเรามีประชากรเพียงไม่กี่ร้อยล้านคน ใน ค.ศ. 1950 ประชากรเพิ่มขึ้นเป็น 2,500 ล้านคน ค.ศ. 2000 เป็น 6,100 ล้านคน ค.ศ. 2010 ประมาณ 7,000 ล้านคน และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 8,700 ล้านคนใน ค.ศ. 2030 และ 11,000 ล้านคนใน ค.ศ. 2050 ถึงแม้ว่าในช่วงประมาณร้อยปีที่ผ่านมาการค้นพบและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมและปิโตรเคมีจะช่วยบรรเทาความวิกฤตด้านการทำลายทรัพยากรธรรมชาติไปได้ระยะหนึ่ง แต่จำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณจะส่งผลให้วิกฤตการณ์กลับมาเกิดขึ้นอีก ทั้งในด้านทรัพยากรและวัสดุที่มีในธรรมชาติ รวมทั้งการทำลายบรรยากาศและสภาวะแวดล้อม จนกระทั่งเกินความสามารถของโลกที่จะรองรับไว้ได้ (carrying capacity of the earth)

เพื่อรองรับประชากรที่เพิ่มขึ้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมีจำเป็นต้องดำเนินต่อไปทั้งในด้านการขยายการผลิตให้เกิดการประหยัดจากขนาด (economies of scale) การลดต้นทุนการผลิต การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ การค้นคว้าวิจัยเพื่อผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่มีความสลับซับซ้อนขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่เรียกร้องความเป็นอยู่และคุณภาพชีวิตที่ดี ตลอดจนความสะดวกสบายในทุกๆ ด้าน แต่การพัฒนาดังกล่าวนอกจากจะต้องตอบสนองแรงผลักดันจากความต้องการของมนุษย์แล้ว ยังต้องคำนึงถึงการดูแลบรรยากาศและสภาวะแวดล้อมของโลกอย่างเหมาะสมและจริงจัง การส่งผลกระทบต่อสังคมและชุมชน เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนและการอยู่ร่วมกันของประชาคมโลกอย่างสันติด้วย



## ปิโตรเคมีมาจากไหน

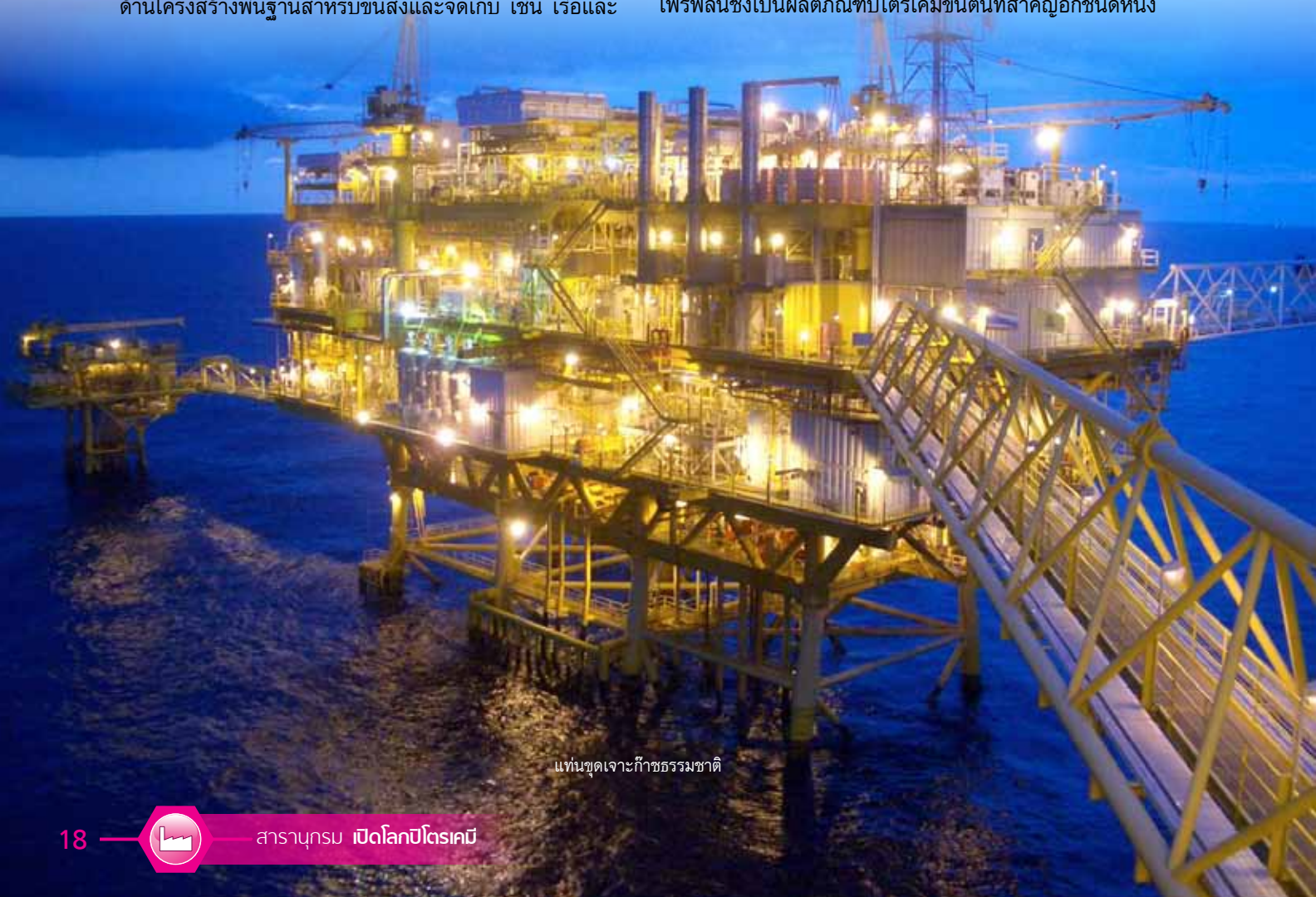
แหล่งวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (petrochemical feedstock, petrochemical raw material) มาจากแหล่งสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจน ได้แก่ ปิโตรเลียม ซึ่งรวมถึงก๊าซธรรมชาติ น้ำมันปิโตรเลียม คอนเดนเสท ถ่านหิน นอกเหนือนี้ยังอาจมาจากแหล่งอื่นโดยเฉพาะจากพืชที่เรียกรวมๆ ว่า แหล่งชีวมวล (biomass resource) ด้วย

**ก๊าซธรรมชาติ (natural gas)**

เป็นแหล่งไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในสถานะก๊าซ จัดเป็นไฮโดรคาร์บอนที่เป็นแหล่งพลังงานสะอาดเมื่อเทียบกับแหล่งไฮโดรคาร์บอนประเภทอื่นๆ จึงมีอัตราการการขยายตัวสูงแต่มีข้อจำกัดด้านการจัดเก็บและการขนส่ง เนื่องจากสถานะที่เป็นก๊าซทำให้จัดเก็บและขนส่งยาก จึงมีต้นทุนในการจัดเก็บและขนส่งสูงมาก ดังนั้นประเทศที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นแหล่งพลังงานหรือเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจึงมักเป็นประเทศที่มีแหล่งก๊าซธรรมชาติในประเทศหรือเข้าถึงแหล่งก๊าซราคาถูกได้ บางประเทศอาจนำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้านโดยขนส่งทางท่อ หรือนำเข้าในรูปของก๊าซธรรมชาติเหลว (liquefied natural gas (LNG)) ซึ่งต้องมีการลงทุนสูงด้านโครงสร้างพื้นฐานสำหรับขนส่งและจัดเก็บ เช่น เรือและถังที่มีลักษณะเฉพาะ และหน่วยเปลี่ยนก๊าซธรรมชาติเหลวเป็นก๊าซธรรมชาติ เพื่อรองรับการนำเข้า

แหล่งก๊าซธรรมชาติส่วนใหญ่ประกอบด้วยก๊าซมีเทน ($CH_4$) เป็นองค์ประกอบหลัก สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรง แต่เนื่องจากความต้องการของครัวเรือนและอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จึงนิยมนำก๊าซธรรมชาติไปแยกไฮโดรคาร์บอนที่หนักกว่ามีเทนออก เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับก๊าซธรรมชาติได้เป็นอย่างมาก ก๊าซธรรมชาติที่นำมาแยกองค์ประกอบต้องมีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนหนัก ($C_2$+ ขึ้นไป) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 8-9 หรือที่เรียกว่าก๊าซเปียก (wet gas) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติขึ้นอยู่กับการออกแบบโรงแยกก๊าซแต่ละแห่ง ประกอบด้วย

- ก๊าซมีเทน (methane) เป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นหลัก แต่บางประเทศใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อผลิตเคมีภัณฑ์ เช่น เมทานอล ปุ๋ยยูเรีย เป็นต้น
- ก๊าซอีเทน (ethane) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำคัญของปิโตรเคมีที่มีพื้นฐานเป็นก๊าซ (gas base petrochemicals) ใช้ผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นคือ เอทิลีน (ethylene) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นที่สำคัญและมีปริมาณการใช้มากที่สุด
- ก๊าซโพรเพน (propane) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการผลิตโพรพิลีนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง



แท่นขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ

• ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (liquefied petroleum gas (LPG)) ถือเป็นผลิตภัณฑ์หลัก เป็นก๊าซผสมระหว่างก๊าซโพรเพนและก๊าซบิวเทน (butane) ที่สัดส่วนต่างๆ กัน เป็นวัตถุประสงค์หลักของการแยกก๊าซธรรมชาติ มีตลาดที่สำคัญคือเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้หุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน จึงเป็นที่รู้จักกันทั่วไปอีกชื่อหนึ่งว่า ก๊าซหุงต้ม และยังใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีด้วย



ก๊าซหุงต้ม

• แก๊โซลีนธรรมชาติ (natural gasoline (NGL)) สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นร่วมกับแนฟทาในโรงงานปิโตรเคมีขั้นต้นได้เช่นกัน

**น้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันดิบ (crude petroleum, crude oil)**

เป็นแหล่งไฮโดรคาร์บอนที่สำคัญที่สุด เป็นปิโตรเลียมที่มีสถานะของเหลว การขนส่งและการจัดเก็บทำได้ไม่ยากนัก มีการใช้งานอย่างแพร่หลายและมีปริมาณการใช้มากที่สุดในโลกเมื่อเทียบกับแหล่งไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ทั้งใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะสำหรับยานพาหนะ หรือใช้เป็นแหล่งพลังงานแก่ที่อยู่อาศัยและอุตสาหกรรม และบางส่วนนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีด้วย

น้ำมันปิโตรเลียมเป็นของผสมที่มีองค์ประกอบหลักเป็นไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่โมเลกุลเล็กที่สุดจนถึงใหญ่ที่ละลายอยู่ด้วยกัน ก่อนนำมาใช้ประโยชน์จึงต้องนำไปกลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกไฮโดรคาร์บอนออกเป็นส่วนกลั่นที่มีช่วงจุดเดือดต่างๆ และผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (petroleum product) หลายชนิดตามความต้องการของตลาด เช่น ก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือก๊าซหุงต้ม แนฟทาที่ใช้ผลิตเป็นน้ำมันเบนซินหรือแก๊โซลีน น้ำมันเครื่องบิน น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา เป็นต้น



น้ำมันดิบ

ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหล่านี้ยังเป็นวัตถุดิบตั้งต้น (feedstock) ที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และมีปริมาณการใช้มากที่สุดเทียบกับวัตถุดิบตั้งต้นจากแหล่งอื่นๆ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมจากโรงกลั่นที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น ได้แก่

• แนฟทา (naphtha) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นปิโตรเคมีที่ใช้มากที่สุด โรงงานปิโตรเคมีที่ใช้แนฟทาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นเรียกว่า ปิโตรเคมีที่มีพื้นฐานเป็นของเหลว (liquid base petrochemicals) หรือบางกรณีเรียกเฉพาะว่าปิโตรเคมีที่มีพื้นฐานเป็นแนฟทา (naphtha base petrochemicals) อย่างไรก็ตามแนฟทาส่วนใหญ่จะอยู่ในสายการผลิตของโรงกลั่นเพื่อใช้ผลิตเป็นน้ำมันเบนซิน มีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับโรงงานปิโตรเคมี

• ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (liquefied petroleum gas (LPG)) สามารถเป็นได้ทั้งเชื้อเพลิงและวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเช่นเดียวกับก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ได้จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติ

• ก๊าซออยล์ (gas oil) ใช้เป็นส่วนผสมเพื่อผลิตน้ำมันดีเซลหรือใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้เช่นกัน แต่ในทางปฏิบัติไม่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมากนัก และโดยเฉพาะช่วงที่น้ำมันดีเซลมีราคาสูงเพราะก๊าซออยล์จะถูกนำไปผ่านกระบวนการผลิตเป็นน้ำมันดีเซลที่มีราคาดีกว่าแทน

**คอนเดนเสท (condensate)**

เป็นแหล่งไฮโดรคาร์บอนที่เป็นของเหลว แต่ผลิตจากแหล่งก๊าซธรรมชาติ เรียกได้ว่าเป็นน้ำมันที่มาจากหลุมก๊าซธรรมชาตินั่นเอง เนื่องจากเป็นไฮโดรคาร์บอนหนักที่ละลายอยู่ในก๊าซธรรมชาติ แต่เมื่อมีการขุดเจาะหลุมก๊าซธรรมชาติขึ้นมาที่ปากหลุม ความดันบรรยากาศที่ปากหลุมผลิตต่ำกว่าความดันในแหล่งกำเนิดของก๊าซธรรมชาติ ทำให้ไฮโดรคาร์บอนหนักควบแน่น (condense) เป็นของเหลว

คอนเดนเสทเป็นไฮโดรคาร์บอนเหลวที่องค์ประกอบส่วนใหญ่มีขนาดโมเลกุลและช่วงจุดเดือดใกล้เคียงกับแนฟทา สามารถนำไปกลั่นโดยผสมกับน้ำมันปิโตรเลียมในโรงกลั่นน้ำมัน หรือนำมาแยกในโรงกลั่นแยกคอนเดนเสท ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ได้สามารถนำไปใช้ได้เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมจากโรงกลั่นน้ำมัน เพียงแต่มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็นแนฟทามากกว่าโรงกลั่นน้ำมัน และนำมาใช้เป็นผลิตวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อป้อนโรงงานปิโตรเคมีได้เช่นกัน



หน่วยกลั่นแยกคอนเดนเสท

- **ถ่านหิน (coal)**

เป็นแหล่งไฮโดรคาร์บอนที่เป็นของแข็ง แหล่งกำเนิดมีสารประกอบอนินทรีย์อยู่ร่วมด้วย ได้แก่ ความชื้น แร่ธาตุ หรือเถ้า และอาจมีกำมะถันเจือปนด้วย ปัจจุบันใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าเป็นหลัก อย่างไรก็ตามบางประเทศนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น ใช้ผลิตเบนซีนหรือประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนใช้ถ่านหินเป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับสายการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น



ถ่านหิน

- **อื่นๆ**

นอกจากแหล่งสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นปิโตรเลียมที่คุ้นเคยกันเป็นอย่างดีแล้ว ยังมีแหล่งสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ เช่น หินน้ำมัน (oil shale) ทรายน้ำมัน (tar sand) เชลแก๊ส (shale gas) เป็นต้น ซึ่งมีบทบาทเพิ่มขึ้นเป็นลำดับโดยเฉพาะเมื่อราคาน้ำมันปิโตรเลียมสูงขึ้น

นอกเหนือจากปิโตรเลียมแล้ว วัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีอาจมาจากแหล่งอื่นโดยเฉพาะจากพืช เช่น ผลผลิตจากส่วนของพืช เมล็ด หรือผลไม้ เรียกรวมๆ ว่า **แหล่งชีวมวล (biomass resource)** แหล่งดังกล่าวกำลังได้รับความสนใจและมีความสำคัญมากขึ้นอย่างรวดเร็ว



ทรายน้ำมัน



แหล่งชีวมวล

## จุดเริ่มต้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมี

จุดกำเนิดผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีชนิดแรกน่าจะเป็นใน ค.ศ. 1869 เมื่อมีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดแรกจากเซลลูโลสที่ได้จากปฏิกิริยาไนเตรชันของผงไม้ คือ ไนโตรเซลลูโลส และต่อมามีการเติมการบูร (camphor) ทำหน้าที่เป็นสารเสริมสภาพพลาสติก และพัฒนาต่อมาเป็นเซลลูโลสแอซีเทตที่ใสเหนียวและรีดเป็นแผ่นได้ ผลิตในชื่อทางการค้าว่า เซลลูลอยด์ (celluloid) ผู้ที่รู้จักภาพยนตร์สมัยก่อนที่ถ่ายทำด้วยฟิล์มขนาด 8 หรือ 32 มม. คงจะคุ้นเคยกับคำนี้เป็นอย่างดี เพราะเวทีการแสดงนี้ได้รับสมญานามว่า โลกเซลลูลอยด์ หลังจากนั้นไม่มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์จนกระทั่งเข้าสู่ ค.ศ. 1900 เป็นต้นมา เมื่อมีความเข้าใจถึงกลไกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์มากขึ้น ช่วงเวลาที่เกิดแรงผลักดันให้เกิดการเร่งพัฒนาที่สำคัญคือ ช่วงสงครามโลกครั้งที่สองที่ต้องการทั้งพลังงาน เชื้อเพลิง ยุทโธปกรณ์ ยุทธภัณฑ์ต่างๆ เป็นจำนวนมาก ทำให้นักวิทยาศาสตร์ของทุกฝ่ายเร่งวิจัยและพัฒนาวัสดุรวมถึงวิธีการผลิตให้ได้ปริมาณมากด้วย จึงสามารถผลิตปิโตรเคมีหลายชนิดที่มีการค้นพบมาก่อนหน้านั้นหลายสิบปี แต่ยังไม่สามารถผลิตเชิงพาณิชย์ได้เพราะยังไม่มีเทคโนโลยีที่เหมาะสม หลังจากสงครามโลกครั้งที่สองสิ้นสุดลงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีเป็นไปอย่างต่อเนื่องรวดเร็ว และมีความหลากหลายมาก ปัจจัยสำคัญคือเทคโนโลยีการสำรวจและผลิตปิโตรเลียม และเทคโนโลยีการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมและแยกก๊าซธรรมชาติที่เจริญก้าวหน้าอย่างก้าวกระโดด สามารถแยกไฮโดรคาร์บอนและผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้มีวัตถุดิบที่มีคุณภาพป้อนโรงงานปิโตรเคมีได้ปริมาณมากในราคาที่ถูกลง ปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญอีกด้านหนึ่งของการพัฒนาพอลิเมอร์ (รวมถึงผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีอื่น) คืองานวิจัยและพัฒนาซึ่งนำไปสู่การขยายขนาดจากระดับห้องปฏิบัติการไปเป็นระดับการผลิตเชิงพาณิชย์ ตลอดไปถึงการพัฒนากระบวนการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม



## ลำดับเหตุการณ์สำคัญของการค้นพบ

### พ.ศ. 2378 (ค.ศ. 1835)

ออง์รี วิคเตอร์ เรกเนลท์ (Henri Victor Regnault) นักเคมีฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ค้นพบพอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นครั้งแรก

### พ.ศ. 2382 (ค.ศ. 1839)

เอ็ดดรวด ไซม่อน (Eduard Simon) เภสัชกรชาวเยอรมันค้นพบพอลิสไตรีนโดยบังเอิญและให้ชื่อสารว่า สไตรอล (styrol)

### พ.ศ. 2405 (ค.ศ. 1862)

อเล็กซานเดอร์ ปาร์ค (Alexander Parkes) ค้นพบสารกึ่งพลาสติก สังเคราะห์ชนิดแรก คือ Parkesine จาก cellulose nitrate แต่ต้นทุนการผลิตสูงเกินไป ต่อมา จอห์น เวสลี่ ไฮเอทท์ (John Wesley Hyatt) พัฒนาคุณสมบัติพลาสติกดังกล่าวต่อจนสามารถจดลิขสิทธิ์การผลิตพลาสติกใหม่ชื่อ celluloid จาก cellulose acetate ใน พ.ศ. 2413



อเล็กซานเดอร์ ปาร์ค จอห์น เวสลี่ ไฮเอทท์

### พ.ศ. 2422 (ค.ศ. 1879)

โบชาร์ด (Bouchardt) ค้นพบวิธีสังเคราะห์ยางสังเคราะห์เป็นครั้งแรก

### พ.ศ. 2441 (ค.ศ. 1898)

นักเคมีชาวเยอรมัน ฮานส์ วอน เพคแมน (Hans von Pechmann) สังเคราะห์ polyethylene (PE) โดยบังเอิญจากการให้ความร้อนสาร diazomethane

### พ.ศ. 2472 (ค.ศ. 1929)

บริษัท อี.เก. ฟาร์เบน-อินดุสตรี อาเก (I.G. Farbenindustrie AG) ของเยอรมนี สามารถพัฒนากระบวนการผลิตพลาสติกพอลิสไตรีน (PS) เพื่อการค้าสำเร็จ และเริ่มผลิตเพื่อขายได้


กลุ่มนักเคมีอุตสาหกรรมของ อี.เก. ฟาร์เบนอินดุสตรี อาเก

### พ.ศ. 2473 (ค.ศ. 1930)

วาลเลส คาร์โรเธอร์ส (Wallace Carothers) และทีมนักวิทยาศาสตร์ของบริษัท ดูปองท์ (DuPont) พัฒนาการผลิตยางสังเคราะห์ชนิดแรกของโลกคือ นีโอพรีน (neoprene) สำเร็จ และจดลิขสิทธิ์ได้ ทำให้การใช้ยางสังเคราะห์ใช้แพร่หลายมากจากการใช้ในสงครามโลก และการเติบโตของอุตสาหกรรมรถยนต์


วาลเลส คาร์โรเธอร์ส


รูปล้อรถที่ผลิตจากยางสังเคราะห์

### พ.ศ. 2476 (ค.ศ. 1933)

เรจินัลด์ กิ๊บสัน (Reginald Gibson) และ อีริค ฟาวเซ็ทท์ (Eric Fawcett) นักวิจัยของบริษัท ไอซีไอ (ICI) ค้นพบพื้นฐานการผลิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เชิงอุตสาหกรรมครั้งแรก โดยการให้ความดันที่สูงมากแก่ส่วนผสมของสารเอทิลีน (ethylene) และเบนซัลดีไฮด์ (benzaldehyde) แต่วิธีการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมที่แท้จริงค้นพบใน พ.ศ. 2478 โดย ไมเคิล เพอร์ริน (Michael Perrin) นักเคมีของไอซีไอและสายการผลิตแรกเริ่มต้นใน พ.ศ. 2482


เครื่องมือต้นแบบในการผลิต LDPE

### พ.ศ. 2478 (ค.ศ. 1935)

ทีมนักวิทยาศาสตร์ของวาลเลส คาร์โรเธอร์ส (Wallace Carothers) รวมถึงจูเลี่ยน เวอร์เนอร์ ฮิลล์ (Julian Werner Hill) สังกัดบริษัท ดูปองท์ (DuPont) พบการสังเคราะห์ไนลอน 66 วัตถุดิบสำคัญของเส้นใยสังเคราะห์ชนิดแรกของโลก

### พ.ศ. 2480 (ค.ศ. 1937)

ออทโต ไบเออร์ (Otto Bayer) และทีมนักวิจัยของบริษัท ฟรีดริช-ไบเออร์แอนคอมพานี (Friedrich Bayer & Company) จากเยอรมนี ค้นพบพลาสติกพอลิยูริเทน (polyurethane) ที่ใช้สำหรับการผลิตโฟมสำหรับที่นอน เฟอร์นิเจอร์ต่างๆ และใช้เป็นฉนวนกันความร้อน


ออทโต ไบเออร์

## และพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีของโลก

### พ.ศ. 2444 (ค.ศ. 1901)

บริษัท เอฟ. แรชิก (F. Rachig) ของเยอรมนี และฮาฟฟ์แมนน์-ลาโรช (Hoffmann–LaRoch) ของสวิตเซอร์แลนด์ ต่างเริ่มผลิตขายฟีนอล (phenol) ครั้งแรกฟีนอลใช้มากในอุตสาหกรรมย้อมผ้าในขณะนั้น นับเป็นแรงผลักให้การเริ่มต้นพัฒนาความรู้ปิโตรเคมีในยุโรป ขณะที่เดิมทีการค้นพบวิธีการสกัดฟีนอลจาก โคลทาร์ (coal tar) ในครั้งแรกเมื่อ 67 ปีก่อนใน พ.ศ. 2377 นั้นใช้ฟีนอลสำหรับทำความสะอาดแผล



อุตสาหกรรมสิ่งทอในศตวรรษที่ 20 ตอนต้น

### พ.ศ. 2450 (ค.ศ. 1907)

ลีโอ เฮนดริค บีคแลน (Leo Hendrik Baekeland) ชาวเบลเยี่ยม ค้นพบเบกาไลต์ (bakelite) หลังจากเขาทดลองผสมฟีนอลกับฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) การใช้เบกาไลต์แพร่หลายโดยใช้แทนไม้ในช่วงทศวรรษ 1930 เมื่อใช้ผลิตวิทยุและชิ้นส่วนรถยนต์



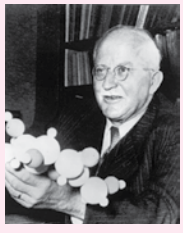
วิทยุที่ทำจากเบกาไลต์

### พ.ศ. 2463 (ค.ศ. 1920)

บริษัท ยูเนียนคาร์บายด์ (Union Carbide) เปิดดำเนินการผลิตเอทิลีนทางการค้าโรงงานแรกที่เมืองเคลนด์นิน (Clendenin) สหรัฐอเมริกา นับเป็นจุดเริ่มต้นของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

### พ.ศ. 2465 (ค.ศ. 1922)

เฮอร์แมนน์ สทาวดิงเกอร์ (Hermann Staudinger) ชาวเยอรมัน ค้นพบทฤษฎีของโมเลกุลเคมีขนาดแมคโคร (macro-molecular chemistry) ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาพลาสติกต่อมา เขาได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีจากงานศึกษานี้ใน พ.ศ. 2496



เฮอร์แมนน์ สทาวดิงเกอร์

### พ.ศ. 2469 (ค.ศ. 1926)

วาลโด แซมอน (Waldo Semon) ชาวอเมริกัน ค้นพบวิธีการใส่สารพลาสติกเสริมสภาพในสารพีวีซี (PVC) โดยบังเอิญ ขณะเขาพยายามผลิตยางสังเคราะห์ท้อยู่ การค้นพบนี้ทำให้พีวีซีเกิดเป็นเนื้อพลาสติกให้เราขึ้นรูปใช้งานได้



วาลโด แซมอน

### พ.ศ. 2484 (ค.ศ. 1941)

ทีมนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษจอห์น เร็กซ์ วินฟิลด์ (John Rex Whinfield) และเจมส์ เทนแนนท์ ดิกสัน (James Tennant Dickson) จากสมาคมคาลิโกพรินตี้ (Calico Printe's Association) ค้นพบและจดสิทธิบัตรเม็ดพลาสติก PET

### พ.ศ. 2494 (ค.ศ. 1951)

พอร์ล โฮแกน และโรเบิร์ต แบงค์ (Paul Hogan & Robert Banks) นักวิจัยเคมีจากบริษัท ฟิลลิปปิโตรเลียม (Phillips Petroleum) ค้นพบวิธีผลิตพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิโพรพิลีน (PP)

### พ.ศ. 2496 (ค.ศ. 1953)

คาร์ล ซีเกลอร์ (Karl Ziegler) ชาวเยอรมัน (ผู้ค้นพบพลาสติก HDPE พ.ศ. 2496) พบวิธีการสังเคราะห์ ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ที่ต่อมาพัฒนาเป็น Ziegler-Natta catalyst ทำให้การผลิตพลาสติกสามารถทำได้ทีละปริมาณมากและต้นทุนการผลิตลดลง ส่งผลการใช้พลาสติกแพร่หลาย



คาร์ล ซีเกลอร์

ต่อมาคาร์ล ซีเกลอร์ และกุยลิโอ นัตตา (Giulio Natta) ชาวอิตาลี (ผู้ค้นพบพลาสติก PP) ได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีร่วมกันใน พ.ศ. 2506 จากการพัฒนา Ziegler-Natta catalyst



กุยลิโอ นัตตา

### พ.ศ. 2523 (ค.ศ. 1980)

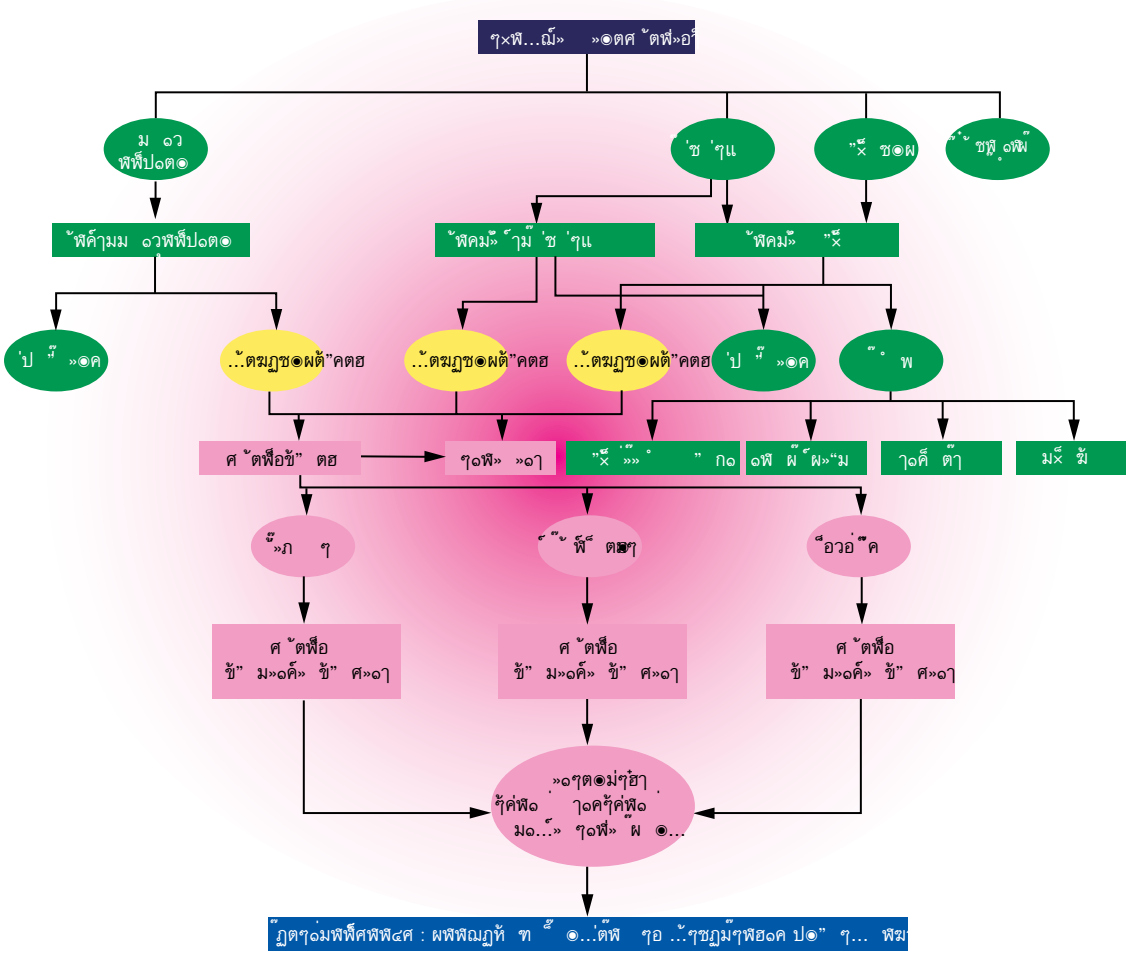
วอลเตอร์ คาร์มินสกี้ (Walter Kaminsky) และ ฮันส์ยอร์ก ซิน (Hansjörg Sinn.) นักเคมีชาวเยอรมัน ผู้พบตัวเร่งปฏิกิริยาเมทัลโลซีน (metallocene) ที่ใช้ในการผลิตสารพอลิโอเลฟินส์ เป็นพัฒนาการที่สำคัญของการกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก



วอลเตอร์ คาร์มินสกี้

## ความเชื่อมโยงระหว่างอุตสาหกรรมปิโตรเลียมกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

เนื่องจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบตั้งต้น (feedstock) ที่เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมหลายชนิดและมีปริมาณการใช้มากที่สุดเทียบกับวัตถุดิบตั้งต้นจากแหล่งอื่นๆ อุตสาหกรรมปิโตรเคมีจึงมีความสัมพันธ์และเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเป็นอย่างมาก จากสายการผลิตของอุตสาหกรรมปิโตรเลียมที่เริ่มจากอุตสาหกรรมการสำรวจและผลิตปิโตรเลียม (exploration & production) ซึ่งทำหน้าที่ค้นหาและผลิตปิโตรเลียมขึ้นมาจากแหล่งใต้พื้นพิภพไม่ว่าจะอยู่ในรูปก๊าซธรรมชาติ น้ำมันปิโตรเลียมหรือคอนเดนเสท แล้วส่งต่อไปยังกระบวนการปิโตรเลียม (petroleum processing) ของอุตสาหกรรมแปรรูปปิโตรเลียม เช่น โรงแยกก๊าซธรรมชาติ (natural gas separation plant) โรงกลั่นน้ำมัน (oil refinery) และโรงกลั่นแยกคอนเดนเสท (condensate splitter) ได้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น ก๊าซอีเทน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล แนฟทา เป็นต้น จากวัตถุดิบตั้งต้นเหล่านี้นำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น (upstream petrochemical product) ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จำแนกตามสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 7 ประเภทสำคัญ ได้แก่ กลุ่มเคมีซี1 ($C_1$ chemistry) เอทิลีน (ethylene) โพรพิลีน (propylene) บิวทาไดอีน (butadiene) ในซี 4 ผสม (mixed C4) เบนซีน (benzene) ทอลิวอีน (toluene) และไซลีน (xylene) จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นเหล่านี้นำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายต่อไปจำนวนมาก จำแนกออกเป็นหลายกลุ่ม เช่น พลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ยางและวัสดุยืดหยุ่น สารเคลือบและกาว เป็นต้น ซึ่งสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปต่างๆ มากมาย เช่น บรรจุภัณฑ์ จานและแผ่นบันทึกอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ สีทา วัสดุก่อสร้าง วัสดุปูพื้น เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีกลุ่มผลิตภัณฑ์เคมีอื่นที่มีส่วนประกอบหรือทำมาจากปิโตรเคมีอีกหลายกลุ่ม เช่น สารซักฟอก ปุ๋ย ยา สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ เป็นต้น



ความสัมพันธ์ระหว่างอุตสาหกรรมปิโตรเลียมกับปิโตรเคมี

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมหลายชนิดทำหน้าที่ได้ทั้งเป็นเชื้อเพลิงและเป็นวัตถุดิบตั้งต้น (feedstock) ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติ โรงกลั่นน้ำมัน หรือโรงกลั่นแยกคอนเดนเสท เมื่อพิจารณาเพียงผิวเผินอาจมองว่ามีการแข่งขันระหว่างการนำปิโตรเลียมไปใช้เป็นเชื้อเพลิงกับการนำไปเป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี แต่เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนที่นำผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมมาผลิตเป็นปิโตรเคมีแล้วพบว่า เมื่อคิดเป็นปริมาณน้ำมันดิบเทียบเท่า (crude oil equivalent) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเพียงปีละประมาณ 250 ล้านตัน ในขณะที่ใช้ปิโตรเลียมเป็นเชื้อเพลิงสูงถึงปีละ 3,820 ล้านตัน หรือคิดเป็นเพียงร้อยละ 7 เท่านั้น การใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเป็นวัตถุดิบขั้นต้นของปิโตรเคมีต่างๆ ดังกล่าวจึงไม่ใช่คู่แข่งในตลาดเชื้อเพลิง แต่ทางเลือกของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมน่าจะขึ้นอยู่กับอุปสงค์ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีในประเทศและสภาพการแข่งขันในตลาดส่งออกของผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ ตลอดจนปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม นโยบาย และความมั่นคงด้านอุปทานผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีของประเทศมากกว่า

## โครงสร้างผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี

โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีตามขั้นการผลิตในสายโซ่อุตสาหกรรมปิโตรเคมีสามารถแบ่งลำดับอย่างง่ายๆ ได้ 3 ขั้น ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย

**ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น (upstream petrochemical product)** เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นแรกสุด ส่วนใหญ่ผลิตจากวัตถุดิบตั้งต้น (feedstock) จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น และนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ในขั้นกลาง หรือขั้นปลาย หรือผลิตภัณฑ์ในขั้นต้น ผลิตภัณฑ์อื่นหรือเคมีภัณฑ์อื่นๆ ต่อไป

แม้อุตสาหกรรมปิโตรเคมีจะมีผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายนับหมื่นนับพันชนิด แต่ส่วนใหญ่มีรากฐานมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นที่สำคัญ 7 ชนิด ได้แก่ กลุ่มเคมีซี1 ($C_1$ chemistry) เอทิลีน (ethylene) โพรพิลีน (propylene) บิวทาไดอีนในซี 4 ผสม (mixed C4) เบนซีน (benzene) ทอลิวอีน (toluene) และไซลีน (xylene) ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นทั้ง 7 ชนิดนี้จึงเป็นพื้นฐานอันสำคัญยิ่งสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เพื่อนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีอื่นๆ

ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามโครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุล ดังนี้

- กลุ่มเคมีซี1 ($C_1$ chemistry group) ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นกลุ่มนี้ที่มีบทบาทมากในเชิงอุตสาหกรรม ได้แก่ เมทานอล (methanol)
- กลุ่มโอเลฟินส์ (olefins group) ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นกลุ่มนี้ที่มีบทบาทมากในเชิงอุตสาหกรรม ได้แก่ เอทิลีน (ethylene) โพรพิลีน (propylene) และบิวทาไดอีนในซี 4 ผสม (mixed C4)
- กลุ่มแอโรแมติกส์ (aromatics group) ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นกลุ่มนี้ที่มีบทบาทมากในเชิงอุตสาหกรรม ได้แก่ เบนซีน (benzene) ทอลิวอีน (toluene) และไซลีน (xylene)

**ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลาง (intermediate petrochemical product)**
เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่ใช้ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้นเป็นวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่ได้ในขั้นนี้จะใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลาย อย่างไรก็ตามในบางกรณีสามารถใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางชนิดอื่นได้เช่นกัน ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางมีมากมายหลายประเภท กระบวนการผลิตและการใช้งานที่มีลักษณะเฉพาะในแต่ละตัวแตกต่างกันไป ยกตัวอย่างเช่น เอทิลีนไกลคอลเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางที่ผลิตจากเอทิลีน หรือสไตรีนมอนอเมอร์เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางที่ผลิตจากเบนซินและเอทิลีน เป็นต้น

**ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลาย (downstream petrochemical product)**
ใช้วัตถุดิบที่เป็นผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้นหรือขั้นกลางมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ขั้นปลาย และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลายไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูปในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่อไป ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลายสามารถแบ่งเป็นกลุ่มหลักๆ ตามประเภทของการใช้งานได้ ดังนี้

- กลุ่มพลาสติก (plastic) เป็นกลุ่มที่มีการใช้งานผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลายมากที่สุดสามารถจัดกลุ่มย่อยตามสมบัติพิเศษและการใช้งาน ประกอบด้วย



เม็ดพลาสติก

- พลาสติกที่เป็นโภคภัณฑ์หรือใช้งานทั่วไป (commodity plastic) เป็นพลาสติกที่ใช้งานได้หลายแบบ รองรับความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์ได้อย่างหลากหลาย ราคาไม่แพง จึงมีปริมาณการใช้สูงมากกว่าร้อยละ 90 ของปริมาณพลาสติกทั้งหมด ตัวอย่างที่สำคัญของพลาสติกชนิดนี้ ได้แก่ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิสไตรีน (PS) เป็นต้น

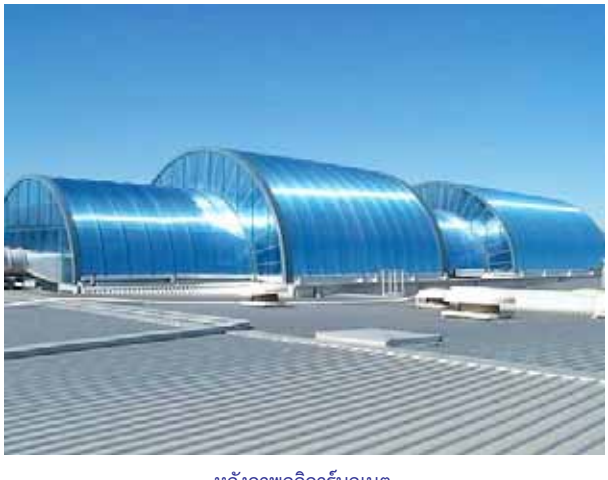


กระเป๋าลากทำจากพอลิโพรพิลีน



รั้วพอลิไวนิลคลอไรด์

- พลาสติกที่ใช้งานวิศวกรรม (engineering plastic) เป็นพลาสติกที่ใช้ในงานวิศวกรรมที่ต้องการสมบัติเหมาะสมเป็นพิเศษ เช่น ทนความร้อน ทนแรงกระแทกสูง เพื่อทดแทนวัสดุโลหะในงานวิศวกรรม เช่น เฟือง ชิ้นส่วนรถยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ เป็นต้น จัดเป็นพลาสติกที่มีมูลค่าสูง มีปริมาณการใช้น้อยกว่าพลาสติกที่ใช้งานทั่วไปมาก ตัวอย่างพลาสติกที่ใช้งานวิศวกรรม เช่น พอลิคาร์บอเนต (polycarbonate) พอลิแอซีทัล (POM) เป็นต้น



หลังคาพอลิคาร์บอเนต

- พลาสติกที่มีสมรรถนะสูง (high performance plastic) เป็นพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษเป็นเฉพาะสำหรับใช้งานที่ต้องการ เช่น ทนความร้อน ทนกรด ทนด่าง ลื่นไม่ติดง่าย เป็นต้น เช่น พอลิเททระฟลูออโรเอทิลีน (polytetrafluoroethylene หรือ Teflon) พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโทน (poly ether ether ketone (PEEK)) พอลิอีเทอร์ซัลโฟน (polyethersulfone (PES)) ต้องใช้เทคโนโลยีชั้นสูงในการผลิต และเจ้าของเทคโนโลยีไม่ค่อยยอมขายเทคโนโลยี เป็นพลาสติกที่มีมูลค่าเพิ่มสูงมาก จึงมีปริมาณการใช้น้อยมาก คือน้อยกว่าร้อยละ 1 ของการใช้พลาสติกทั้งหมด



ชิ้นส่วนล้อรถยนต์เคลือบเทฟลอน

• กลุ่มเส้นใยสังเคราะห์ (synthetic fibre) เป็นวัสดุเส้นใยที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อทดแทนเส้นใยธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถทำให้มีสมบัติพิเศษแตกต่างไปจากเส้นใยธรรมชาติอีกด้วย ตัวอย่างเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยพอลิเอสเทอร์ (polyester fibre) เส้นใยพอลิเอไมด์ (polyamide fibre หรือ nylon fibre) เส้นใยพอลิโพรพิลีน (polypropylene fibre) เส้นใยอะคริลิก (acrylic fibre) เส้นใยเหล่านี้สามารถนำมาทดแทนฝ้าย ขนสัตว์ ป่าน ปอ เช่น เส้นใยพอลิเอสเทอร์ใช้ทดแทนไหม เส้นใยอะคริลิกใช้ทดแทนขนสัตว์ เพื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ผ้าผืน เสื้อผ้า และเครื่องนุ่งห่ม มีทั้งการใช้งานโดยใช้เส้นใยสังเคราะห์อย่างเดียวและผสมกับเส้นใยธรรมชาติ



เสื้อจากใยสังเคราะห์

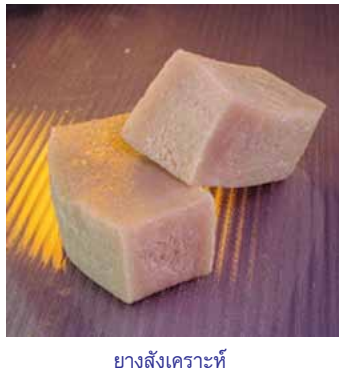


เส้นใยสังเคราะห์ก่อนนำไปผลิตเสื้อผ้า

• กลุ่มยางสังเคราะห์ (synthetic rubber, elastomer) เป็นวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อให้มีสมบัติใกล้เคียงหรือดีกว่ายางธรรมชาติ โดยให้มีความยืดหยุ่นคล้ายยางธรรมชาติแต่มีความคงทนต่อการใช้งานมากกว่า ยางสังเคราะห์มีหลายประเภท เช่น ยางบิวทาไดอีน (BR) ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (SBR) ยางบิวทิล (butyl rubber) ยางไนไทรล์ (nitrile rubber) ยางอีพีดีเอ็ม (ethylene propylene diene elastomer (EPDM)) เป็นต้น ยางสังเคราะห์มีบทบาทเข้าไปทดแทนยางธรรมชาติได้เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะยางที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ แต่งานหลายอย่างจำเป็นต้องใช้ยางธรรมชาติผสมกับยางสังเคราะห์เพื่อให้สมบัติที่ต้องการ เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น ขณะที่บางกรณีก็จำเป็นต้องใช้ยางธรรมชาติล้วน เช่น ยางล้อเครื่องบิน เป็นต้น เพราะต้องทนแรงกระแทกและแรงเสียดทานมาก



ยางรถบรรทุก



ยางสังเคราะห์

• กลุ่มสารเคลือบผิวและผลิตภัณฑ์กาว (synthetic coating and adhesive material) เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีเพื่อเคลือบผิววัสดุให้แข็งแรง คงทน และสวยงาม อาทิ เช่น พอลิยูริเทน (PU) อิพ็อกซี (epoxy resin) เป็นต้น ส่วนผลิตภัณฑ์กาวได้แก่ พอลิไวนิลแอซีเทต (poly(vinyl acetate) (PVAc)) รวมทั้งกาวอิพ็อกซี เป็นต้น

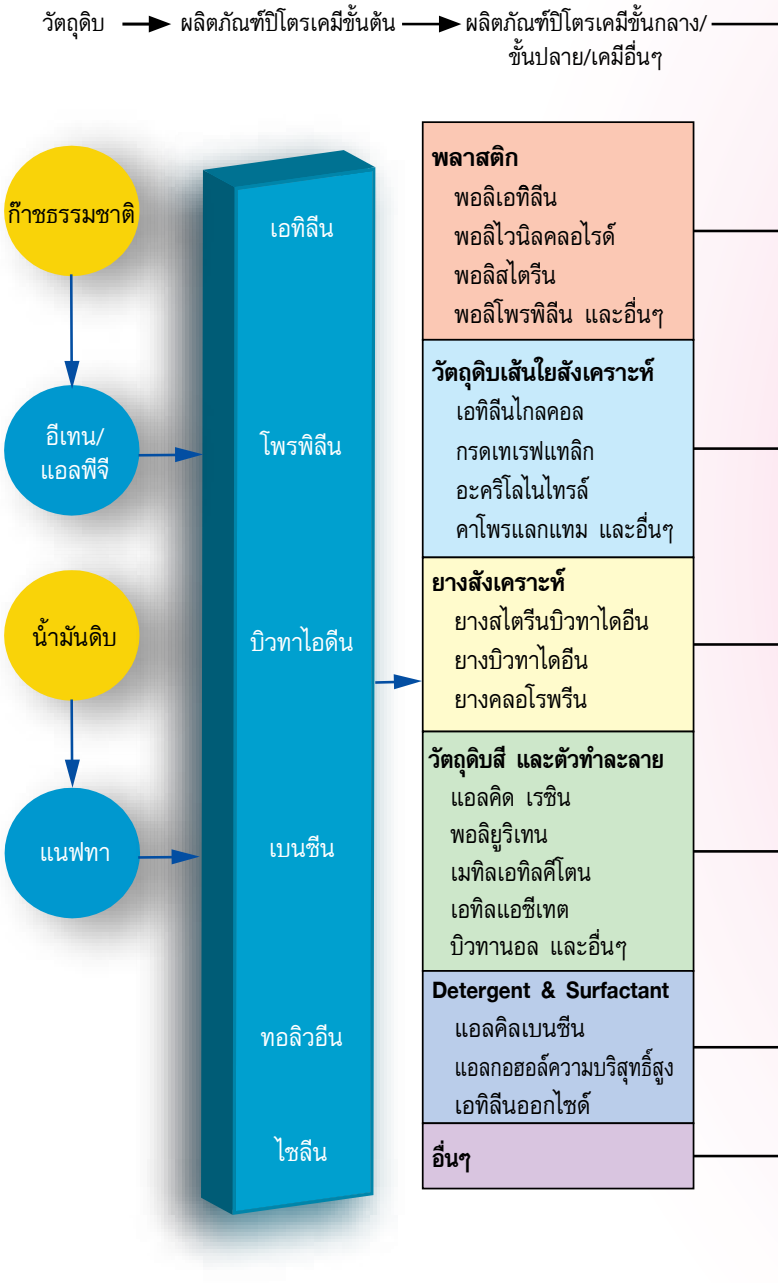


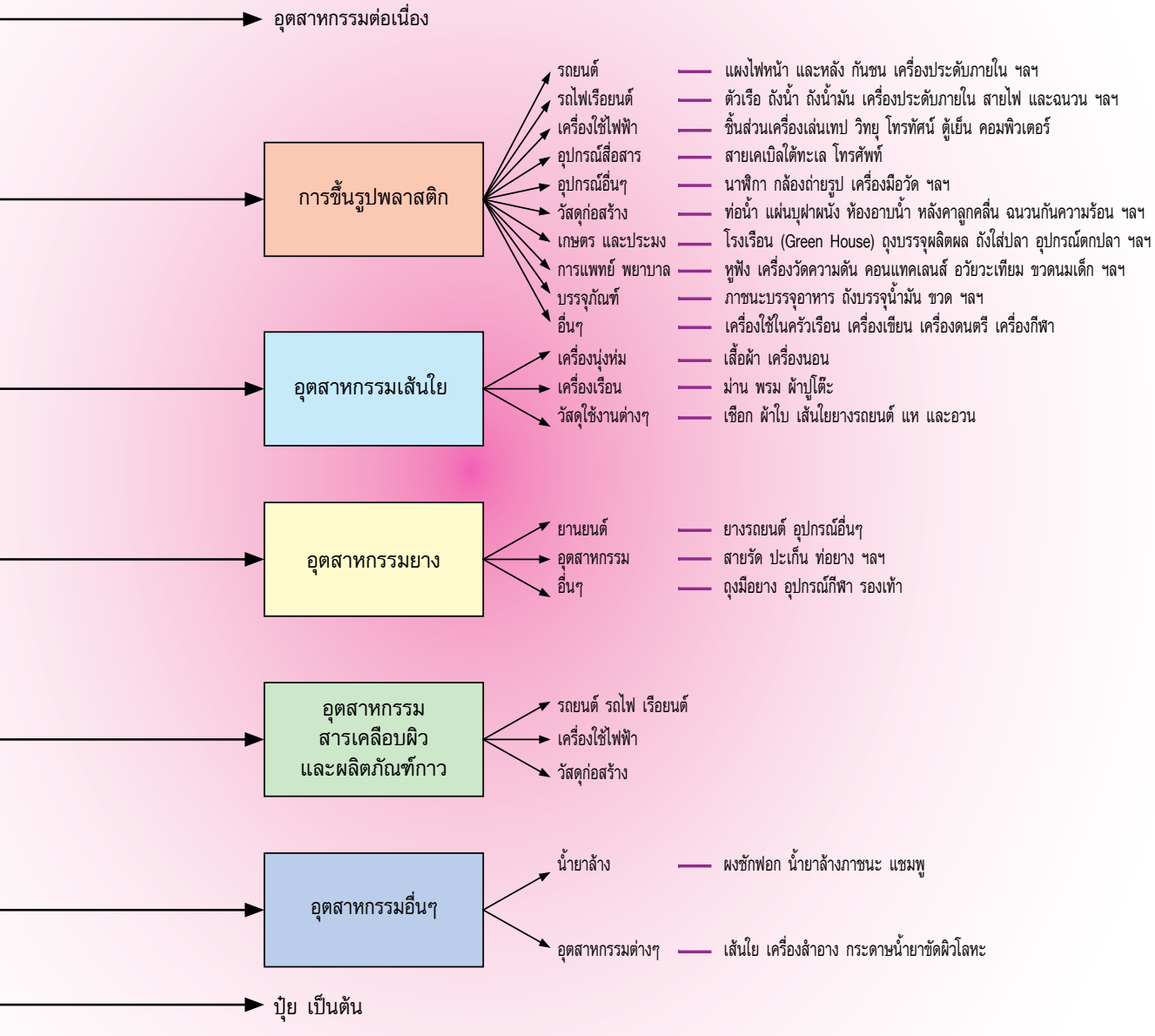
สีที่มีส่วนผสมของอิพ็อกซี

นอกจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลายดังกล่าว ยังสามารถนำผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีบางชนิดไปใช้ผลิตเคมีภัณฑ์อื่นๆ ได้ ซึ่งใช้งานในลักษณะเฉพาะ จึงจัดอยู่ในประเภทอุตสาหกรรมเคมีอื่น ตัวอย่างเช่น

- สารเอทาโนลามีน (ethanolamine) เป็นผลิตภัณฑ์เคมีชนิดพิเศษ (specialty chemical) ที่นำไปใช้งานในอุตสาหกรรมเคมี เช่น เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ดูแลสุขอนามัยและสินค้าอุปโภค นอกจากนี้ ยังเป็นวัตถุดิบในการผลิตสารเอทิลีนเอมีน (ethylene amine) ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เป็นสารเคมีเติมแต่ง (chemical additive) อีกด้วย
- สารอิทอกซิเลตของแอลกอฮอล์ไขมัน (fatty alcohol ethoxylate) เป็นผลิตภัณฑ์เคมีชนิดพิเศษ (specialty chemical) ที่นำไปใช้งานในอุตสาหกรรมเคมี ใช้ผลิตสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีขั้ว (non-ionic surfactant) และเป็นตัวกระทำอิมัลชัน (emulsifier) สำหรับเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ดูแลสุขอนามัยและสินค้าอุปโภค
- สารเอ็มทีบีอี (MTBE) เป็นผลิตภัณฑ์เคมีที่นำไปใช้เป็นสารเคมีเติมแต่ง (chemical additive) ผสมในน้ำมันเบนซินเพื่อเพิ่มค่าออกเทน

**ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง**




อุตสาหกรรมต่อเนื่อง
การขึ้นรูปพลาสติก
รถยนต์ — แผงไฟหน้า และหลัง กันชน เครื่องประดับภายใน ฯลฯ
รถไฟเรือยนต์ — ตัวเรือ ถังน้ำ ถังน้ำมัน เครื่องประดับภายใน สายไฟ และฉนวน ฯลฯ
เครื่องใช้ไฟฟ้า — ชิ้นส่วนเครื่องเล่นเทป วิทยุ โทรทัศน์ ตู้เย็น คอมพิวเตอร์
อุปกรณ์สื่อสาร — สายเคเบิลใต้ทะเล โทรศัพท์
อุปกรณ์อื่นๆ — นาฬิกา กล้องถ่ายรูป เครื่องมือวัด ฯลฯ
วัสดุก่อสร้าง — ท่อน้ำ แผ่นบุฝาผนัง ห้องอาบน้ำ หลังคาลูกคลื่น ฉนวนกันความร้อน ฯลฯ
เกษตร และประมง — โรงเรือน (Green House) ถุงบรรจุผลิตผล ถังใส่ปลา อุปกรณ์ตกปลา ฯลฯ
การแพทย์ พยาบาล — หูฟัง เครื่องวัดความดัน คอนแทคเลนส์ อวัยวะเทียม ขวดนมเด็ก ฯลฯ
บรรจุภัณฑ์ — ภาชนะบรรจุอาหาร ถังบรรจุน้ำมัน ขวด ฯลฯ
อื่นๆ — เครื่องใช้ในครัวเรือน เครื่องเขียน เครื่องดนตรี เครื่องกีฬา
อุตสาหกรรมเส้นใย
เครื่องนุ่งห่ม — เสื้อผ้า เครื่องนอน
เครื่องเรือน — ม่าน พรม ผ้าปูโต๊ะ
วัสดุใช้งานต่างๆ — เชือก ผ้าใบ เส้นใยยางรถยนต์ แห และอวน
อุตสาหกรรมยาง
ยานยนต์ — ยางรถยนต์ อุปกรณ์อื่นๆ
อุตสาหกรรม — สายรัด ปะเก็น ท่อยาง ฯลฯ
อื่นๆ — ถุงมือยาง อุปกรณ์กีฬา รองเท้า
อุตสาหกรรม สารเคลือบผิว และผลิตภัณฑ์กาว
รถยนต์ รถไฟ เรือยนต์
เครื่องใช้ไฟฟ้า
วัสดุก่อสร้าง
อุตสาหกรรมอื่นๆ
น้ำยาล้าง — ผงซักฟอก น้ำยาล้างภาชนะ แชมพู
อุตสาหกรรมต่างๆ — เส้นใย เครื่องสำอาง กระดาษน้ำยาขัดผิวโลหะ
ปุ๋ย เป็นต้น

## กระบวนการผลิตสำคัญของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

กระบวนการผลิตปิโตรเคมีมีหลายกระบวนการ แต่จะกล่าวถึงเฉพาะเทคโนโลยีของกระบวนการเฉพาะที่สำคัญของแต่ละขั้นของการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี ดังนี้

**กระบวนการผลิตปิโตรเคมีขั้นต้น (upstream petrochemical process)**

มีอยู่หลายประเภทและหลายกระบวนการ แต่กระบวนการหลักที่มีใช้กันอยู่โดยทั่วไป มีอยู่ 3 กระบวนการ คือ

• กระบวนการแตกตัวโมเลกุลด้วยความร้อนและไอน้ำ (thermal steam cracking) เป็นกระบวนการหลักที่ใช้ผลิตสารกลุ่มโอเลฟินส์ โดยเฉพาะเอทิลีน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นที่สำคัญที่สุดเนื่องจากมีปริมาณการใช้มากที่สุด วัตถุดิบตั้งต้นที่สามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตประเภทนี้ เป็นได้ทั้งก๊าซ เช่น อีเทน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว และเป็นของเหลว เช่น แนฟทา หน่วยปฏิบัติการหรือเครื่องปฏิกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้เรียกว่า แครกเกอร์ (cracker) หากใช้อีเทนเป็นวัตถุดิบตั้งต้นเรียกว่า อีเทนแครกเกอร์ (ethane cracker) ผลิตภัณฑ์หลักคือ เอทิลีน และหากใช้แนฟทาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นเรียกว่า แนฟทาแครกเกอร์ (naphtha cracker) ผลิตภัณฑ์หลักคือ เอทิลีนและโพรพิลีน ซึ่งบางกรณีถูกจัดเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม (co-product) และซี 4 ผสม (mixed C4) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by-product) ที่สำคัญด้วย

• กระบวนการแตกตัวโมเลกุลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยาเข้าช่วยควบคุมปฏิกิริยา (catalytic cracking) ปกติเป็นกระบวนการที่มีอยู่ในโรงกลั่นน้ำมัน ทำหน้าที่เปลี่ยนผลิตภัณฑ์หนัก เช่น น้ำมันเตา ซึ่งมีราคาถูกให้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันเบาขึ้น โดยเฉพาะน้ำมันเบนซินที่มีราคาสูงกว่า จึงต้องแตกโมเลกุลให้เล็กลง นอกจากจะได้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมแล้ว อาจแยกสารโพรพิลีนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นกลุ่มโอเลฟินส์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง ออกมาขายในตลาดปิโตรเคมีได้



หน่วยการผลิตในโรงงานแอโรแมติกส์

• กระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุล (reforming) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล ปกติเป็นกระบวนการที่มีอยู่ในโรงกลั่นน้ำมัน ทำหน้าที่ปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันให้มีเลขออกเทนสูงขึ้น หน่วยปฏิบัติการหรือเครื่องปฏิกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้เรียกว่า รีฟอร์มเมอร์ (reformer) เมื่อใช้แนฟทาผ่านหน่วยผลิตนี้จะได้ผลิตผลเรียกว่า รีฟอร์มเมต (reformate) ซึ่งมีเลขออกเทนสูงขึ้น มีสัดส่วนของสารกลุ่มแอโรแมติกส์เพิ่มขึ้น เราสามารถแยกผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นกลุ่มแอโรแมติกส์บางส่วนออกมาจากรีฟอร์มเมต ดังนั้น จึงสามารถใช้กระบวนการนี้ในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์แอโรแมติกส์ได้

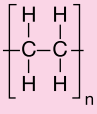
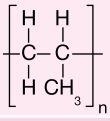
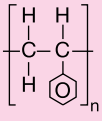
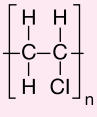
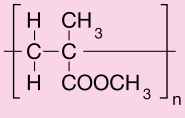
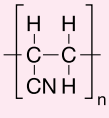
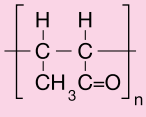
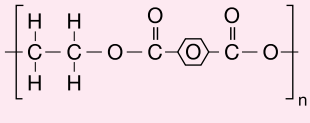
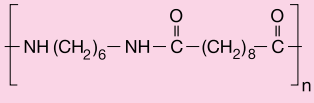
อย่างไรก็ตามยังมีกระบวนการผลิตอื่นๆ อีก เช่น โพรเพน-ดีไฮโดรจีเนชัน (propane dehydrogenation (PDH)) ที่ทำหน้าที่ผลิตโพรพิลีนจากโพรเพน เป็นต้น และด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่ต้องการตอบสนองทิศทางของตลาดมากขึ้น ปัจจุบันจึงมีเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่เป็นทางเลือกเพื่อนำมาผลิตโพรพิลีน เช่น กระบวนการเมทาทีซีส (metathesis) ที่ใช้ผลิตโพรพอลีนจากเอทิลีนและสารซี 4 ผสม หรือการผลิตสารโอเลฟินส์จากเมทานอล เป็นต้น

**กระบวนการผลิตที่สำคัญของปิโตรเคมีขั้นปลาย (downstream petrochemical process)**

กระบวนการผลิตที่สำคัญของปิโตรเคมีขั้นปลายที่สำคัญที่สุด คือ การเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) เนื่องจากมีการนำผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลายไปผลิตพอลิเมอร์มากที่สุด การเกิดพอลิเมอร์เป็นปฏิกิริยาเคมีที่สารปิโตรเคมีโมเลกุลเดี่ยวที่เรียกว่า มอนอเมอร์ (monomer : ตามรากศัพท์ภาษากรีก mono แปลว่า หนึ่ง และ mer แปลว่า สมาชิก) มาเชื่อมต่อกันเกิดเป็นสารโมเลกุลใหญ่ขึ้น ที่ประกอบด้วยโมเลกุลเดี่ยวเชื่อมต่อกันที่เรียกว่า พอลิเมอร์ (polymer : ตามรากศัพท์ภาษากรีก poly แปลว่า มาก) การเชื่อมต่อกันมักเกิดที่พันธะคู่ (double bond) ของอะตอมคาร์บอนของไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยา พันธะคู่ของมอนอเมอร์จะแตกออกและเกิดพันธะเดี่ยวกับอะตอมคาร์บอนของมอนอเนอร์อีกโมเลกุลหนึ่งเช่นนี้เรื่อยๆ ไป ดังนั้นพอลิเมอร์จึงประกอบด้วยมอนอเมอร์ต่อกันเป็นหน่วยซ้ำ (repeating units) เกิดเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ (polymer chain) สามารถควบคุมความยาวหรือรูปร่างลักษณะของสายโซ่พอลิเมอร์ในขณะเกิดปฏิกิริยาได้หลายวิธี ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติแตกต่างกัน เช่น ควบคุมโดยการเลือกประเภทการเกิดพอลิเมอร์ การเติมมอนอเมอร์ชนิดอื่นร่วมด้วยทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ร่วม (copolymer) เป็นต้น สามารถนำผลิตภัณฑ์

กลุ่มโอเลฟินส์และแอโรแมติกส์ทั้งขั้นต้นและขั้นกลางบางชนิด เช่น เอทิลีน (ethylene) โพรพิลีน (propylene) สไตรีน (stylene) ไวนิลคลอไรด์ (vinyl chloride) บิวทีลีน (butylene) บิวทาไดอีน (butadiene) เป็นต้น มาใช้เป็นมอนอเมอร์ (วัตถุดิบ) ในกระบวนการผลิตพอลิเมอร์ และสามารถนำพอลิเมอร์ที่ได้มาใช้ประโยชน์ได้มากมาย

ตัวอย่างมอนอเมอร์จากผลิตภัณฑ์กลุ่มโอเลฟินส์และแอโรแมติกส์ พอลิเมอร์ที่ได้ และตัวอย่างการใช้งาน

| Monomer | Polymer | ชื่อย่อ | [Repeating Unit]$_n$ | ตัวอย่างการใช้งาน |
|---|---|---|---|---|
| Ethylene $H_2C=CH_2$ | Polyethylene | PE |  | ถุงพลาสติก แห อวน ท่อน้ำดื่ม ฟิล์ม ลัง กล่อง พลาสติก ขวด |
| Propylene $H_2C=CH(CH_3)$ | Polypropylene | PP |  | ถุงพลาสติกร้อน ลัง กล่อง ผ้าแบตเตอรี่ กันชนรถยนต์ ฯลฯ |
| Styrene $H_2C=CH(C_6H_5)$ | Polystyrene | PS |  | กล่อง CD ของใช้ในบ้าน บรรจุภัณฑ์อาหาร  |
| Vinyl chloride $H_2C=CHCl$ | Polyvinyl chloride | PVC |  | ท่อน้ำในบ้าน/อาคาร รางน้ำฝน ถุงเลือด กรอบประตู/หน้าต่าง ถุงมือ หนังเทียม เสื้อฝน  |
| Methyl methacrylate $H_2C=C(CH_3)COOCH_3$ | Polymethyl methacrylate | PMMA |  | แผ่นพลาสติกใส หลอดพลาสติกใส  |
| Acrylonotrile $H_2C=CHCN$ | Polyacrylonotrile | PAN |  | เส้นใยสังเคราะห์สิ่งทอ  |
| Vinyl acetate $CH_3COOCH=CH_2$ | Polyvinyl acetate | PVA |  | สารกาว สารเคลือบ หมากฝรั่ง  |
| Ethylene glycol $HOCH_2-CH_2OH$ และ Terephthalic acid HOOC ⟨O⟩ COOH | Polyethylene terephthalate | PET |  | ขวด ขวดน้ำอัดลม เส้นใยสังเคราะห์สิ่งทอ  |
| Hexamethylenediamine $H_2N-(CH_2)_6-NH_2$ และ Sebacic acid $HOOC-(CH_2)_8-COOH$ | Nylon 6,10 | PA 6,10 |  | เกียร์พลาสติก ตลับลูกปืนพลาสติก เส้นใยสังเคราะห์สิ่งทอ  |

สำหรับกระบวนการผลิตของปิโตรเคมีขั้นกลางมีหลายประเภท ส่วนใหญ่จะเป็นปฏิกิริยาเคมีทั่วไป เช่น การผลิตเอทิลีนออกไซด์ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรงระหว่างเอทิลีนกับอากาศ การผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ จากปฏิกิริยาแอลคิเลชันของเอทิลีนและเบนซีนและการดึงไฮโดรเจนของเอทิลเบนซีน หรือการผลิตบิสฟีนอลเอ จากปฏิกิริยาคอนเดนเซชันของฟีนอลและแอซีโทน เป็นต้น ทั้งนี้ อาจมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยควบคุมปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตด้วย

เนื่องจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มาก การพัฒนาเทคโนโลยีกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมจึงเป็นการก้าวไปด้วยกันกับการพัฒนาเทคโนโลยีด้านอื่นๆ อีกหลายด้านซึ่งเข้ามามีบทบาทร่วมด้วย อาจจัดกลุ่มเทคโนโลยีของการพัฒนาได้เป็นการแยก (การกลั่นลำดับส่วน การสกัด การดูดซับและการดูดซึม การตกผลึก) การสังเคราะห์ (การปรับเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุล การสังเคราะห์มอนอเมอร์ การเกิดพอลิเมอร์) ตัวเร่งปฏิกิริยา (การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา การเพิ่มประสิทธิภาพและการเลือกเร่งปฏิกิริยาอย่างเฉพาะเจาะจง) สมบัติของพอลิเมอร์ (ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วม การเติมสารเติมแต่งต่างๆ) และกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม (เครื่องมือเครื่องจักร อุปกรณ์ กระบวนการควบคุมและการวัด) เทคโนโลยีแต่ละกลุ่มแตกแขนงออกไปมากมายซึ่งต้องอาศัยทรัพยากรหลายด้านและการลงทุนสูงมาก

## ลักษณะเฉพาะของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีพื้นฐานหลักจากปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติ ประเทศที่มีแหล่งทรัพยากรปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติต่างก็มีโรงงานปิโตรเคมีของตนเองซึ่งกระจายอยู่ทั่วโลก แม้แต่ประเทศที่ไม่มีวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีหลายประเทศก็ยังมีโรงงานปิโตรเคมี เนื่องจากมีอุปสงค์ในประเทศ จึงเป็นแรงผลักดันให้ต้องพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขึ้นเอง อุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีอิทธิพลอย่างมากต่อเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และแม้แต่การเมืองของแต่ละประเทศและของโลก ซึ่งแตกต่างจากอุตสาหกรรมเคมีอื่นหรืออุตสาหกรรมประเภทอื่น เนื่องจากลักษณะเฉพาะที่มีความโดดเด่นที่สำคัญหลายประการ จึงมีความน่าสนใจและความสำคัญสมควรได้รับการศึกษาและทำความเข้าใจเพื่อเป็นความรู้พื้นฐานที่อาจนำไปเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมและประเทศในแนวทางที่ถูกต้องเหมาะสมต่อไป

**อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ (large scale)**

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ไม่เป็นอุตสาหกรรมเดี่ยว แต่เชื่อมโยงกันทั้งอุตสาหกรรมขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย หรือเรียกว่าเป็น คอมเพล็กซ์ปิโตรเคมี (petrochemical complex) การสร้างโรงงานปิโตรเคมีนั้นนอกจากเพื่อตอบสนองอุปสงค์ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่สูงมากเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นวัสดุพื้นฐานในการผลิตของภาคอุตสาหกรรมต่างๆ มากมายแล้ว ยังเป็นการสร้างเพื่อให้สามารถแข่งกับคู่แข่งขันต่างๆ ได้ทั่วโลก จึงต้องมีกำลังการผลิตสูงเพราะจะช่วยให้เกิดการประหยัดจากขนาดการผลิต (economies of scale) นั่นคือต้นทุนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำ ดังนั้น ผู้ประกอบการปิโตรเคมีจึงเป็นผู้ประกอบการขนาดใหญ่เป็นหลัก ในบรรดาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้นมีขนาดกำลังการผลิตใหญ่มากที่สุด เช่น อยู่ในหลักล้านตันต่อปีต่อโรง เนื่องจากเป็นต้นน้ำของผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมายที่มีปริมาณความต้องการมาก ในอนาคตแนวโน้มของขนาดกำลังการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจะยิ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยี ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ลดต่ำลงและมีความได้เปรียบในเชิงแข่งขันมากขึ้น



ปิโตรเคมีคอมเพล็กซ์ในหมู่เกาะจูร่ง สิงคโปร์

**ใช้เงินลงทุนสูง (capital intensive)**

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีใช้เงินลงทุนสูงแม้แต่โรงงานปิโตรเคมีขนาดเล็กๆ ก็ยังต้องใช้เงินลงทุนหลายพันล้านบาท โรงงานขนาดใหญ่ต้องใช้เงินลงทุนหลายหมื่นล้านบาท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีซึ่งมีขนาดใหญ่และมีเทคโนโลยีที่ซับซ้อนต้องการโครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภคขนาดใหญ่ และต้องใช้เงินลงทุนและเงินทุนหมุนเวียนสูงมาก นอกจากนี้ เนื่องจากธรรมชาติของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีลักษณะการผลิตที่เป็นสายโซ่การผลิตต่อเนื่องตั้งแต่ขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย ดังนั้น หากเป็นการลงทุนที่ครอบคลุมการผลิตครบวงจรในทุกขั้นตอนยิ่งทำให้การลงทุนโดยรวมต้องใช้เงินลงทุนสูงนับแสนล้านบาท ขนาดเงินลงทุนขึ้นอยู่กับชนิดผลิตภัณฑ์ ขนาดกำลังการผลิต และความซับซ้อนของเทคโนโลยี อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการลงทุนในปัจจุบันที่ต้องสร้างโรงงานให้มีความสามารถในการแข่งขันสูงยิ่งส่งผลให้เงินลงทุนสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในปัจจุบันสูงมากขึ้นตามไปด้วย จึงไม่มีผู้ประกอบการรายเล็กลงทุนในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เพราะหากเงินลงทุนน้อย สถานภาพทางการเงินไม่เข้มแข็ง ก็จะทำให้ความสามารถในการแข่งขันต่ำจนกระทั่งไม่สามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้

**เทคโนโลยีการผลิตสามารถหาซื้อได้ (technology availability)**

แม้อุตสาหกรรมปิโตรเคมีจะเป็นอุตสาหกรรมที่เป็นอุตสาหกรรมที่มีเทคโนโลยีการผลิตที่ซับซ้อน และประเทศที่เป็นเจ้าของเทคโนโลยีในการผลิตมีอยู่จำกัด แต่ก็ไม่ได้เป็นอุปสรรคหรือเป็นสิ่งกีดกันการเข้ามาสู่ธุรกิจ (barrier to entry) เนื่องจากสามารถจัดหาหรือซื้อเทคโนโลยีเหล่านั้นได้ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่เป็นโภคภัณฑ์หรือใช้งานทั่วไป (commodity petrochemical) มีเจ้าของเทคโนโลยีหลายรายที่พร้อมจะขายใบอนุญาต (license) พร้อมทั้งถ่ายทอดความรู้ให้ด้วย แต่สำหรับเทคโนโลยีสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีพิเศษ (specialty petrochemical) ที่มีมูลค่าสูงและมีเจ้าของเทคโนโลยีการผลิตน้อยราย การหาซื้อเทคโนโลยีเป็นไปได้ยากหรือเป็นไปไม่ได้เลย เนื่องจากเจ้าของเทคโนโลยีเหล่านี้มักใช้เทคโนโลยีเป็นสิ่งกีดกันการเข้ามาสู่ธุรกิจของผู้ประกอบการรายอื่น สิ่งที่ผู้ประกอบการรายใหม่ที่สนใจทำได้ก็เพียงเข้าไปร่วมทุน (joint venture) ซึ่งในหลายกรณีที่เจ้าของเทคโนโลยีจะถือหุ้นส่วนใหญ่และควบคุมการบริหารจัดการทั้งหมด

ผู้ผลิตในธุรกิจปิโตรเคมี

**มีผู้ประกอบการมาก (large number of participants) – มีการแข่งขันสูง (highly competitive)**
ในการพิจารณาว่าผู้ประกอบการปิโตรเคมีมีมากนั้นไม่ได้มองเพียงผู้ประกอบการในประเทศใดประเทศหนึ่ง แต่เป็นการพิจารณาถึงผู้ประกอบการทั่วโลกว่ามีจำนวนมาก ทั้งนี้สะท้อนให้เห็นว่าอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีลักษณะเป็นธุรกิจสากล มีการแข่งขันสูงในตลาดโลก ซึ่งเป็นตลาดสากลทั้งการแข่งขันตลาดส่งออกหรือแม้กระทั่งตลาดในประเทศ

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีทำหน้าที่เป็นอุตสาหกรรมสนับสนุนโดยผลิตเคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการผลิตในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ มากมาย ประเทศต่างๆ เมื่อมีการพัฒนาประเทศมาสู่ระบบเศรษฐกิจอุตสาหกรรมมากขึ้นต้องให้การสนับสนุนอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นอันดับแรก แม้กระทั่งมีมาตรการจูงใจการลงทุนในรูปแบบต่างๆ ทำให้ผู้ประกอบการเข้ามาลงทุนในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้ไม่ยาก เมื่อมีความพร้อมทั้งเงินทุน โครงสร้างพื้นฐาน และทรัพยากรมนุษย์โดยเฉพาะบุคลากรด้านเทคนิคและวิศวกรรม โดยในระยะแรกต้องผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่เป็นโภคภัณฑ์หรือใช้งานทั่วไป ซึ่งจัดหาเทคโนโลยีการผลิตได้ไม่ยากและในราคาไม่แพง

**กระจายทั่วทุกภูมิภาค (distributed globally)**
จากความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่มีกระจายอยู่ทั่วโลก การค้าและการลงทุนในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีก็สามารถทำได้ทุกภูมิภาคทั่วโลก แม้กระทั่งประเทศที่ไม่มีทรัพยากรปิโตรเลียมในประเทศที่ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่สำคัญสำหรับการผลิตปิโตรเคมี ก็สามารถลงทุนสร้างโรงงานปิโตรเคมีได้ ต่างจากการลงทุนในอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมการสำรวจและผลิตปิโตรเลียมซึ่งขึ้นกับทรัพยากรในประเทศว่ามีหรือไม่ หรืออุตสาหกรรมการเกษตรหลายประเภทที่มีข้อจำกัดด้านภูมิศาสตร์และภูมิอากาศในแต่ละแห่งว่าเหมาะสมกับผลิตผลใด แต่ในกรณีอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไม่มีข้อจำกัดเหล่านี้ ดังนั้น การพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจึงกระจายตัวอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของโลก

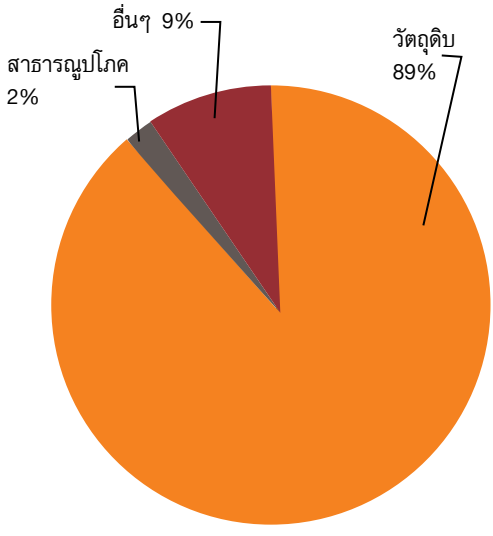


ที่ตั้งโรงงานเอทิลีนแครกเกอร์คอมเพล็กซ์ที่สำคัญในโลก

**คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่าง (uniform in quality)**
ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่เป็นโภคภัณฑ์หรือเกรดที่ใช้งานทั่วไปนั้น คุณภาพผลิตภัณฑ์ผู้ประกอบการแต่ละรายไม่แตกต่างกันนัก เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตมีมานาน และเจริญเต็มที่แล้ว รวมทั้งมีข้อกำหนดคุณภาพร่วมของผลิตภัณฑ์ทำให้ไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ของใคร ผู้ซื้อจึงสามารถเปลี่ยนจากผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตรายหนึ่งไปยังผู้ผลิตรายอื่นได้โดยไม่มีผลต่อคุณภาพของสินค้า ยกตัวอย่างเช่น เอทิลีนที่มาจากแหล่งผลิตต่างกันก็จะมีสมบัติไม่ต่างกัน หรือในกรณีของเม็ดพลาสติกเกรดทั่วไปที่เกรดเดียวกัน เช่น เกรดเป่าถุงของแต่ละผู้ผลิตแต่ละรายก็จะมีสมบัติและคุณภาพไม่ต่างกันมากนัก สะท้อนให้เห็นถึงการแข่งขันที่สูง โดยเฉพาะในตลาดเม็ดพลาสติกเกรดทั่วไปที่ผู้ประกอบการแปรรูปพลาสติกสามารถเปลี่ยนผู้จัดหาเม็ดพลาสติกได้ไม่ยากนัก หากมีเงื่อนไขราคาและการบริการที่ดีกว่า

อย่างไรก็ตาม ในกรณีคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างนี้ อาจใช้ไม่ได้กับผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีเกรดพิเศษ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มักต้องการสมบัติพิเศษเฉพาะบางประการ และสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตแต่ละแห่งอาจไม่เหมือนกัน ดังนั้น การที่ผู้ซื้อเปลี่ยนผู้จัดหาวัตถุดิบอาจมีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ และในท้ายที่สุดอาจไม่สามารถเปลี่ยนแปลงผู้ผลิตวัตถุดิบได้แม้เงื่อนไขด้านราคาหรือบริการจะดีกว่าก็ตาม การแข่งขันด้านสมบัติและคุณภาพจึงมีผลต่อการตัดสินใจของผู้ซื้ออย่างมาก

**ต้นทุนขึ้นกับวัตถุดิบ – น้ำมันดิบเป็นตัวบ่งชี้ (cost is based on feedstock – follow crude oil price trend)**
ในการผลิตปิโตรเคมีเกือบทุกชนิดโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่ใช้งานทั่วไป ต้นทุนวัตถุดิบจะเป็นต้นทุนหลักส่วนใหญ่มากกว่าครึ่งหนึ่ง หรือบางช่วงอาจจะสูงถึงสี่ในห้าของโครงสร้างต้นทุนการผลิตทั้งหมด วัตถุดิบนี้ล้วนเป็นผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม โดยเฉพาะแนฟทา ซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่ใช้มากที่สุด ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบหรือคอนเดนเสท ดังนั้นราคาแนฟทาจะปรับตัวตามตลาดน้ำมันเป็นหลัก ราคาน้ำมันดิบจึงมีอิทธิพลต่อต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีอย่างมาก นอกจากวัตถุดิบที่เป็นต้นทุนสำคัญที่สุดสำหรับการผลิตปิโตรเคมีแล้ว ต้นทุนสำคัญอีกส่วนหนึ่งสำหรับการผลิตปิโตรเคมีและมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับราคาน้ำมันคือต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการผลิต ซึ่งส่วนหนึ่งผลิตขึ้นเองภายในโรงงาน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าราคาน้ำมันดิบจะเป็นตัวบ่งชี้สำคัญที่มีผลต่อต้นทุนของการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีอย่างมาก




สัดส่วนต้นทุนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ของเอเชีย

**กำไรขึ้นกับอัตราการใช้กำลังการผลิต (margin vary by operating rate)**
ในประเด็นนี้เกิดจากพฤติกรรมของการผลิตที่ตอบสนองต่อตลาด ซึ่งไม่ต่างจากอุตสาหกรรมอื่นมากนัก กล่าวคือ ในสภาวะที่ตลาดตึงตัว มีความต้องการสินค้าสูง แต่สินค้าในตลาดมีไม่เพียงพอทำให้ราคาผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์สูง อัตราการทำกำไรของผู้ประกอบการดี ดึงดูดให้ผู้ประกอบการเร่งการผลิตให้มีการใช้อัตราการใช้กำลังการผลิตให้เต็มประสิทธิภาพมากที่สุด เท่ากับเป็นการลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยทำให้ได้ผลกำไรสูง ได้ผลประกอบการดีที่สุด ในทางตรงข้าม หากสภาวะที่ตลาดมีกำลังการผลิตเกินกว่าความต้องการมาก ราคาผลิตภัณฑ์ก็จะอยู่ในเกณฑ์ต่ำ มีอัตราการทำกำไรต่ำ ผู้ประกอบการก็อาจต้องลดอัตราการใช้กำลังการผลิตลงตามสภาพตลาด

**ความต้องการผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจ (demand depends on economics)**
ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีเป็นพื้นฐานในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย และเข้าไปมีบทบาทในเกือบทุกภาคส่วนของระบบเศรษฐกิจ ดังนั้น ภาวะเศรษฐกิจที่เป็นเครื่องชี้วัดกิจกรรมทางเศรษฐกิจทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นทางภาคการผลิตหรือการบริโภค ล้วนแต่ส่งผลต่อความต้องการผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีอย่างใกล้ชิด หากภาวะเศรษฐกิจขยายตัว ความต้องการปิโตรเคมีก็มีแนวโน้มขยายตัวตามไปด้วย ในทางตรงข้ามหากช่วงใดเศรษฐกิจเกิดการตกต่ำความต้องการปิโตรเคมีก็จะมีแนวโน้มลดลงไปด้วยเช่นกัน

จากความสัมพันธ์ดังกล่าว การพิจารณาแนวโน้มการเจริญเติบโตของความต้องการผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีสามารถทำได้โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีแต่ละชนิดเทียบกับผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product, GDP) อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์ ขึ้นกับความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดและประเภทการใช้งาน



การเจริญเติบโตของเศรษฐกิจและสังคมมีผลต่ออุตสาหกรรมปิโตรเคมี

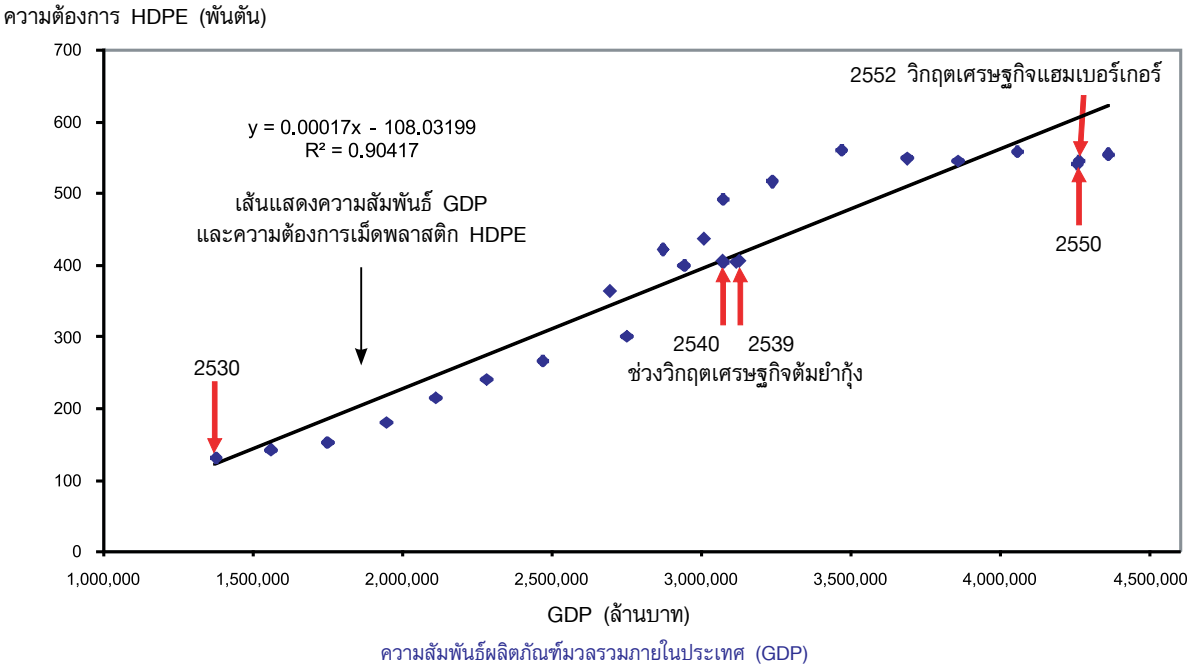
ในทางปฏิบัติในภาคอุตสาหกรรม การพิจารณาอัตราการเจริญเติบโตของอุปสงค์ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีแต่ละชนิดนั้นนิยมนำไปเปรียบเทียบกับอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (% growth of product demand/% growth of GDP) สัดส่วนดังกล่าวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ ขึ้นกับภาวะของช่วงอายุของวงจรผลิตภัณฑ์ หากเป็นผลิตภัณฑ์ที่เริ่มเข้ามาสู่ตลาดใหม่สัดส่วนนี้จะมีค่าสูง แต่หากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งานมานานแล้วและเริ่มมีการอิ่มตัวของอุปสงค์ สัดส่วนดังกล่าวก็จะมีค่าลดลง

**วัฏจักรของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (cyclicality)**

จากข้อมูลในอดีตพบว่าอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นอุตสาหกรรมที่มีวัฏจักรทางธุรกิจอย่างเห็นได้ชัด โดยช่วงเวลาของแต่ละวัฏจักรทางธุรกิจของปิโตรเคมีที่ผ่านมามีช่วงเวลาระหว่าง 7-9 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์แวดล้อมต่างๆ ด้วย สาเหตุที่ทำให้ธุรกิจปิโตรเคมีมีลักษณะเป็นวัฏจักรสามารถอธิบายตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา คือ

เมื่อกำลังการผลิตตึงตัว อัตราการใช้กำลังการผลิตของอุตสาหกรรมโดยรวมอยู่ในเกณฑ์สูง ผลักดันราคาและอัตราการทำกำไรของธุรกิจให้อยู่ในระดับที่สูง ช่วงนี้จะเป็นช่วงจุดสูงสุดของวัฏจักร ซึ่งจะดึงดูดให้นักลงทุนที่เห็นโอกาสในการทำกำไรเข้ามาทำธุรกิจปิโตรเคมีเพิ่ม

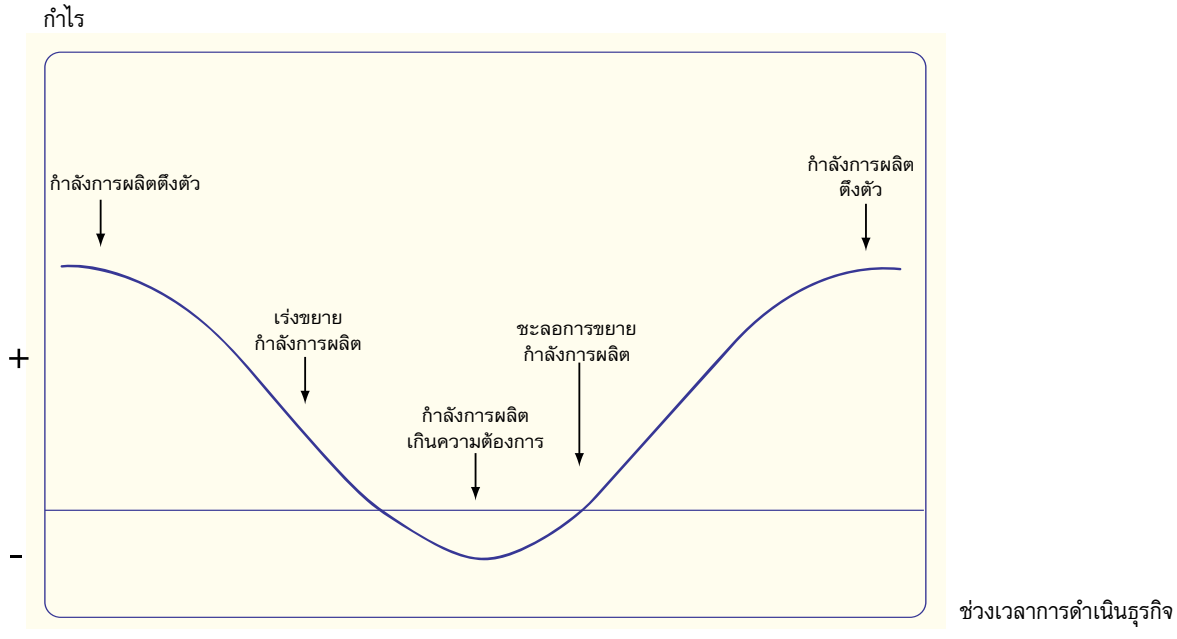
เมื่อกำไรดี นักลงทุนต่างๆ จะเพิ่มกำลังการผลิต แต่การสร้างโรงงานปิโตรเคมีแต่ละแห่งต้องใช้เวลาประมาณ 3-5 ปี รวมระยะเวลาการวางแผนและก่อสร้างโรงงาน ดังนั้นการลงทุนจึงต้องมีการวางแผนควบคู่ไปกับประมาณการของอุปสงค์ในอนาคต และเพื่อให้โรงงานมีความสามารถในการแข่งขันที่ดี การสร้างโรงงานจะต้องทำให้มีขนาดกำลังการผลิตที่ใหญ่ เป็นการประหยัดจากขนาดการผลิต (economies of scale) ดังนั้น การสร้างโรงงานจึงมักเป็นการขยายให้มีขนาดเกินกว่าความต้องการ และรอให้พอดีกับอุปสงค์ที่จะค่อยๆ เพิ่มทุกปี นอกจากนี้เนื่องจากไม่มีการปิดกั้นการลงทุน เมื่อมีผู้เห็นโอกาสหลายคนก็มีการเพิ่มกำลังการผลิตมากราย ดังนั้นเมื่อโรงงานเริ่มดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาดทำให้อุปทานหรือกำลังการผลิตสูงกว่าอุปสงค์ จึงเข้าสู่ช่วงขาลงทางธุรกิจ อัตราการทำกำไรในช่วงนี้จะลดลงเรื่อยๆ




ความสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP)
และความต้องการเม็ดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ของไทยใน พ.ศ. 2530-2552

เมื่อกำลังการผลิตใหม่ที่มีการวางแผนไว้เปิดดำเนินการอย่างเต็มที่ ช่วงนี้อุปทานสูงกว่าอุปสงค์มาก อัตราการใช้กำลังการผลิตและอัตราการทำกำไรต่ำ อุตสาหกรรมเข้าสู่จุดต่ำสุดของวัฏจักร ผู้ประกอบการหยุดขยายกำลังการผลิต

เมื่อไม่มีกำลังการผลิตใหม่เพิ่มเข้าในตลาด ขณะที่อุปสงค์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามการเติบโตทางเศรษฐกิจ อัตราการใช้กำลังการผลิตเริ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ อัตราการทำกำไรของธุรกิจดีขึ้น เข้าสู่ช่วงขาขึ้นของวัฏจักรทางธุรกิจ และเข้าสู่จุดสูงสุดของวัฏจักรปิโตรเคมี คือจุดที่กำลังการผลิตตึงตัวอีกครั้งหนึ่งต่อไป




วัฏจักรการลงทุนของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

จากความรู้เรื่องวัฏจักรทางธุรกิจของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทำให้สามารถวางแผนกำหนดช่วงเวลาการลงทุนในธุรกิจปิโตรเคมีที่เหมาะสมได้ล่วงหน้า ผู้ที่สามารถสร้างโรงงานให้เสร็จได้พอดีกับช่วงกำไรสูงสุดของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีก็จะสามารถได้ทุนคืนเร็ว ผู้ที่สร้างโรงงานเสร็จในช่วงกำไรต่ำสุดของวัฏจักรก็จะประสบความลำบากในการดำเนินกิจการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะแรกๆ การตัดสินใจการลงทุนจึงต้องพิจารณาผลของวัฏจักรนี้ด้วย นอกจากนี้จากสภาพการเป็นวัฏจักรของอุตสาหกรรมนี้ ทำให้เข้าใจธรรมชาติของธุรกิจนี้ว่ามีปีที่ราคาดีและปีที่ราคาไม่ดี ปีที่ราคาไม่ดีนั้นไม่เพียงแต่กำไรลดเท่านั้น ในบางครั้งอาจร้ายแรงถึงขนาดขาดทุนก็ได้ จึงต้องมีการเตรียมตัวจัดการแผนการเงินและดำเนินงานให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถพยุงตัวให้อยู่รอด รวมถึงอาจใช้ประโยชน์จากโอกาสที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่เลวร้ายของวัฏจักรทางธุรกิจปิโตรเคมีให้ได้

**บูรณาการรวมหน่วยการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (integration)**

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่แบ่งออกเป็นขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย ในการประกอบกิจการอาจประกอบกิจการเพียงขั้นใดขั้นหนึ่ง (stand-alone) หรือเลือกที่จะมีการเชื่อมโยงให้เกิดการประกอบการอย่างต่อเนื่อง ระหว่างอุตสาหกรรมขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย (integrated operation) ก็ได้ แต่โดยทั่วไป บูรณาการการผลิตทำให้ความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีดีขึ้น เกิดการเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต โดยเลือกทำให้ครบวงจรหรือทำเพียงช่วงหนึ่งก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสมเป็นกรณีๆ ไป

รูปแบบบูรณาการการผลิตของผู้ประกอบการรายใดรายหนึ่งนั้นแบ่งได้เป็นสองแบบ คือ แบบย้อนกลับไปหาวัตถุดิบ (backward integration) เช่น จากการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลายไปสู่การผลิตขั้นกลางหรือขั้นต้น และแบบบูรณาการ จากการผลิตวัตถุดิบลงไปสู่ผลิตภัณฑ์แต่ละขั้นต่อไป (forward integration) เช่น จากการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นไปสู่การผลิตขั้นกลางและขั้นปลาย มีหลายกรณีที่มีบูรณาการจนถึงการผลิตวัตถุดิบตั้งต้น (feedstock) ที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมด้วยตนเอง เช่น การมีโรงกลั่นแยกคอนเดนเสท (condensate splitter) เองเพื่อผลิตแนฟทาสำหรับป้อนการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น หรือการที่โรงกลั่นบูรณาการไปสู่ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น เป็นต้น

การบูรณาการสายการผลิตในบริษัทใดบริษัทหนึ่งทำให้สามารถใช้ระบบราคาโอนถ่าย (transfer price) ในการปรับต้นทุนของส่วนต่างๆ ของสายการผลิตเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดตลอดทุกส่วนการผลิต เริ่มตั้งแต่วัตถุดิบตั้งต้นจนถึงผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย ทำให้มีความสามารถในการแข่งขันสูงขึ้น ได้เปรียบเหนือผู้ผลิตผลิตภัณฑ์แบบเดี่ยวโดยเฉพาะเมื่อตลาดของผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีความผันผวน เพราะสามารถคุมปริมาณการผลิตและต้นทุนได้ทุกระดับตั้งแต่วัตถุดิบตั้งต้น ผลิตภัณฑ์ขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสามารถผลิตวัตถุดิบได้เองทุกขั้นก็จะทำให้มีความมั่นคงในการจัดหาวัตถุดิบ (security of feedstock/raw material) ตลอดจนมีการกระจายความเสี่ยงในการดำเนินธุรกิจในช่วงเวลาที่อุตสาหกรรมแต่ละขั้นมีความผันผวนต่างกัน เมื่อสภาพตลาดหรือสภาพอุตสาหกรรมของส่วนใดส่วนหนึ่งมีปัญหา

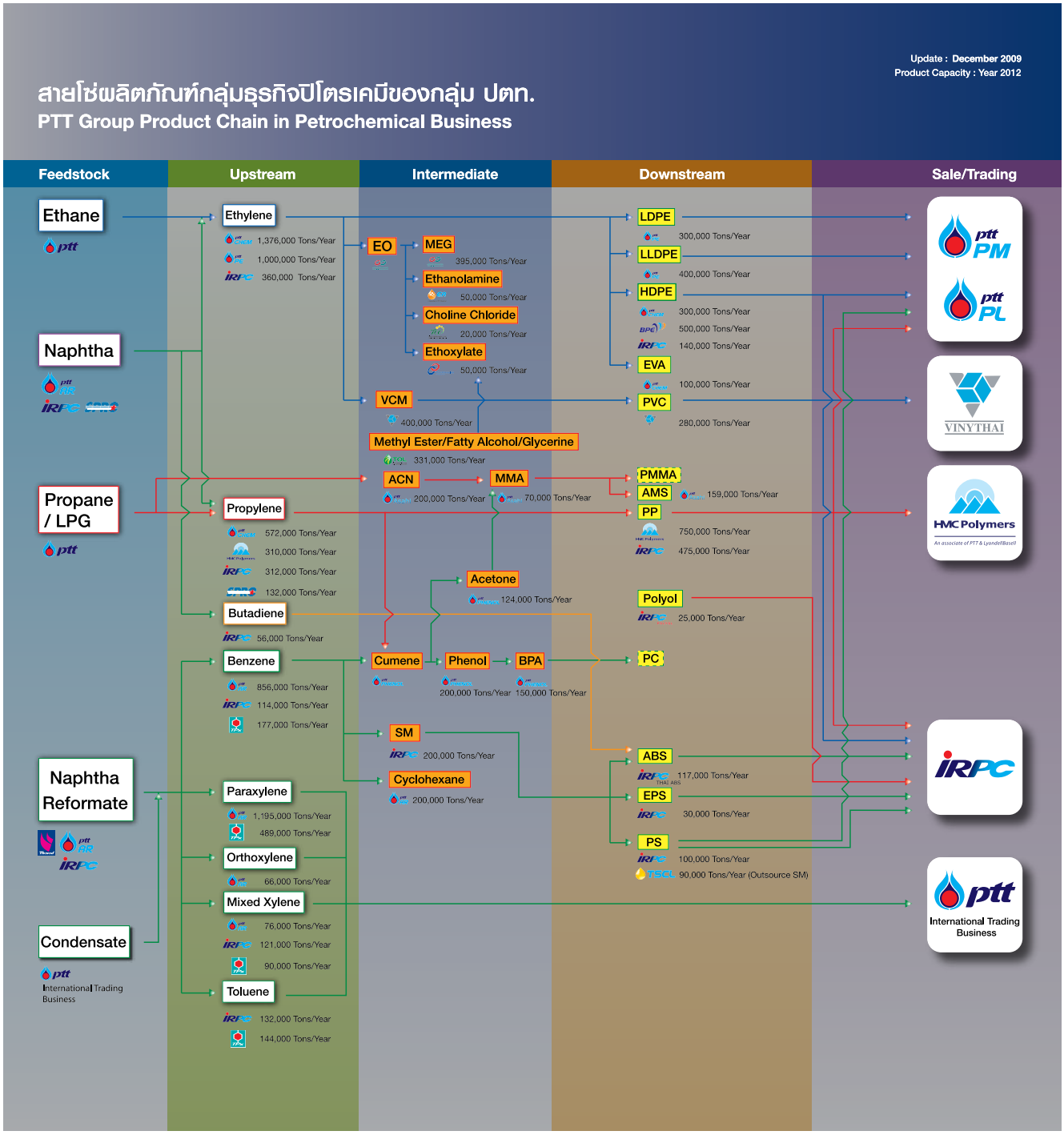
นอกจากนี้ บูรณาการการผลิตของปิโตรเคมียังมีข้อดีในด้านการใช้และการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐาน ลอจิสติกส์ และระบบสาธารณูปโภคร่วมกัน เช่น ระบบน้ำ ไฟฟ้า ไอน้ำ โรงซ่อมบำรุง คลังเก็บสินค้า ห้องควบคุม ห้องทดลอง ระบบป้องกันอัคคีภัย สำนักงานและอื่นๆ ทำให้ประหยัดเงินลงทุนและลดค่าใช้จ่ายคงที่ลงอย่างมาก

ด้วยเหตุที่การแข่งขันของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในตลาดโลกสูงมาก โครงการลงทุนในธุรกิจปิโตรเคมีต่างๆ ต้องเน้นการเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขัน ดังนั้น โครงการลงทุนปิโตรเคมีจำนวนมากในปัจจุบันจึงมีลักษณะที่มีบูรณาการการผลิตปิโตรเคมี เพื่อให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ในแต่ละขั้นตอนที่จะมาเชื่อมโยงกันต่างก็มีการเพิ่มคุณค่าผลกำไร และลักษณะการดำเนินธุรกิจแตกต่างกันออกไป ผู้ประกอบการแต่ละรายจึงต้องพิจารณาเงื่อนไขและความพร้อมในการลงทุนอย่างละเอียดรอบคอบในแต่ละสายการผลิตปิโตรเคมีเป็นแต่ละกรณีไป



ปิโตรเคมีคอมเพล็กซ์ใน Ludwigshafen เยอรมนี

ตัวอย่างการบูรณาการ ปิโตรเลียมและปิโตรเคมีในสายผลิตภัณฑ์ต่างๆ ของกลุ่ม ปตท.



**สถานภาพของวัตถุดิบ (feedstock position)**

การจัดหาวัตถุดิบที่เพียงพอในราคาที่เหมาะสมมีความสำคัญอย่างยิ่งในการดำเนินการ ซึ่งจะต้องมีเพียงพอตลอดเวลาในราคาที่เหมาะสมและแข่งขันกับผู้อื่นได้ เพราะค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบเป็นสัดส่วนสูงที่สุด (ร้อยละ 60-70 หรือมากกว่า) ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด จึงจัดเป็นหัวใจของการแข่งขัน ผู้ประกอบการรายใดที่สามารถเข้าถึงวัตถุดิบที่มีอย่างเพียงพอเชื่อถือได้ และมีราคาถูก ก็จะได้เปรียบผู้ประกอบการรายอื่นอย่างมาก ประเทศที่มีทรัพยากรปิโตรเลียมมากย่อมได้เปรียบเชิงแข่งขันด้านวัตถุดิบเหนือกว่าประเทศอื่นที่ไม่มีทรัพยากรปิโตรเลียมในประเทศหรือมีอยู่น้อย ประเทศที่มีความได้เปรียบในเรื่องวัตถุดิบอย่างเด่นชัดมาก ได้แก่ ประเทศในกลุ่มตะวันออกกลาง ซึ่งเป็นกลุ่มประเทศที่มีทรัพยากรปิโตรเลียมมากมาย ส่วนใหญ่เพิ่มมูลค่าให้กับก๊าซธรรมชาติโดยนำมาทำปิโตรเคมี หลายประเทศในกลุ่มนี้ใช้ข้อได้เปรียบจากปัจจัยแห่งความสำเร็จข้อนี้ มาขยายการลงทุนสู่อุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น ประเทศซาอุดิอาระเบีย อิหร่าน สาธารณรัฐอาหรับเอมิเรตส์ คูเวต เป็นต้น แม้จะมีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีในประเทศไม่มาก แต่ด้วยความได้เปรียบด้านวัตถุดิบตั้งต้นจึงมีความได้เปรียบในด้านต้นทุนการผลิต และสามารถส่งออกผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีเข้าสู่ตลาดสากลจนจัดเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก



ภูมิภาคตะวันออกกลางที่มีความได้เปรียบเรื่องวัตถุดิบตั้งต้นปิโตรเคมี

นอกจากความเพียงพอและราคาแล้วความมั่นคงและต่อเนื่องในการจัดหาวัตถุดิบมาป้อนโรงงานอยู่เสมอ (feedstock/raw material security) ก็มีความสำคัญอย่างยิ่ง ตัวอย่างเช่น การผลิตปิโตรเคมีขั้นกลางหรือขั้นปลายบางชนิดต้องการวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมขั้นต้น เช่น เอทิลีนซึ่งมีสถานภาพเป็นก๊าซ การขนส่งและการจัดเก็บทำได้ยากและมีต้นทุนสูง ความมั่นคงและต่อเนื่องในการจัดหาวัตถุดิบที่มีต้นทุนต่ำจึงปัจจัยแห่งความสำเร็จที่สำคัญอย่างยิ่ง

**โครงสร้างพื้นฐาน (infrastructure)**

แนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีของประเทศต่างๆ เป็นการพัฒนาในลักษณะบูรณาการ หรือที่เรียกกันว่า คอมเพล็กซ์ปิโตรเคมี จำเป็นต้องใช้โครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปการต่างๆ รองรับหลายด้าน เริ่มตั้งแต่การพัฒนาพื้นที่ ระบบการคมนาคมและขนส่ง เช่น ที่ดิน ถนน ทางรถไฟ ท่าเรือ ถังเก็บผลิตภัณฑ์สำหรับการส่งออกและนำเข้า ระบบท่อขนส่งต่างๆ รวมถึงระบบพลังงานและสิ่งใช้สอยอื่นๆ อันได้แก่ ระบบไฟฟ้า ระบบเชื้อเพลิง ระบบน้ำในอุตสาหกรรม และอื่นๆ

หัวใจสำคัญของโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีคือ ระบบน้ำและท่าเรือ เนื่องจากกระบวนการผลิตหลายกระบวนการจำเป็นต้องใช้น้ำหรือระบบหล่อเย็นต่างๆ ปริมาณมาก และคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีจำเป็นต้องอยู่บนพื้นที่ติดชายฝั่งทะเล เนื่องจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีการขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ปริมาณมากทางเรือ เราจึงพบว่าคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีจะตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลหรือมหาสมุทรที่มีท่าเรือรองรับการขนถ่ายสินค้าและวัตถุดิบ

โรงงานปิโตรเคมีใดอยู่ในที่ที่มีโครงสร้างพื้นฐานและระบบสาธารณูปการที่มีประสิทธิภาพ วัตถุดิบในราคาและคุณภาพที่แข่งขันได้ และมีความมั่นคงด้านการจัดหา ก็จะมีความได้เปรียบสามารถลดค่าใช้จ่ายในการประกอบกิจการลงได้มาก ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง โดยเฉพาะปัจจุบันการบริหารจัดการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบขนส่งหรือลอจิสติกส์ต่างๆ เช่น ถนน ท่าเรือ ทางรถไฟ และระบบคลังสินค้า เป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการให้ความสำคัญมาก เนื่องจากต้นทุนวัตถุดิบหรือเทคโนโลยีการผลิตในหลายพื้นที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในหลายๆ กรณี ต้นทุนลอจิสติกส์จึงเป็นตัวแปรของต้นทุนการผลิตที่สำคัญ



ท่าเรือ



**ทรัพยากรบุคคล (human resource)**

บุคลากรจัดเป็นส่วนสำคัญที่กำหนดความสำเร็จในการดำเนินธุรกิจปิโตรเคมี ตั้งแต่การวางแผนพัฒนา การบริหาร การดำเนินการผลิต การตลาด ทรัพยากรบุคคลที่เป็นส่วนสำคัญที่สุดของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีคือ บุคลากรด้านวิศวกรรมและฝ่ายเทคนิค เนื่องจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีเทคโนโลยีการผลิตที่ซับซ้อนและมีขนาดการผลิตใหญ่ บุคคลากรด้านนี้ต้องเข้าไปมีส่วนร่วม เริ่มตั้งแต่การวางแผนออกแบบโรงงาน การก่อสร้าง และที่สำคัญที่สุดคือการดำเนินการผลิตให้มีประสิทธิภาพ และเมื่อมีการดำเนินการไปได้ระยะหนึ่งแล้ว จำเป็นต้องมีการทำวิจัยและพัฒนาเพื่อต่อยอดเทคโนโลยี ซึ่งหมายถึงการขยายการผลิต การปรับปรุงกระบวนการผลิต การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ รวมไปถึงการควบคุมดูแลสภาวะแวดล้อมเพื่อแสดงความรับผิดชอบต่อสังคม จึงจำเป็นต้องเตรียมความพร้อมของบุคลากรด้านการวิจัยและพัฒนาเพื่อยกระดับอุตสาหกรรมไปสู่การดำเนินธุรกิจบนพื้นฐานความรู้มากขึ้น อันจะช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของธุรกิจมากยิ่งขึ้น

**เงินทุน (capital)**

ปัจจัยแห่งความสำเร็จอันหนึ่งที่มองข้ามไม่ได้คือ เงินทุน ทั้งเงินทุนในการลงทุนก่อสร้างโรงงาน และเงินทุนหมุนเวียนในการดำเนินธุรกิจ เงินทุนในการจัดหาวัตถุดิบ การจัดเก็บสินค้า การให้เครดิตลูกค้าสูงมาก นอกจากนี้ ในช่วงที่เกิดความผันผวน เช่น เป็นขาลงของวัฏจักรปิโตรเคมี ผู้ประกอบการต้องมีเงินทุนมากพอที่จะประคองธุรกิจให้ผ่านพ้นวิกฤตไปให้ได้ ดังนั้นผู้ที่มีกำลังเงินทุนแข็งแกร่งและมีต้นทุนทางการเงินต่ำย่อมมีความได้เปรียบเชิงแข่งขัน ด้วยเหตุนี้ บริษัทที่ดำเนินธุรกิจปิโตรเคมีรายใหญ่เกือบทั้งหมดจะมีความพร้อมด้านเงินทุนสูงมาก

**ใกล้ตลาด (market)**

การมีตลาดขนาดใหญ่และไม่ไกลจากแหล่งผลิตเป็นปัจจัยที่ได้เปรียบมากสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่มีการใช้งานกันทั่วไป ซึ่งมักเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาไม่แพงนักแต่จะมีปริมาณการสั่งซื้อสูง ค่าขนส่งจัดเป็นสัดส่วนที่สูงเทียบกับต้นทุนผลิตภัณฑ์ ในสถานการณ์ที่มีการแข่งขันรุนแรง ผู้ประกอบการต่างๆ พยายามลดต้นทุนของตนให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ จนในปัจจุบัน การลดต้นทุนจากส่วนของการผลิตเกือบจะทำต่อไปไม่ได้อีกแล้วหรือทำได้น้อยมาก การบริหารลอจิสติกส์ (logistics management) จึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้ผู้ประกอบการแข่งขันกับผู้ผลิตรายอื่นได้ ทั้งที่เป็นตลาดต่างประเทศและตลาดในประเทศ ปัจจัยสำคัญที่ไม่สามารถมองข้ามได้คือ ขนาดของตลาดในประเทศที่จะช่วยดูดซับปริมาณการผลิตขั้นพื้นฐาน (baseload) เป็นข้อได้เปรียบในเชิงพาณิชย์และมีความมั่นคงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตลาดส่งออกที่มีการแข่งขันสูงและอ่อนไหวต่อสถานการณ์ต่างๆ

**มีเทคโนโลยีล้ำหน้า (technology)**

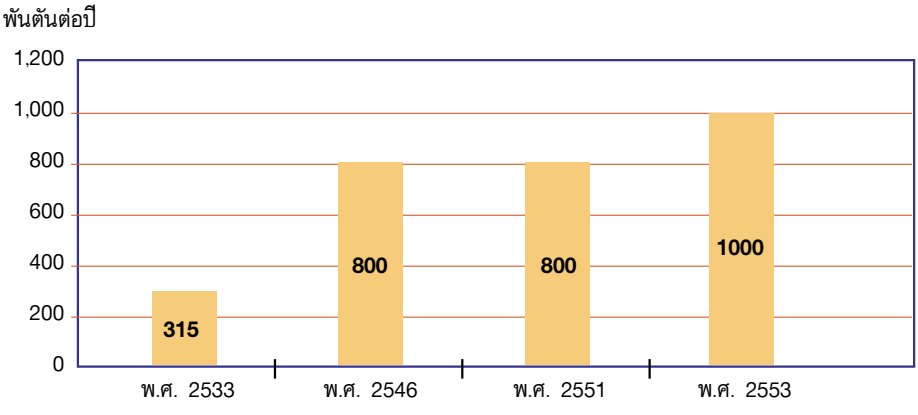
แม้เทคโนโลยีที่ใช้ผลิตปิโตรเคมีนั้นสามารถหาซื้อหรือร่วมลงทุนได้ แต่ผู้ประกอบการที่เลือกใช้หรือมีเทคโนโลยีการผลิตที่ดี เหมาะสม และมีประสิทธิภาพดีกว่าย่อมเริ่มต้นได้ดีกว่า อย่างไรก็ดี ผู้ประกอบการมีโอกาสที่จะพัฒนาและปรับปรุงต่อยอดเทคโนโลยีการผลิตให้ดีขึ้นโดยลำดับ และได้เปรียบผู้ประกอบการใหม่ที่อาจเข้ามาแข่งขัน โดยจำเป็นต้องมีการติดตามการเปลี่ยนแปลงหรือความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อนำมาปรับปรุงระบบการผลิตของตนให้อยู่ในระดับแนวหน้า โดยอาจร่วมมือกับเจ้าของเทคโนโลยีเดิมที่ทางโรงงานได้ซื้อมา หรือจากการวิจัยและพัฒนาภายในหรือร่วมกับสถาบันวิชาการ/สถาบันวิจัยภายนอก การปรับปรุงดังกล่าวส่งผลดีหลายด้าน เช่น ให้ผลผลิตสูงขึ้น ใช้วัตถุดิบลดลง คุณภาพผลิตภัณฑ์ดีขึ้น ใช้พลังงานในการผลิตลดลง ลดการสูญเสียในกระบวนการผลิต เป็นต้น ในภาพรวม การลดต้นทุนการผลิตหรือการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์เป็นจุดสำคัญในการแข่งขัน และอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลายจะมีโอกาสพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้แตกต่างหรือเพิ่มมูลค่าได้มากกว่า



การวิจัยพัฒนาในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

**การประหยัดจากขนาดการผลิต (economies of scale)**

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องแข่งขันกันที่ต้นทุนการผลิต (ยกเว้นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีเกรดพิเศษที่มีกำลังการผลิตต่ำ แต่มีมูลค่าเพิ่มสูง) โรงงานขนาดใหญ่มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโรงงาน ค่าเครื่องจักร ตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ สูงกว่าโรงงานขนาดเล็ก แต่เมื่อคิดเทียบเป็นต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสินค้า ต้นทุนต่อหน่วยของโรงงานใหญ่จะต่ำกว่าต้นทุนต่อหน่วยของโรงงานเล็ก จากความสำคัญของการประหยัดจากขนาดการผลิตที่มีผลต่อต้นทุนนี้เองทำให้นับวันการพัฒนาเทคโนโลยีในการสร้างหน่วยการผลิต ตลอดจนเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ จะเน้นการผลิตด้วยกำลังการผลิตที่มีขนาดใหญ่ขึ้นโดยลำดับ ยกตัวอย่างเช่น โรงงานผลิตเอทิลีนในประเทศเริ่มจากขนาดการผลิตที่เกิดการประหยัดจากขนาดเพียง 315,000 ตันต่อปีใน พ.ศ. 2533 แต่เพิ่มขนาดขึ้นเป็น 1,000,000 ตันต่อปีใน พ.ศ. 2553 เป็นต้น




กำลังการผลิตโรงงานเอทิลีนแครกเกอร์ขนาดใหญ่ที่สุดของไทยในแต่ละช่วงเวลา

**บูรณาการการผลิตที่เหมาะสม (appropriate integration)**

จากประโยชน์ของบูรณาการการผลิตที่ส่งผลให้ความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการที่มีการลงทุนที่เชื่อมโยงตลอดสายการผลิตดีกว่าผู้ประกอบที่มีโรงงานแบบเดี่ยว บูรณาการสายการผลิตจะเสริมความเข้มแข็งในปัจจัยแห่งความสำเร็จด้านวัตถุดิบ ทั้งในด้านของความมั่นคงในการจัดหา การวางแผนการผลิต การขนส่ง และการจัดการลอจิสติกส์ ทำให้ได้เปรียบด้านวัตถุดิบอย่างมาก นอกจากนี้ยังช่วยแบ่งภาระต้นทุนได้อีกหลายด้าน เช่น ต้นทุนการจัดการระบบสาธารณูปโภคต่างๆ ต้นทุนการซ่อมบำรุง และการทำวิจัยและพัฒนา เป็นต้น

ในช่วงที่ตลาดมีความผันผวนมาก วัตถุดิบบางชนิด เช่น เอทิลีน อาจมีราคาสูงมาก ทำให้ผลประกอบการของผู้ผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนประสบปัญหาขาดทุนจากการดำเนินงาน ผู้ประกอบการที่เป็นโรงงานผลิตพอลิเอทิลีนแบบโรงงานเดี่ยวต้องประสบปัญหากับการขาดทุนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่ผู้ประกอบการที่มีการผลิตแบบบูรณาการ คือผลิตเอทิลีนได้เอง ยังสามารถประคองธุรกิจอยู่ได้ โดยอาจกำหนดราคาเอทิลีนเป็นแบบราคาโอนถ่าย (transfer price) ทำให้ภาพรวมของธุรกิจยังดำเนินการได้ ในทางตรงข้าม ในช่วงที่ราคาเอทิลีนตกต่ำ แต่ราคาเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนสูงก็จะช่วยให้ประคองให้ภาพรวมยังแข่งขันได้อยู่ ดังนั้น บูรณาการการผลิตเท่ากับเป็นการกระจายความเสี่ยงทางธุรกิจอย่างหนึ่ง และทำให้ผู้ประกอบการมีความสามารถในการแข่งขัน และพร้อมเผชิญกับความผันผวนของตลาดได้มากขึ้น

**มีเครือข่ายธุรกิจ – การเชื่อมโยงกับตลาดสากล (regional/global reach)**

การเชื่อมโยงกับตลาดสากลหรือความสามารถในการเข้าถึงกลุ่มลูกค้า ถือเป็นข้อได้เปรียบอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตลาดส่งออก การมีเครือข่ายตลาดสากลที่ดีย่อมหมายถึง

โอกาสที่จะเข้าถึงกลุ่มลูกค้าต่างประเทศได้ง่าย บริษัทที่เป็นผู้ผลิตรายใหญ่ของโลกที่ดำเนินธุรกิจปิโตรเคมีในตลาดโลกมาเป็นเวลานานจะมีความได้เปรียบมาก เนื่องจากมีตลาดที่มั่นคง มีปริมาณการผลิตการจำหน่ายสูง และเครือข่ายการเชื่อมโยงทางธุรกิจที่แข็งแรง โดยหลายบริษัทมีการลงทุนกระจายตัวอยู่ทั่วโลก นอกจากนี้ การบริหารและการตลาดของบริษัทเหล่านี้มักจะดำเนินการตามนโยบายของบริษัทแม่ เพื่อให้การทำธุรกิจสามารถเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ



บริษัทข้ามชาติ โดยเฉพาะบริษัทจากประเทศสหรัฐอเมริกา ยุโรปตะวันตก และญี่ปุ่น เป็นผู้ที่ดำเนินธุรกิจปิโตรเคมีมานาน มีประสบการณ์ วางเครือข่ายการตลาดไว้กว้างขวาง เป็นที่รู้จักและได้รับความไว้วางใจจากลูกค้า ตัวอย่างที่ชัดเจน ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งถึงแม้ขีดความสามารถในการแข่งขันในการผลิตของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในประเทศญี่ปุ่นจะลดลง แต่จากการที่ประเทศญี่ปุ่นเข้าสู่ธุรกิจนี้ก่อนประเทศกำลังพัฒนาอื่นๆ และสร้างเครือข่ายการตลาดที่ดีไว้ ตลอดจนมีศักยภาพในการเข้าถึงกลุ่มลูกค้า ทำให้ประเทศญี่ปุ่นยังคงมีบทบาทเด่นในแวดวงการธุรกิจการค้าผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีได้




ตลาดส่งออกปิโตรเคมีของไทย

**การเริ่มต้นของ “ปิโตรเคมี” ในประเทศไทย**

คนไทยรู้จักผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีชนิดแรกในรูปของสินค้าพลาสติก ตั้งแต่ช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นเครื่องประดับสตรีที่ทำจากพลาสติก ซึ่งในสมัยนั้นถือเป็นของ “เก๋” ที่สวยงามทันสมัยมาก ต่อมาเริ่มมีการนำเข้าเม็ดพลาสติก พอลิเอทิลีน และพอลิสไตรีน โดยห้างเหรียญชัยเป็นผู้นำเข้าเม็ดพลาสติกจากยุโรป เช่น บริษัท ไอซีไอ บริษัท มอนซานโต เป็นต้น โดยสั่งซื้อผ่านไต้หวัน บรรจุเป็นถุงเล็กๆ และห้างเต็กเฮงเป็นผู้นำเข้าสินค้าพลาสติกชิ้นเล็กๆ ที่ผลิตจากพอลิสไตรีน เช่น หวี และพลาสติกก้อนมาหลอมแล้วขึ้นรูปใหม่ แล้วเริ่มจำหน่ายเป็นธุรกิจเล็กๆ บนแผงขายส่งสินค้าพลาสติกโดยพ่อค้าในย่านสำเพ็ง เช่น กล่องสบู่ ของเด็กเล่น และอื่นๆ ก่อนจะค่อยพัฒนาขึ้นมาเป็นการนำเข้าเม็ดพลาสติก บริษัทที่ถือเป็น “ตำนานบทสำคัญของวงการพลาสติกไทย” คือ บริษัท เลียกเซ้งเทรดดิ้ง จำกัด ก่อตั้งใน พ.ศ. 2500 โดยคุณไพศาล ฉัตรเลขวนิช หรือเถ้าแก่เลียก เป็นผู้นำเข้าเม็ดพลาสติกรายแรกที่จัดส่งเม็ดพลาสติกให้โรงงานหลายแห่ง ส่วนใหญ่อยู่ในเขตกรุงเทพ มีทั้งโรงอัด โรงเป่า และโรงฉีดพลาสติก เพื่อผลิตเป็นถุงและชิ้นส่วนพลาสติกต่างๆ ที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เข้ามาแทนที่วัสดุธรรมชาติ เช่น ใบตอง กระดาษ โลหะ ทำให้เกิดความสะดวกสบาย มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ส่งผลให้จำนวนโรงงานแปรรูปพลาสติกเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว อุปสงค์เม็ดพลาสติกจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เป็นแรงผลักดันให้เกิดการเริ่มต้นผลิตเม็ดพลาสติกขึ้นเองเพื่อทดแทนการนำเข้า นับเป็นจุดเริ่มต้นการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในประเทศไทย



สำเพ็งแหล่งกำเนิดของ “ปิโตรเคมี” ในไทย



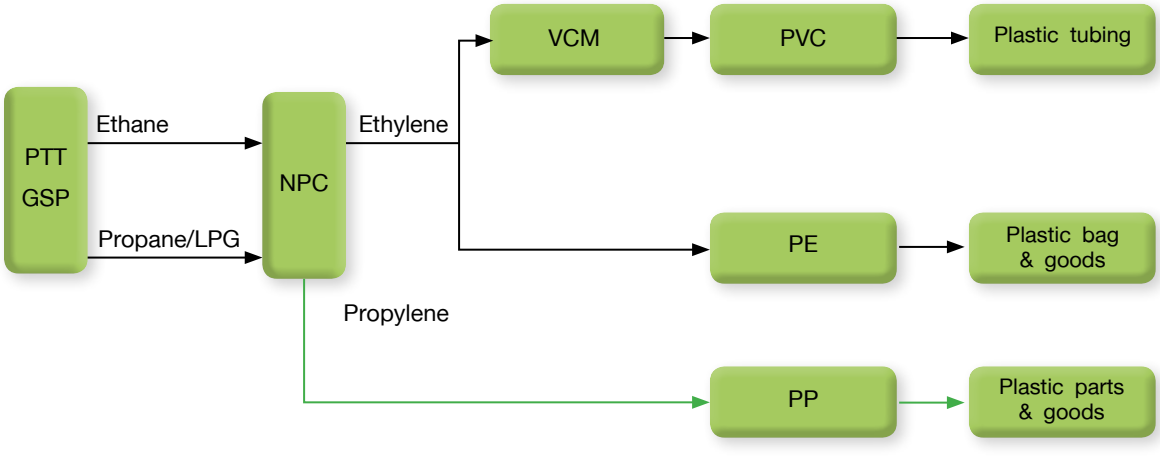
สินค้าพลาสติกในยุคแรกเริ่ม

โรงงานปิโตรเคมีโรงแรกๆ ที่สร้างขึ้นในประเทศไทยจึงเป็นโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกคือ โรงงานผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ของบริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นโรงงานแรกของคนไทย เริ่มผลิตใน พ.ศ. 2514 ที่ อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ ผลิตไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ขึ้นเองด้วยกำลังการผลิต 9,000 ตัน/ปี และผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ด้วยกำลังการผลิต 8,300 ตัน/ปี การเริ่มต้นด้วยเม็ดพลาสติกดังกล่าวอยู่ในลักษณะเดียวกับประเทศกำลังพัฒนาอื่นๆ ที่มักเริ่มต้นพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีด้วยการก่อตั้งโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิสไตรีน เนื่องจากการขนส่งวัตถุดิบทำได้ไม่ยาก อีกทั้งเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดยังเป็นพลาสติกเกรดธรรมดาที่นำไปผลิตสินค้าได้หลากหลาย มีราคาไม่แพง และมีอุปสงค์สูง โดยเฉพาะงานก่อสร้างและงานโครงสร้างสาธารณูปโภค โดยนำพอลิไวนิลคลอไรด์มาใช้ในงานระบบท่อ ระบบประปา สายไฟฟ้า ชิ้นส่วนอาคารอย่างประตู พื้น เพดาน เป็นต้น และนำพอลิสไตรีนมาทำบรรจุภัณฑ์ข้าวของเครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น จาน ชาม โต๊ะ เก้าอี้ รวมถึงทำชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ

## การพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทยระยะต่างๆ

ในอดีต ก่อนการค้นพบก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยประมาณ 4-6 ปี ประเทศไทยมีความพยายามสร้างคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีที่ใช้แนฟทาเป็นวัตถุดิบที่โรงกลั่นน้ำมันไทย (หรือโรงกลั่นน้ำมันไทยออยล์ในปัจจุบัน) ที่ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี แต่ไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากไม่สามารถแข่งขันด้านราคากับเม็ดพลาสติกนำเข้า จนกระทั่งการค้นพบก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยใน พ.ศ. 2516 และรัฐบาลได้ตระหนักถึงความสำคัญและกำหนดเป็นนโยบายเพื่อวางแนวทางที่จะใช้ทรัพยากรก๊าซธรรมชาติของประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเป็นการเพิ่มมูลค่าก๊าซธรรมชาติ มีการตั้งคณะกรรมการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกขึ้น เพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศให้เป็นระบบภายใต้แผนพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก รวมการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีของประเทศโดยใช้ก๊าซธรรมชาติบางส่วนที่ได้จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติเป็นวัตถุดิบ และใช้พื้นที่บริเวณมาบตาพุด จ.ระยอง พัฒนาเป็นนิคมอุตสาหกรรมปิโตรเคมีหลักของประเทศตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา

- ระยะที่ 1 พ.ศ. 2523-2532 (ค.ศ. 1980-1989) ประเทศต้องการพัฒนาพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกโดยใช้ระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานเป็นแรงผลักดันการพัฒนา และต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขึ้นเองภายในประเทศเพื่อทดแทนการนำเข้า มีการสร้างนิคมอุตสาหกรรมสำหรับปิโตรเคมีในบริเวณมาบตาพุด จ.ระยองขึ้น การพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในระยะที่ 1 เป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในผลิตภัณฑ์สายโอเลฟินส์ โดยใช้บางส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติ คือ อีเทนและโพรเพนมาเป็นวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีในช่วงนั้นไม่มีความซับซ้อนนัก ได้แก่ เอทิลีนและโพรพิลีน เพื่อป้อนโรงงานเม็ดพลาสติก พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน และพอลิไวนิลคลอไรด์ เพื่อผลิตชิ้นส่วนและสินค้าพลาสติกที่ใช้งานทั่วไป

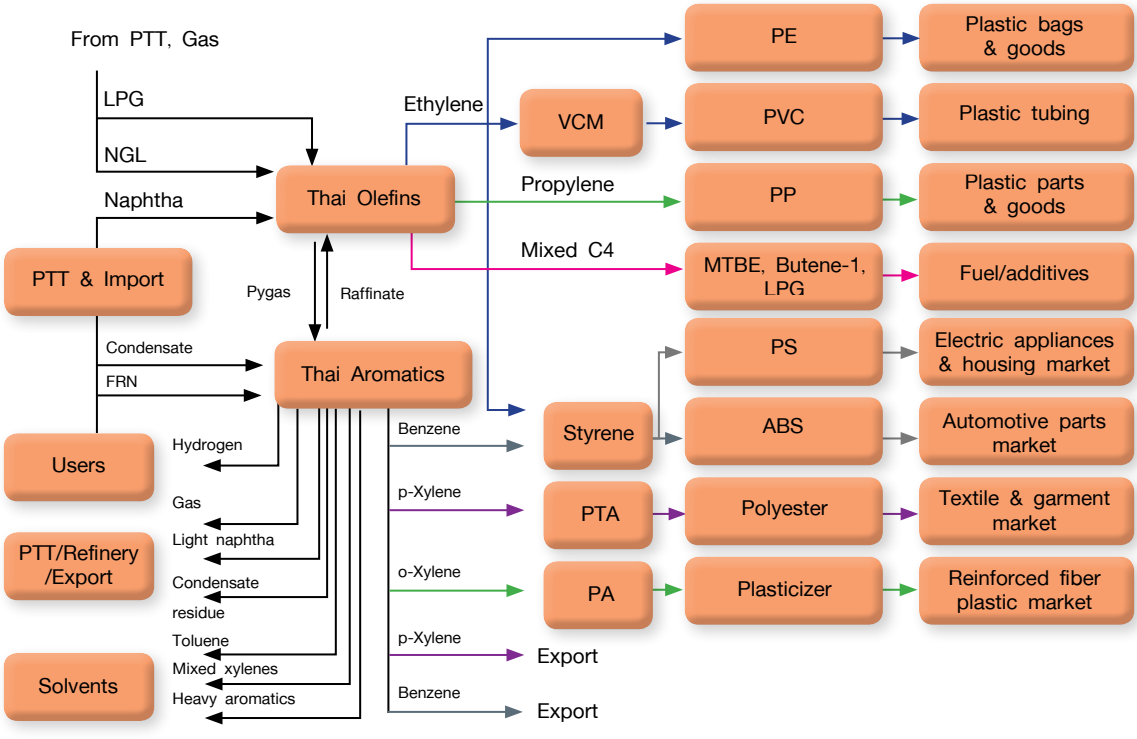



โครงการอุตสาหกรรมปิโตรเคมีระยะที่ 1 (NPC I)

• ระยะที่ 2 พ.ศ. 2532-2547 (ค.ศ. 1989-2004) แบ่งเป็น 2 ช่วง

- ช่วงที่ 1 พ.ศ. 2532-2538 (ค.ศ. 1989-1995) สืบเนื่องจากการขยายตัวของเศรษฐกิจอย่างก้าวกระโดดในช่วงนั้น ทำให้เกิดอุปสงค์ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่หลากหลายเพื่อรองรับการเติบโตของอุตสาหกรรมอื่นๆ ด้วย จึงเกิดโครงการอุตสาหกรรมปิโตรเคมีระยะที่ 2 ขยายการผลิตสายโอเลฟินส์และเริ่มผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีในสายแอโรแมติกส์ ใช้แนฟทาที่ได้จากน้ำมันปิโตรเลียมและคอนเดนเสทเป็นวัตถุดิบตั้งต้น ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นในสายแอโรแมติกส์ที่สำคัญ คือ เบนซีน ทอลิวอีน และไซลีน (โดยเฉพาะพาราไซลีน) เพื่อเป็นวัตถุดิบป้อนแก่เม็ดพลาสติกและเส้นใยสังเคราะห์

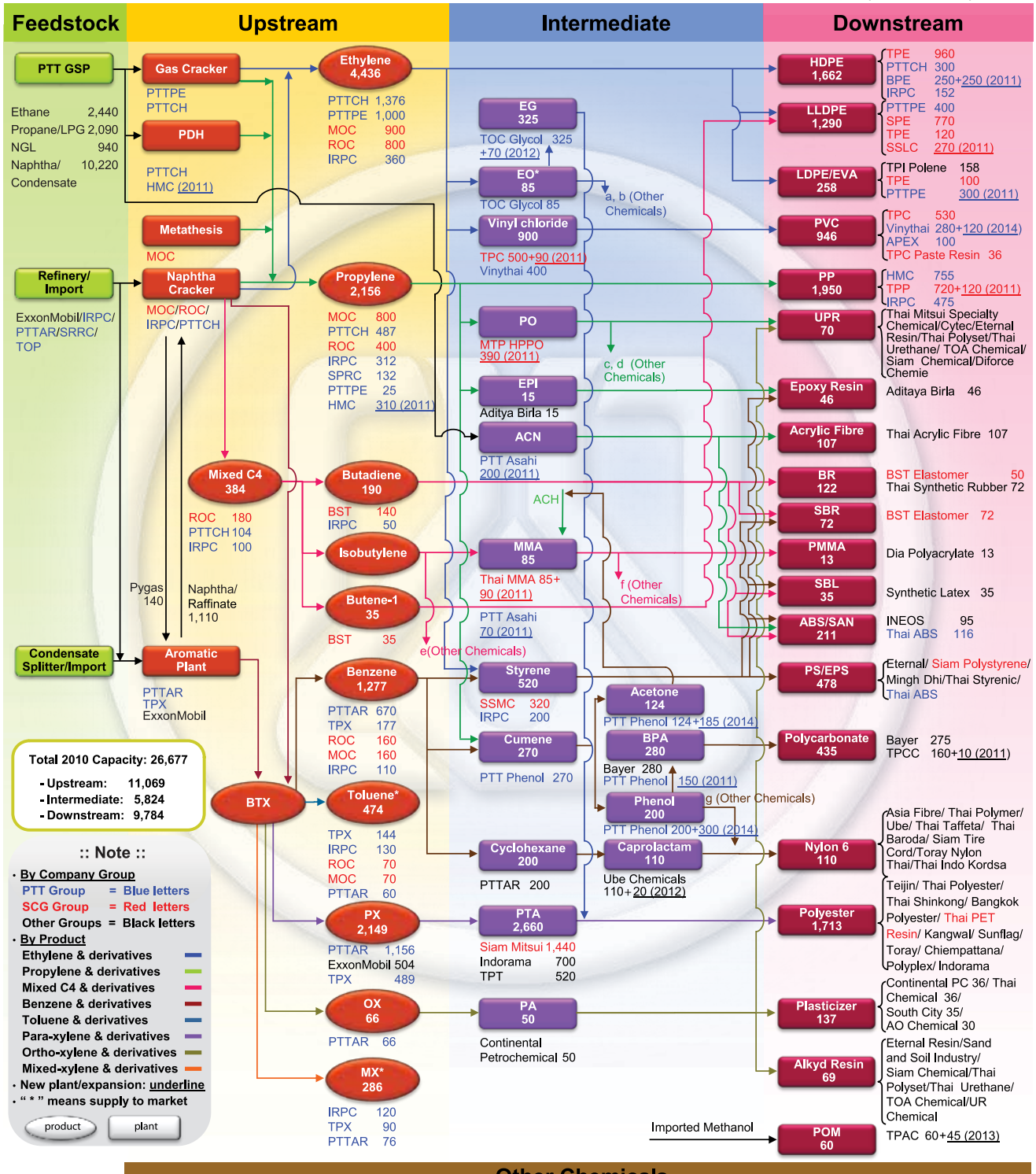
- ช่วงที่ 2 พ.ศ. 2538-2547 (ค.ศ. 1995-2004) เป็นการเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันเพื่อเข้าสู่ตลาดโลก ประเทศไทยพลิกบทบาทจากการเป็นผู้นำเข้าเม็ดพลาสติกสู่การเป็นผู้ส่งออกเม็ดพลาสติกรายสำคัญของเอเชียและกลุ่มประเทศอาเซียน มีการเปิดเสรีอย่างเป็นระบบ ทำให้บริษัทเอกชนสร้างโรงงานปิโตรเคมีกันมากขึ้น และผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่หลากหลาย อย่างไรก็ตามการเกิดวิกฤตเศรษฐกิจต้มยำกุ้ง (พ.ศ. 2541 หรือ ค.ศ. 1998) เป็นช่วงที่ผู้ประกอบการปิโตรเคมีของไทยและของโลกกำลังอยู่ในช่วงขยายกำลังการผลิตพอดี จึงได้รับผลกระทบอย่างมาก แต่อุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทยก็สามารถปรับตัวฟันฝ่าอุปสรรคด้านเศรษฐกิจและยืนหยัดต่อมาได้ในที่สุด




โครงการอุตสาหกรรมปิโตรเคมีระยะที่ 2 (NPC II)

• ระยะที่ 3 พ.ศ. 2547-ปัจจุบัน (ค.ศ. 2004-ปัจจุบัน) เป็นการปรับตัวเพื่อรองรับการแข่งขันอย่างรุนแรง โดยเชื่อมโยงสายการผลิตตั้งแต่วัตถุดิบ ปิโตรเคมีขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลายอย่างครบวงจร มีการพัฒนาเป็นกลุ่ม เกิดความร่วมมือทางธุรกิจทั้งระหว่างบริษัทในประเทศและต่างประเทศมากขึ้น จนเหลือเพียงกลุ่มบริษัทใหญ่ในอุตสาหกรรมนี้เพียงไม่กี่กลุ่ม ในช่วงนี้เกิดการขยายตัวระลอกใหญ่ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทยขึ้นอีกครั้ง ทั้งชนิดผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย จากปิโตรเคมีเกรดธรรมดาไปสู่ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีเกรดพิเศษ หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ มากขึ้น การใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและกำลังการผลิตที่มีขนาดเทียบเคียงกำลังการผลิตขนาดใหญ่ในโลก (world scale) เพื่อรองรับทั้งตลาดในประเทศและตลาดส่งออก รวมทั้งมีการขยายการลงทุนไปในต่างประเทศ เช่น เวียดนาม และอิหร่าน เป็นต้น เป็นสิ่งพิสูจน์ถึงขีดความสามารถในการแข่งขันในระดับสากลของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย ขณะเดียวกันก็ต้องเผชิญกับกลุ่มผู้ผลิตที่มีความได้เปรียบในการแข่งขันทางวัตถุดิบอย่างตะวันออกกลาง หรือจากการที่ตลาดขนาดใหญ่อย่างสาธารณรัฐประชาชนจีนก็พึ่งพาตัวเองได้มากขึ้นตามลำดับ รวมไปถึงความท้าทายจากปัจจัยอื่นๆ เช่น สิ่งแวดล้อม และมาตรการกีดกันการค้าต่างๆ ด้วย จึงเป็นช่วงเวลาที่ท้าทายอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทยอย่างมาก

Capacity unit: '000 tons/year




## Other Chemicals

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a (from EO) | Ethanolamine 50 | Thai Ethanolamine 50 (2011) | | f (from MMA) | BMA 13 | Thai MMA 13 | |
| b (from EO) | Ethoxylate 50 | Thai Ethoxylate 50 | | g (from Phenol) | Phenolic Resin 3 | Siam Chemical 3 | |
| c (from PO) | Polyol 61 | Dow Chemical/ IRPC Polyol/ Siam Chemical/ Thai Urethane | | Folmaldehyde | Urea Formaldehyde Resin | TOA Dove Chem/Ethernal Resin/Vanachai/Star Plus/ Thai Chemical/Dynia | |
| d (from PO) | PG | Dow Chemical 150 (2012) | | Cyclohexanone | 1,6 Hexanediol | Ube Chemical 8 (2011) | |
| e (from isobutylene) | MTBE 55 | BST 55 | | Cyclohexanone | 1,5 Pentanediol | Ube Chemicals 1 (2011) | |

Source: Petroleum Institute of Thailand (PTIT)'s Industry Survey
Version 1/2010 as of February 2011

Copyright © PTIT 2010

คอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีในประเทศไทยใน พ.ศ. 2553

## รายชื่อบริษัทในรูปคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีในประเทศไทยใน พ.ศ. 2553

| ชื่อภาษาอังกฤษ | ชื่อภาษาไทย |
|---|---|
| | |
| Aditya Birla Chemicals (Thailand) Ltd. | บริษัท อดิตยา เบอร์ล่า เคมีคัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด |
| AO Chemical | บริษัท เอโอ เคมิคอลส์ จำกัด |
| Apex Petrochemical Co., Ltd. (Apex) | บริษัท เอเพ็ค ปิโตรเคมิคอล จำกัด |
| Asia Fibre Co., Ltd. | บริษัท เอเชียไฟเบอร์ จำกัด มหาชน |
| Bangkok Polyester Plc. | บริษัท บางกอกโพลีเอสเตอร์ จำกัด (มหาชน) |
| Bangkok Polyethylene Plc. (BPE) | บริษัท บางกอกโพลีเอททิลีน จำกัด (มหาชน) |
| Bangkok Synthetics Co., Ltd. (BST) | บริษัท กรุงเทพ ซินธิติกส์ จำกัด |
| Bayer Thai | บริษัท ไบเออร์ไทย จำกัด |
| BST Elastomer Co., Ltd. | บริษัท บีเอสที อิลาสโตเมอร์ จำกัด |
| Chiem Patana Synthetic Fibers Co., Ltd. | บริษัท เจียมพัฒนาซินเธทิค ไฟเบอร์ จำกัด |
| Chiem Patana Textiles Co., Ltd. | บริษัท เจียมพัฒนาเท็กซ์ไทล์ส จำกัด |
| Continental Petrochemicals (Thailand) Co., Ltd. | บริษัท คอนทิเนนทอล ปิโตรเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด |
| Cytec Industries (Thailand) Co., Ltd. | บริษัท ไซเทค อินดัสตรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด |
| Dia Polyacrylate Co., Ltd | บริษัท ไดอะโพลีอะคริเลต จำกัด |
| Diforce Chemie Co., Ltd. | บริษัท ไดฟอร์ซเคมี จำกัด |
| Dow Chemical Thailand Co., Ltd. | บริษัท ดาวเคมิคอล ประเทศไทย จำกัด |
| Eternal Resin Co., Ltd. | บริษัท อีเทอนัล เรซิ่น จำกัด |
| ExxonMobil Chemical (Thailand) Limited | บริษัท เอ็กซอนโมบิลเคมี (ประเทศไทย) จำกัด |
| HMC Polymers Co., Ltd. (HMC) | บริษัท เอ็ชเอ็มซี โปลีเมอส์ จำกัด |
| Indorama Polyester Industries Plc. | บริษัท อินโดรามา โพลีเอสเตอร์ อินดัสตรี้ส์ จำกัด (มหาชน) |
| Indorama Polymers Plc. | บริษัท อินโดรามา โพลีเมอร์ส จำกัด (มหาชน) |
| INEOS ABS (Thailand) Co., Ltd. | บริษัท อินนิออส เอบีเอส (ประเทศไทย) จำกัด |
| IRPC Plc. (IRPC) | บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) |
| IRPC Polyol Co., Ltd. | บริษัท ไออาร์พีซี โพลีออล จำกัด |
| Kangwal Polyester Co., Ltd. | บริษัท กังวาลโพลีเอสเตอร์ จำกัด |
| Map Ta Phut Olefins Co., Ltd. (MOC) | บริษัท มาบตาพุดโอเลฟินส์ จำกัด |
| Ming Dih Chemical Co., Ltd. | บริษัท หมิงตี้เคมีคอล จำกัด |
| Pacific Plastic (Thailand) Co., Ltd. | บริษัท แปซิฟิค พลาสติคส์ (ประเทศไทย) จำกัด |
| Polyplex (Thailand) Plc. | บริษัท โพลีเพล็กซ์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) |
| PTT Aromatics and Refining Plc. (PTTAR) | บริษัท ปตท. อะโรเมติกส์และการกลั่น จำกัด (มหาชน) |
| PTT Asahi Chemical Co., Ltd. | บริษัท พีทีที อาซาฮี เคมีคอล จำกัด |
| PTT Chemical Plc. (PTTCH) | บริษัท ปตท. เคมิคอล จำกัด (มหาชน) |
| PTT Phenol Co., Ltd. | บริษัท พีทีที ฟีนอล จำกัด |
| PTT Polyethylene Co., Ltd. (PTTPE) | บริษัท พีทีที โพลีเอทิลีน จำกัด |
| Rayong Olefins Co., Ltd. (ROC) | บริษัท ระยองโอเลฟินส์ จำกัด |
| Sand and Soil Industry Co., Ltd. | บริษัท แซนด์แอนด์ซอยล์ อุตสาหกรรม จำกัด |
| Siam Chemical Industry Co., Ltd. | บริษัท สยามเคมีคอลอินดัสตรี้ จำกัด |
| Siam Mitsui PTA Co., Ltd. | บริษัท สยาม มิตซุย พีทีเอ จำกัด |
| Siam Polyethylene Co., Ltd. (SPE) | บริษัท สยามโพลีเอททีลีน จำกัด |
| Siam Polystyrene Co., Ltd. | บริษัท สยามโพลีสไตรีน จำกัด |
| Siam Styrene Monomer Co., Ltd. (SSMC) | บริษัท สยามสไตรีนโมโนเมอร์ จำกัด |
| Siam Synthetic Latex Co., Ltd. (SSLC) | บริษัท สยามเลเทกซ์สังเคราะห์ จำกัด |
| Siam Tire Cord Co., Ltd. | บริษัท สยามไทร์คอร์ด จำกัด |
| South City Petrochem Co., Ltd. | บริษัท เซ้าท์ ซิตี้ ปิโตรเคม จำกัด |

| ชื่อภาษาอังกฤษ | ชื่อภาษาไทย |
|---|---|
| Sunflag (Thailand) Co., Ltd. | บริษัท ซันแฟลค (ประเทศไทย) จำกัด |
| Teijin Polyester (Thailand) Co., Ltd. | บริษัท เทยิน โพลีเอสเตอร์ จำกัด |
| Thai ABS Co., Ltd. | บริษัท ไทย เอบีเอส จำกัด |
| Thai Acrylic Fibre Co., Ltd. | บริษัท ไทย อคริลิค ไฟเบอร์ จำกัด |
| Thai Baroda Industries Co., Ltd. | บริษัท ไทย บาโรด้า อินดัสตรี้ส์ จำกัด |
| Thai Chemical Co., Ltd. | บริษัท ไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด |
| Thai Ethanolamine Co., Ltd. | บริษัท ไทยเอทานอลเอมีน จำกัด |
| Thai Etoxylate Co., Ltd. | บริษัท ไทย อีทอกซีเลท จำกัด |
| Thai Indo Kordsa Co., Ltd. | บริษัท ไทย อินโด คอร์ดซ่า จำกัด |
| Thai Mitsui Specialty Chemical Co., Ltd. | บริษัท ไทยมิตซุยสเปเชียลตี้เคมีคอล จำกัด |
| Thai MMA Co., Ltd. | บริษัท ไทย เอ็มเอ็มเอ จำกัด |
| Thai Paraxylene Co., Ltd. (TPX) | บริษัท ไทยพาราไซลีน จำกัด |
| Thai Pet Resin Co., Ltd. | บริษัท ไทย เพ็ท เรซิน จำกัด |
| Thai Plastic and Chemicals Plc. (TPC) | บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) |
| Thai Polyacetal Co., Ltd. (TPAC) | บริษัท ไทยโพลีอะซีทัล จำกัด |
| Thai Polycarbonate Co., Ltd. (TPCC) | บริษัท ไทยโพลีคาร์บอเนต จำกัด |
| Thai Polyester Co., Ltd. | บริษัท ไทยโพลีเอสเตอร์ จำกัด |
| Thai Polyethylene Co., Ltd. (TPE) | บริษัท ไทยโพลิเอททีลีน จำกัด |
| Thai Polymer Textile Co., Ltd. | บริษัท ไทยโพลิเมอร์เท็กซ์ไทล์ จำกัด |
| Thai Polypropylene Co., Ltd. (TPP) | บริษัท ไทยโพลิโพรไพลีน จำกัด |
| Thai Polyset Co., Ltd. | บริษัท ไทยโพลีเซ็ท จำกัด |
| Thai Shinkong Corp., Ltd. | บริษัท ไทยชินกงอินดัสตรี คอร์ปอเรชั่น จำกัด |
| Thai Styrenics Co., Ltd. | บริษัท ไทยสไตรีนิคส์ จำกัด |
| Thai Synthetic Rubbers Co., Ltd. | บริษัท ยางสังเคราะห์ไทย จำกัด |
| Thai Taffeta Co., Ltd. | บริษัท ไทยแทฟฟิต้า จำกัด |
| Thai Toray Synthetics Co., Ltd. (TORAY) | บริษัท ไทย โทเรย์ ซินธิติกส์ จำกัด |
| Thai Urethane Co., Ltd. | บริษัท ไทยยูรีเทนพลาสติก จำกัด |
| TOA Chemical Industry Co., Ltd. | บริษัท ทีโอเอ เคมิคอล อินดัสตรีส์ จำกัด |
| TOC Glycol Co., Ltd. (TOCGC) | บริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด |
| Toray Nylon Thai Co., Ltd. | บริษัท โทเร ไนล่อน ไทย จำกัด |
| TPC Paste Resin Co., Ltd. | บริษัท ทีพีซี เพสต์ เรซิน จำกัด |
| TPI Polene Plc. | บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน) |
| TPT Petrochemicals Plc. (TPT) | บริษัท ทีพีที ปิโตรเคมิคอลส์ จำกัด (มหาชน) |
| Ube Chemicals (Asia) Plc. (UBE) | บริษัท อูเบะ เคมิคอลส์ (เอเชีย) จำกัด (มหาชน) |
| UR Chemical Co., Ltd. | บริษัท ยูอาร์ เคมีคอล จำกัด |
| Vinylthai Plc. (VNT) | บริษัท วีนิไทย จำกัด (มหาชน) |

**โรงกลั่นและโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ส่งวัตถุดิบให้โรงงานปิโตรเคมี**

| | |
|---|---|
| Bangchak Petroleum Plc. (BCP) | บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) |
| ExxonMobil Co., Ltd (ExxonMobil) | บริษัท เอ็กซอนโมบิล จำกัด |
| PTT Gas Separation Plant (PTT GSP) | โรงแยกก๊าซธรรมชาติ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) |
| Rayong Purifier Plc. (RRC) | บริษัท ระยองเพียวริฟายเออร์ จำกัด (มหาชน) |
| Star Petroleum Refining (SPRC) | บริษัท สตาร์ ปิโตรเลียม รีไฟน์นิ่ง จำกัด |
| Thai Oil Plc. (TOP) | บริษัท ไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) |

# ลำดับเหตุการณ์สำคัญ : การพัฒนาปิโตรเคมีของประเทศไทย

## พ.ศ. 2509

ก่อตั้งบริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทปิโตรเคมีของคนไทยบริษัทแรก

## พ.ศ. 2511

โรงงานพอลิไวนิลอะซิเตทและโรงงานพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวของบริษัท Hoechst Chemical Industries เริ่มการผลิต

## พ.ศ. 2514

โรงงานผลิตเม็ดพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ของบริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานปิโตรเคมีโรงแรกของคนไทยเริ่มดำเนินการผลิต

## พ.ศ. 2516

บริษัท ยูเนียนออยล์ออฟไทยแลนด์ จำกัด เจาะพบแหล่งก๊าซธรรมชาติและคอนเดนเสทเป็นครั้งแรกที่แหล่งเอราวัณ ในอ่าวไทย เป็นจุดเริ่มต้นการนำทรัพยากรในอ่าวไทยมาใช้พัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และได้ต่อยอดมาใช้เป็นวัตถุดิบแก่ปิโตรเคมีในเวลาต่อมา

## พ.ศ. 2521

จัดตั้งการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย โดยรวมองค์การเชื้อเพลิงและองค์การก๊าซธรรมชาติแห่งประเทศไทยไว้ด้วยกัน

ก่อตั้งบริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด หรือ TPI

## พ.ศ. 2540

เกิดวิกฤตทางการเงิน (Tom Yum Kung Crisis) เศรษฐกิจถดถอย อุปสงค์ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีปรับลดลงทั่วโลก

ประเทศไทยเปลี่ยนสถานภาพจากประเทศผู้นำเข้าผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีสุทธิเป็นประเทศผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีสุทธิ

บริษัท ไทยโพลีอะซีทัล จำกัด เปิดโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกพอลิออกซีเมทิลีน ถือเป็นโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกวิศวกรรมโรงแรก

บริษัท ไทยอะโรเมติกส์ จำกัด (TAC) ซึ่งต่อมาได้เปลี่ยนชื่อเป็นบริษัท อะโรเมติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) หรือ ATC เปิดดำเนินการโรงงานผลิตแอโรแมติกส์ขั้นต้น (BTX)

คอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีของบริษัท ปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด (มหาชน) หรือ TPI เริ่มดำเนินกิจการโรงงานแนฟทาแครกเกอร์

โรงงานแอโรแมติกส์ขั้นต้นที่เชื่อมโยงกับโรงกลั่นของบริษัท ไทยพาราไซลีน จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทลูกของบริษัท ไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) เริ่มดำเนินการผลิต



## พ.ศ. 2542

คอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีของบริษัท ระยองโอเลฟินส์ จำกัด หรือ ROC ในเครือปูนซิเมนต์ไทยเริ่มดำเนินกิจการโรงงานแนฟทาแครกเกอร์

โรงงานแอโรแมติกส์ที่เชื่อมโยงกับโรงกลั่นของบริษัท เอสโซ่ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) เริ่มดำเนินการผลิต

## พ.ศ. 2547

ก้าวเข้าสู่ช่วงของการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีระยะที่ 3 พ.ศ. 2547-ปัจจุบัน

## พ.ศ. 2548

บริษัท ไทยโอเลฟินส์ จำกัด (มหาชน) หรือ TOC ควบรวมกิจการกับบริษัท ปิโตรเคมีแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) หรือ NPC และเปลี่ยนชื่อเป็นบริษัท ปตท. เคมิคัล จำกัด (มหาชน) หรือ PTTChem

วิกฤตการณ์ขาดน้ำกระทบกระเทือนการผลิตของบริษัทปิโตรเคมีต่างๆ ในมาบตาพุด

## พ.ศ. 2525

การเริ่มต้นแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 5 ซึ่งมีแผนพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเป็นส่วนสำคัญภายใต้แผนนี้ด้วย

โรงแยกก๊าซ โรงที่ 1 ของ ปตท. ที่ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมือง จ. ระยอง เริ่มดำเนินการผลิต

บริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด เปิดดำเนินการโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) แห่งแรกของประเทศ



## พ.ศ. 2527

ปตท.เป็นแกนนำจัดตั้งบริษัท ปิโตรเคมีแห่งชาติ เป็นจุดเริ่มต้นการพัฒนาโครงการอุตสาหกรรมปิโตรเคมีระยะที่ 1 (NPC I) ที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

## พ.ศ. 2532

เริ่มต้นการพัฒนาโครงการอุตสาหกรรมปิโตรเคมีระยะที่ 2 (NPC II)

บริษัท ไทยโพลิเอททีลีน จำกัด หรือ TPE ในเครือปูนซิเมนต์ไทย เปิดดำเนินการโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)

## พ.ศ. 2533

คอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีของบริษัท ปิโตรเคมีแห่งชาติ จำกัด เริ่มดำเนินการผลิต โรงงานอีเทนแครกเกอร์ และโรงงานโพรเพนดีไฮโดรจีเนชัน



## พ.ศ. 2538

เริ่มเปิดเสรีการผลิตปิโตรเคมี

โรงงานแนฟทาแครกเกอร์ของบริษัท ไทยโอเลฟินส์ จำกัด เริ่มดำเนินการผลิต

## พ.ศ. 2549

บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) เข้าซื้อกิจการของบริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด (มหาชน) หรือ TPI และเปลี่ยนชื่อเป็น บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) หรือ IRPC

## พ.ศ. 2550

บริษัท อะโรเมติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) หรือ ATC รวมกิจการกับบริษัท โรงกลั่นน้ำมันระยอง จำกัด (มหาชน) หรือ RRC แล้วเปลี่ยนชื่อเป็น บริษัท ปตท. อะโรเมติกส์ และการกลั่น จำกัด (มหาชน) หรือ PTTAR

## พ.ศ. 2551

เกิดวิกฤตเศรษฐกิจ (Hamburger Crisis) ส่งผลกระทบต่อทั้งภาคธุรกิจโดยรวมและอุตสาหกรรมปิโตรเคมีทั่วโลก

## พ.ศ. 2552

ศาลปกครองกลางมีคำสั่งระงับโครงการลงทุนในมาบตาพุดและพื้นที่ใกล้เคียง 76 โครงการ ส่งผลกระทบให้การขยายตัวโรงงานปิโตรเคมีในมาบตาพุดระลอกใหม่ล่าช้าออกไป

## พ.ศ. 2553

ไทยเปิดเสรีการค้าผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีตามกรอบความตกลงเขตการค้าเสรีอาเซียน (AFTA) อย่างเต็มรูปแบบ

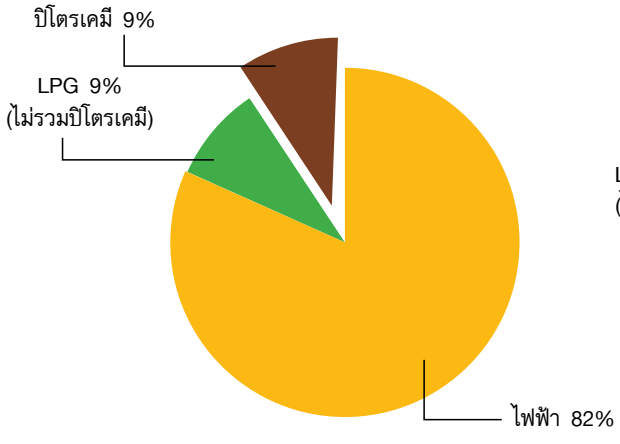
ทุกภาคส่วนร่วมมือกันแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม ทำให้โรงงานปิโตรเคมีในมาบตาพุดเริ่มทยอยดำเนินการตามโครงการขยายการผลิต ทำให้การผลิตปิโตรเคมีของทั้งประเทศรวมเป็นประมาณ 29 ล้านตัน

## อุตสาหกรรมปิโตรเคมีของไทยในวันนี้

**อุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานหนึ่งของประเทศ**

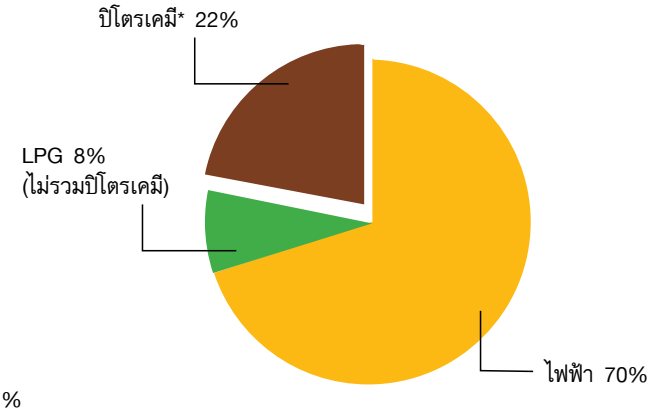
อุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอย่างมากต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย จนถึงปัจจุบัน มีการลงทุนพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ในภาคตะวันออกแล้วไม่ต่ำกว่า 1 ล้านล้านบาท และสามารถสร้างรายได้ให้ประเทศตั้งแต่ พ.ศ. 2547 เป็นต้นมาปีละไม่ต่ำกว่า 4 แสนล้านบาท เฉพาะใน พ.ศ. 2552 สามารถสร้างรายได้ถึง 4.6 แสนล้านบาท หรือคิดเทียบเป็นร้อยละ 5.1 ของผลิตภัณฑ์มวลรวม เป็นการสร้างความมั่นคงให้กับระบบเศรษฐกิจของประเทศซึ่งกระจายไปสู่ส่วนต่างๆ ตั้งแต่ผู้ประกอบการ ผู้ซื้อ ไปจนถึงผู้บริโภค ระบบการเงินการธนาคาร ธุรกิจบริการต่างๆ เกิดการจ้างงาน และที่สำคัญกลับมาเป็นภาษีจำนวนไม่น้อยที่สามารถนำไปพัฒนาประเทศต่อไปได้ ในแง่ของการเพิ่มคุณค่าแก่ทรัพยากรของประเทศเมื่อพิจารณาเฉพาะก๊าซธรรมชาติและคอนเดนเสทที่ใช้เป็นวัตถุดิบปิโตรเคมีใน พ.ศ. 2552 จากปริมาณก๊าซธรรมชาติเพียงร้อยละ 9 ที่ผลิตได้ แต่สามารถสร้างมูลค่าได้ถึงร้อยละ 22 หรือกว่า 7 หมื่นล้านบาทและมูลค่าปิโตรเคมีจากคอนเดนเสทที่แยกจากก๊าซธรรมชาติอีกประมาณ 8 หมื่นล้านบาท

ปริมาณก๊าซธรรมชาติที่ใช้




861,876 ล้านลูกบาศก์ฟุต

การสร้างมูลค่าจากก๊าซธรรมชาติ

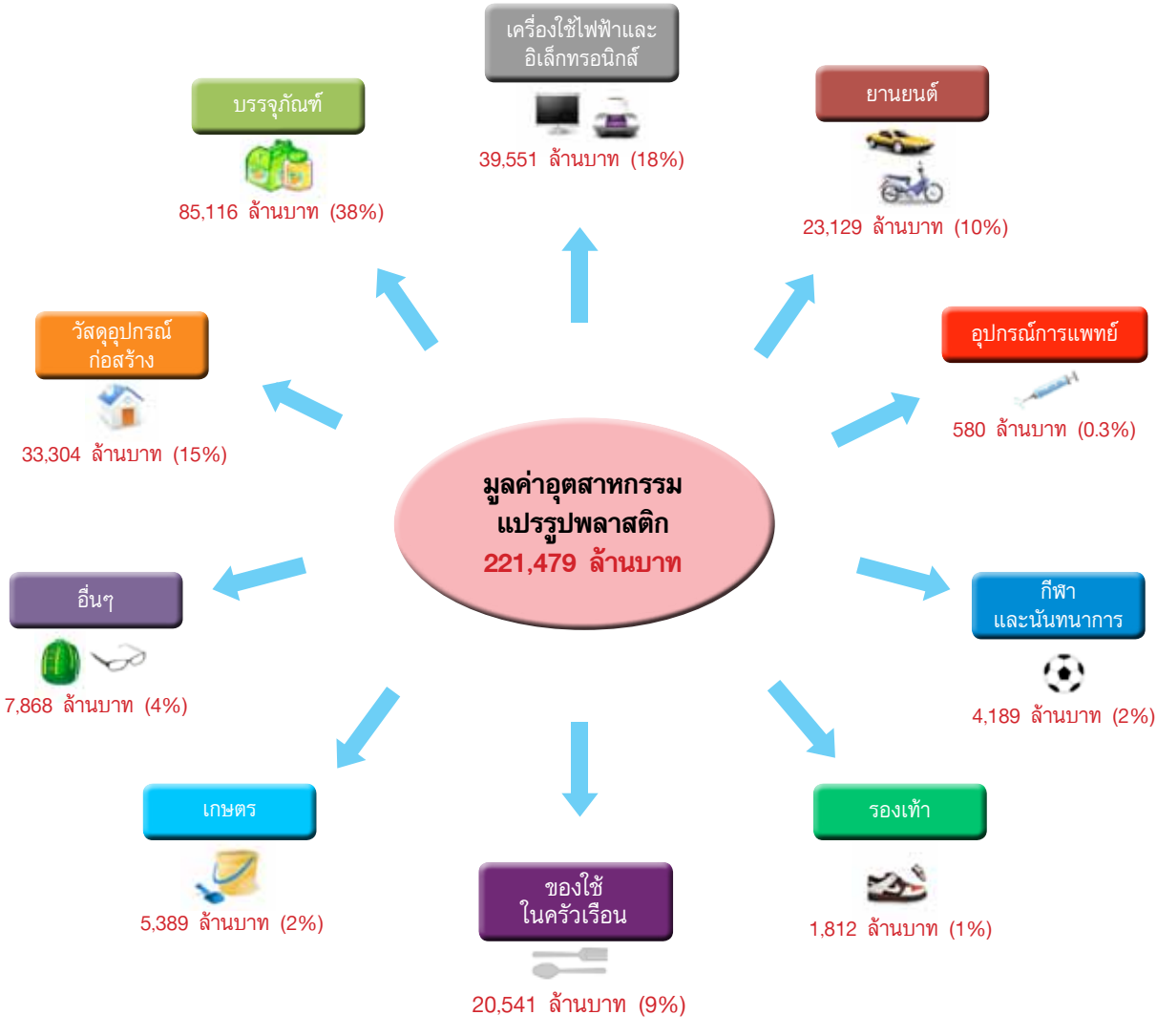



326,000 ล้านบาท

* ยังไม่รวมมูลค่าของปิโตรเคมีจากคอนเดนเสท ที่ออกมาจากหลุมก๊าซธรรมชาติอีกประมาณ 80,000 ล้านบาท

การสร้างมูลค่าจากการใช้ทรัพยากรก๊าซธรรมชาติของไทย พ.ศ. 2552

อุตสาหกรรมปิโตรเคมียังเป็นอุตสาหกรรมสนับสนุนสำคัญที่ทำหน้าที่ผลิตวัตถุดิบตั้งต้น ซึ่งเป็นวัสดุพื้นฐาน เช่น ผลิตเม็ดพลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ สารเคลือบผิว และกาวต่างๆ เพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ อาทิ อุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารและสินค้าต่างๆ และวัสดุก่อสร้าง ทำให้สามารถส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมต่อเนื่องของประเทศได้หลากหลายประเภท ในแต่ละปี ประเทศไทยมีการใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับสินค้าดังกล่าว ประมาณ 4 ล้านตัน ทั้งนี้อุปสงค์ของเม็ดพลาสติกมีปริมาณสูงที่สุดใน พ.ศ. 2552 การต่อยอดของอุตสาหกรรมแปรรูปพลาสติกคือ นำเม็ดพลาสติกไปขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนพลาสติกต่างๆ มีมูลค่าสูงถึง 2.2 แสนล้านบาท และภาคอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลาสติกมากที่สุดและมูลค่ารวมมากที่สุดคือ บรรจุภัณฑ์ รองลงมาคือ เครื่องใช้ไฟฟ้าและวัสดุก่อสร้าง



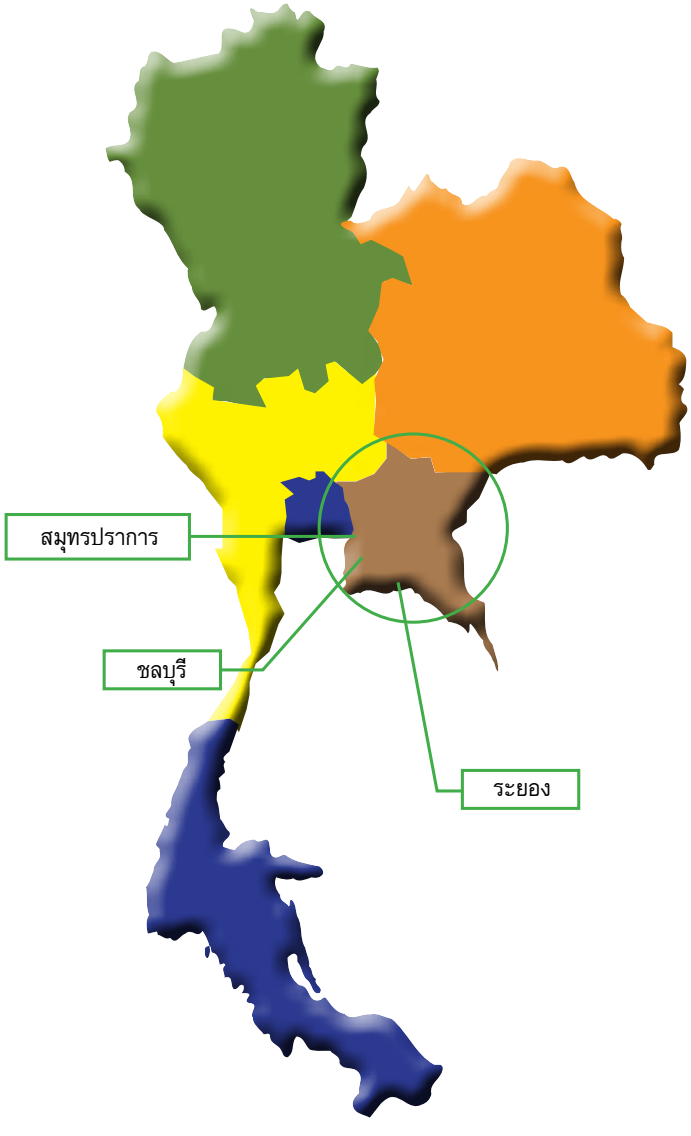

มูลค่าอุตสาหกรรมแปรรูปพลาสติกไทย พ.ศ. 2552

นอกจากนี้ อุตสาหกรรมปิโตรเคมียังก่อให้เกิดการสร้างงานสร้างรายได้ให้แก่คนในชาติ ไม่เฉพาะปิโตรเคมีเท่านั้น แต่ยังต่อเนื่องไปอุตสาหกรรมอื่นๆ ด้วย เช่น การจ้างงานในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีประมาณ 10,000 คน แต่การจ้างงานในอุตสาหกรรมแปรรูปพลาสติกสูงถึงประมาณ 360,000 คน และยังมีการสร้างงานในอุตสาหกรรมอื่นๆ ต่อเนื่องไปอีกหลายทอด เป็นต้น

พัฒนาการอีกด้านหนึ่งที่สำคัญเป็นอย่างมากคือ การวิจัยพัฒนา การถ่ายโอนความรู้ทางเทคโนโลยีและการสร้างบุคลากรด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์และวิศกรรมเคมี เนื่องจากเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับปิโตรเคมีทั้งโดยตรงและเชื่อมโยงมีหลายด้าน ถึงแม้เทคโนโลยีต่างๆ จะมีความซับซ้อนแต่ก็มีความเป็นพลวัตสูง (dynamic) ซึ่งหมายถึงสามารถปรับเปลี่ยนได้รวดเร็วตลอดเวลา ทั้งที่เป็นการปรับปรุงจากความรู้เดิมและการสร้างเทคโนโลยีใหม่ที่ตอบสนองกับอุตสาหกรรมต่อเนื่อง แรงผลักดันของผู้บริโภค หรือแม้แต่แรงผลักดันด้านการแข่งขันในตลาดโลก เพื่อสร้างความแตกต่างและเพิ่มคุณค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ รวมถึงการผลิตผลิตภัณฑ์พิเศษเฉพาะที่มีมูลค่าสูง แรงจูงใจที่สำคัญคือ ความสามารถในการพึ่งตนเองทางเทคโนโลยีได้และมูลค่าที่จะได้หากประสบความสำเร็จจากงานวิจัยพัฒนาในสาขาปิโตรเคมี ส่งผลให้ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาผู้ประกอบการปิโตรเคมีไทย หน่วยงานนโยบายภาครัฐ รวมถึงภาคการศึกษาวิจัยต่างให้ความสำคัญเร่งการพัฒนาวิจัยในสาขานี้ ตลอดจนการสร้างบุคลากรและการจัดการศึกษาตามหลักสูตรที่ตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากจากบทบาทและการมีส่วนร่วมอย่างสำคัญของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ จัดเป็นหนึ่งในกลไกเพื่อการบุกเบิกการพัฒนาประเทศ ที่ไม่เฉพาะประเทศไทยเท่านั้นที่ให้ความสำคัญ ประเทศอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นประเทศที่มีทรัพยากรปิโตรเลียมในทวีปยุโรป สหรัฐอเมริกา หรือประเทศที่ไม่มีทรัพยากรปิโตรเลียมในประเทศ เช่นประเทศญี่ปุ่น ไต้หวัน เกาหลีใต้ รวมทั้งสิงคโปร์ ก็ให้ความสำคัญเช่นกัน โดยปัจจุบันยังคงขยายอุตสาหกรรมปิโตรเคมีอยู่ต่อเนื่อง ถึงแม้บางประเทศจะต้องถมทะเลเพื่อเพิ่มพื้นที่ก็ตาม รวมไปถึงกลุ่มประเทศที่กำลังเจริญเติบโตอย่างสาธารณรัฐประชาชนจีน อินเดีย หรือกลุ่มประเทศตะวันออกกลางด้วย

ประเทศไทยได้ใช้กลไกดังกล่าวในการพัฒนาประเทศเริ่มตั้งแต่การจัดทำแผนแม่บทปิโตรเคมีระยะที่ 1 (พ.ศ. 2523-2532) จนถึงแผนแม่บทปิโตรเคมีระยะที่ 3 (พ.ศ. 2547-ปัจจุบัน) เป็นระยะเวลาที่ยาวนานกว่า 30 ปีที่ประเทศไทยประสบความสำเร็จอย่างดี ด้วยเหตุผลเบื้องต้นประการแรกที่สำคัญคือ การมีทรัพยากรปิโตรเลียมเป็นสินทรัพย์ธรรมชาติที่ได้รับการค้นพบในเบื้องต้นและยังคงสำรวจพบเพิ่มเติมอยู่จนถึงปัจจุบัน เป็นต้นทุนที่มีคุณค่ามหาศาลของประเทศที่น้อยคนนักที่จะคาดคิด และยังไม่มีผู้ใดสามารถทำนายได้ว่ามีปริมาณและมูลค่าเพียงใด เหตุผลเบื้องต้นอีกประการที่สำคัญคือวิสัยทัศน์ของผู้บริหารประเทศในช่วงเริ่มต้นที่ผลักดันการนำก๊าซธรรมชาติขึ้นมาผลิต (พลเอกเกรียงศักดิ์ ชมะนันทน์ นายกรัฐมนตรี ผู้จัดตั้ง ปตท.) และการตัดสินใจเดินหน้าโครงการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเป็นโครงการขนาดใหญ่ที่สุดของประเทศ โดยกำหนดเป็นนโยบายสำคัญที่มีทั้งภาครัฐและเอกชนดำเนินการร่วมกัน ตั้งแต่เริ่มต้นกำหนดแผนพัฒนาจนถึงการร่วมทุนและดำเนินการก่อสร้างโรงงาน (พลเอกเปรม ติณสูลานนท์ นายกรัฐมนตรี ผู้จัดตั้งบริษัทปิโตรเคมีแห่งชาติ) จุดเริ่มต้นการพัฒนาโครงการอุตสาหกรรมปิโตรเคมีระยะที่ 1 (NPC I) ที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

การพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่ดำเนินการตามแผนงานอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ประเทศไทยจัดเป็นประเทศชั้นนำในอุตสาหกรรมนี้ของอาเซียน และอยู่ในลำดับต้นๆ ของโลก ขณะเดียวกันประเทศไทยก็ได้เรียนรู้การจัดการกับปัญหาที่เกิดในช่วงเวลาการพัฒนาในหลายๆ ด้าน เช่น ช่วงที่ประเทศไทยประสบปัญหาจากการลดค่าเงินบาท ช่วงที่โลกเกิดวิกฤตเศรษฐกิจ หรือปัญหาการจัดการมลพิษที่เกิดขึ้นในมาบตาพุด การพัฒนาที่ยังไม่สมดุลระหว่างภาคเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม อุปสรรคที่เกิดขึ้นกำลังได้รับการแก้ไขด้วยการบริหารจัดการและความเข้าใจทั้งในระดับนโยบายจนถึงระดับปฏิบัติจากหน่วยงานและผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่าย ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลา การลงทุนทั้งเงินและกำลังคนสูง มีทั้งภาครัฐและเอกชนดำเนินการร่วมกัน




ที่ตั้งโรงงานปิโตรเคมีในประเทศไทย

ศูนย์กลางการพัฒนาปิโตรเคมีตั้งอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมทางภาคตะวันออกของประเทศ ในเขตจังหวัดระยองและชลบุรีเป็นหลัก โดยมีศูนย์กลางอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและพื้นที่โดยรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ในจังหวัดระยอง

**จ.ระยอง** เป็นฐานการผลิตปิโตรเคมีที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทย ศูนย์กลางอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและพื้นที่ใกล้เคียงใน อ. เมืองระยอง ครอบคลุมพื้นที่ ต.มาบตาพุด ต.ห้วยโป่ง ต.เนินพระ และ ต.บ้านฉาง ประกอบด้วย 5 นิคมอุตสาหกรรม ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด นิคมอุตสาหกรรมตะวันออก นิคมอุตสาหกรรมผาแดง นิคมอุตสาหกรรมเอเชีย และนิคมอุตสาหกรรม RIL มีทั้งโรงงานปิโตรเคมีขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย เนื่องจากในบริเวณนี้มีทั้งโรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันจึงสามารถนำเอาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติ เช่น อีเทน และโพรเพน และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโรงกลั่นน้ำมันและโรงกลั่นแยกคอนเดนเสท (condensate splitter) เช่น แนฟทา มาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น (feedstock) โดยนำเข้าแนฟทามาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นบ้างบางส่วน การบูรณาการ (integration) ดังกล่าวทำให้มาบตาพุดได้รับการจัดเป็นคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีชั้นนำแห่งหนึ่งของภูมิภาคเอเชีย

นิคมอุตสาหกรรม IRPC (TPI เดิม) ตั้งอยู่ที่ ต.เชิงเนิน อ.เมืองระยอง เป็นอีกหนึ่งคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีที่สมบูรณ์แห่งหนึ่งของเอเชีย มีการบูรณาการโรงกลั่นน้ำมัน โรงกลั่นแยกคอนเดนเสท โรงงานปิโตรเคมีขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย ในบริเวณเดียวกัน

**จ.ชลบุรี** เป็นที่ตั้งของโรงงานปิโตรเคมีขั้นต้นในสายแอโรแมติกส์ที่บูรณาการกับโรงกลั่น ได้แก่ หน่วยผลิตแอโรแมติกส์ของบริษัท ไทยพาราไซลีนที่เชื่อมโยงกับโรงกลั่นไทยออยล์ และหน่วยการผลิตแอโรแมติกส์ที่เชื่อมโยงกับโรงกลั่นเอสโซ่ ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณ อ.ศรีราชา พื้นที่ดังกล่าวนี้ไม่มีโรงงานปิโตรเคมีขั้นกลางหรือขั้นปลายมารองรับ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นที่ผลิตได้ส่วนหนึ่งจะส่งมายังมาบตาพุด และส่งออกเป็นบางส่วน

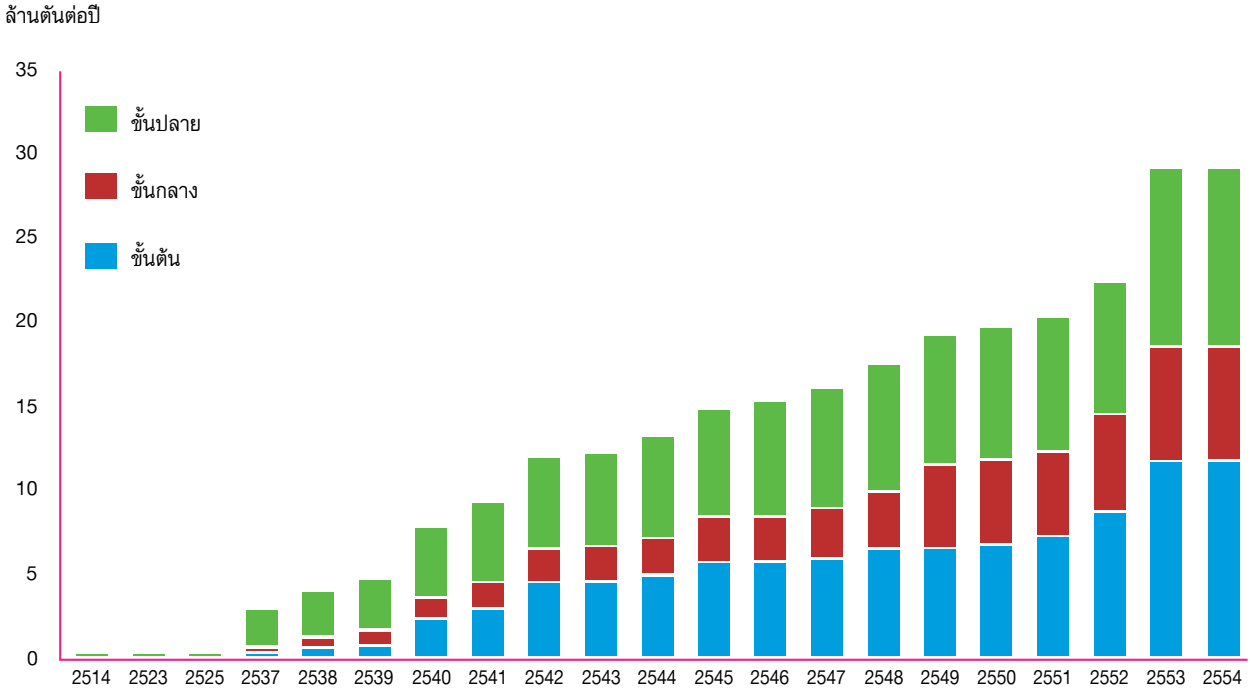
**จ.สมุทรปราการ** ส่วนใหญ่เป็นโรงงานปิโตรเคมีขั้นปลายที่สร้างมานานแล้วมีขนาดไม่ใหญ่ เป็นโรงงานเดี่ยวที่ไม่เชื่อมโยงกับโรงงานปิโตรเคมีอื่น ปัจจุบันโรงงานบางโรงได้ทยอยปิดตัวลงหรือย้ายฐานการผลิตไปที่อื่น

แผนที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและพื้นที่ใกล้เคียง



• **กำลังการผลิตของอุตสาหกรรม (industrial capacity)**

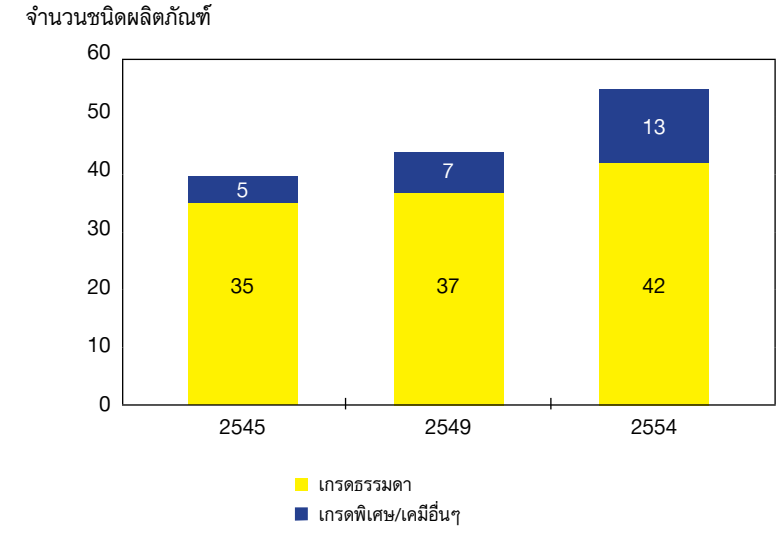
อุตสาหกรรมปิโตรเคมีของไทยมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง จากจุดเริ่มต้นของการพัฒนาใน พ.ศ. 2514 ที่ผลิตเพื่อตอบสนองอุปสงค์ภายในประเทศและทดแทนการนำเข้า ค่อยๆ เติบโตขึ้นจนสามารถผลิตได้เพียงพอต่ออุปสงค์ภายในประเทศและเปลี่ยนสถานะเป็นประเทศผู้ส่งออกเม็ดพลาสติกสุทธิตั้งแต่ใน พ.ศ. 2540 เป็นต้นมา ปัจจุบันประเทศไทยจัดเป็นหนึ่งในประเทศผู้ผลิตปิโตรเคมีชั้นนำของภูมิภาคเอเชีย โดยใน พ.ศ. 2554 จะมีกำลังการผลิตปิโตรเคมีรวมกันประมาณ 29 ล้านตันต่อปี เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นต้นประมาณ 12 ล้านตัน ขั้นกลางประมาณ 7 ล้านตัน และขั้นปลายประมาณ 10 ล้านตัน ครอบคลุมทั้งสายโอเลฟินส์และสายแอโรแมติกส์




กำลังการผลิตปิโตรเคมีไทยตั้งแต่อดีตถึง พ.ศ. 2554

• ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี โรงงานปิโตรเคมีใหม่ๆ ของไทยที่สร้างขึ้นมีขนาดที่ทำให้เกิดการประหยัดจากขนาดการผลิต (economies of scale) ทัดเทียมกับโรงงานในภูมิภาคต่างๆ ของโลก เช่น ช่วงเริ่มต้นของการพัฒนาปิโตรเคมีระยะที่ 1 กำลังการผลิตของโรงงานเอทิลีนแครกเกอร์ (เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นต้นที่สำคัญที่สุดและมักใช้เป็นดรรชนีแทนภาพรวมของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในแง่ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นราคา กำลังการผลิต ฯลฯ) ที่ใหญ่ที่สุดตอนนั้นของไทยประมาณ 3 แสนตันต่อปี ขณะที่ปัจจุบันกำลังการผลิตล่าสุดของโรงงานเอทิลีนแครกเกอร์ในไทยอยู่ที่ระดับ 1 ล้านตันต่อปี

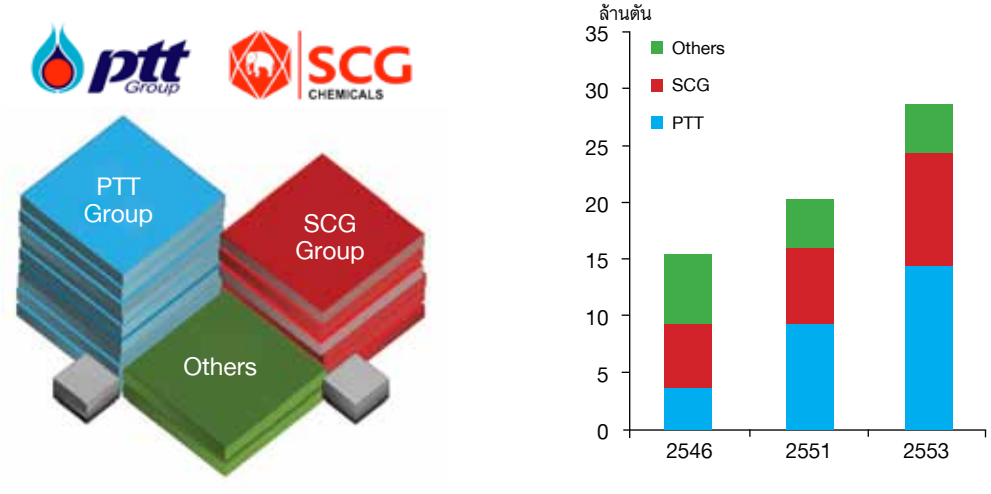
• ความหลากหลายของชนิดผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่ผลิตในประเทศที่เพิ่มขึ้นมากจากวันเริ่มต้นการพัฒนาจนถึงวันนี้ ดูได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลายและเคมีอื่น ที่เพิ่มจาก 40 ชนิดใน พ.ศ. 2545 เป็น 55 ชนิดใน พ.ศ. 2554 แสดงแนวโน้มของการพัฒนาอุตสาหกรรมที่ไปสู่ผลิตภัณฑ์เกรดพิเศษ เกรดเฉพาะมากขึ้น เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มสูงกว่า




ความหลากหลายชนิดผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลายและเคมีอื่นๆ ที่ได้จากปิโตรเคมีที่ผลิตในไทย ณ ช่วงเวลาต่างๆ

## ผู้ประกอบการหลักในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย

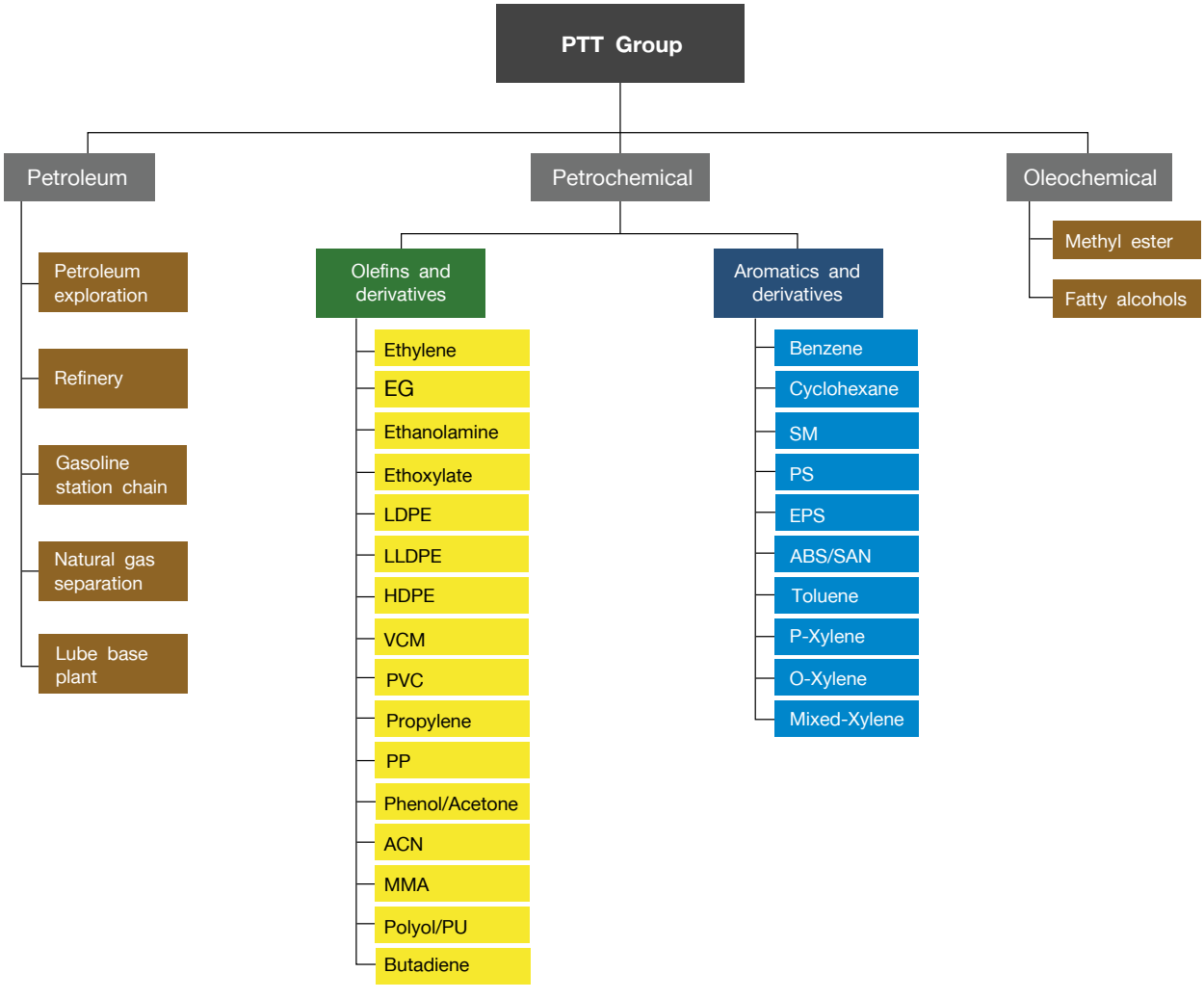
ผู้ผลิตที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทยในปัจจุบัน ประกอบด้วยกลุ่มบริษัทเอกชนรายใหญ่ คือ กลุ่มบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) กลุ่มบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย และกลุ่มอื่นๆ สำหรับกลุ่มปตท. มีกำลังการผลิตรวมมากที่สุด จากเครือบริษัทในกลุ่มปตท. ดั้งเดิม และผลจากการควบรวมกิจการกลุ่ม IRPC (หรือกลุ่ม TPI เดิม) เข้ามาด้วย เห็นได้ว่าใน พ.ศ. 2553 เพียงสองกลุ่มบริษัทคือ ปตท. และปูนซิเมนต์ไทย ก็มีกำลังการผลิตรวมสูงกว่าร้อยละ 80 ของประเทศ




กำลังการผลิตปิโตรเคมีไทยตามกลุ่มธุรกิจผู้ประกอบการ

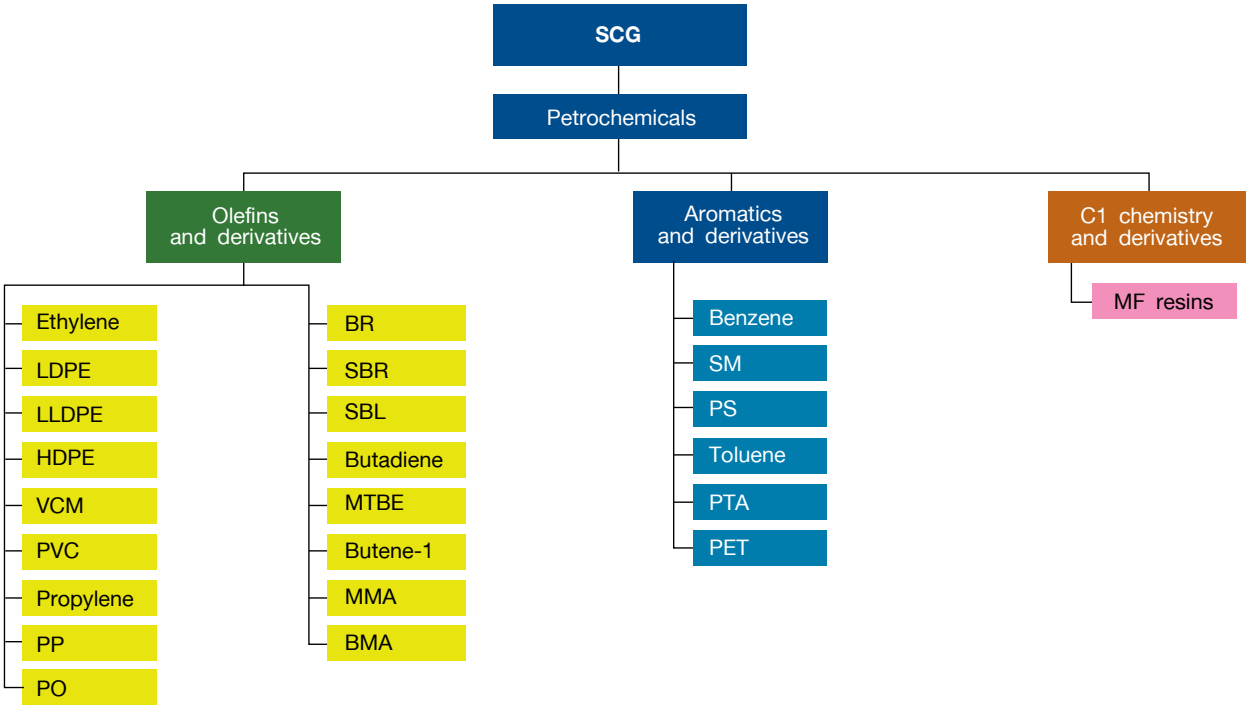
- กลุ่ม ปตท. จำกัด (มหาชน)

กลุ่ม ปตท. หรือ PTT Group เป็นผู้ผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมปิโตรเคมีแบบครบวงจร สำหรับธุรกิจปิโตรเคมี มีตั้งแต่วัตถุดิบตั้งต้น ทั้งจากก๊าซธรรมชาติจากโรงแยกก๊าซธรรมชาติ และแนฟทาและคอนเดนเสทจากโรงกลั่น มีอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย ทั้งในสายโอเลฟินส์ (olefins) และสายแอโรแมติกส์ (aromatics) และเริ่มมีการร่วมทุนกับบริษัทต่างชาติในธุรกิจปิโตรเคมีมากขึ้น ใน พ.ศ. 2553 กลุ่มบริษัท ปตท. มีกำลังการผลิตปิโตรเคมีรวมประมาณ 14 ล้านตัน มีคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีตั้งอยู่ที่ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง คือ ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและนิคมใกล้เคียง มีบริษัทที่มีโรงงานปิโตรเคมีขั้นต้นที่สำคัญ คือ บริษัท ปตท. เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ซึ่งมีเอทิลีนแครกเกอร์ทั้งจากแนฟทาและก๊าซธรรมชาติ บริษัท พีทีที โพลีเอทิลีน จำกัด ที่มีเอทิลีนแครกเกอร์ บริษัท ปตท. อะโรเมติกส์และการกลั่น จำกัด (มหาชน) ที่มีแอโรแมติกส์ 2 โรง นอกจากนี้ ยังมีกลุ่มบริษัท IRPC ซึ่งเป็นการบูรณาการโรงกลั่นและปิโตรเคมีที่สมบูรณ์แห่งหนึ่งของเอเชีย ที่ตำบลเชิงเนิน จังหวัดระยอง และโรงงานแอโรแมติกส์ของบริษัท ไทยพาราไซลีน จำกัด ในจังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นบริษัทลูกในเครือบริษัท ไทยออยล์ จำกัด (มหาชน)



• กลุ่มบริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด

เครือปูนซิเมนต์ไทยเริ่มต้นด้วยการก่อสร้างบริษัทปูนซิเมนต์ไทยขึ้นเพื่อผลิตและจำหน่ายปูนซิเมนต์ใน พ.ศ. 2456 ต่อมาได้ขยายธุรกิจและการลงทุนในธุรกิจปิโตรเคมีภายใต้กลุ่มบริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด โดยใน พ.ศ. 2532 ได้เปิดดำเนินการโรงงานผลิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ต่อมาได้มีการร่วมทุนกับบริษัทข้ามชาติ โดยจัดตั้งบริษัทร่วมทุนระหว่างเครือซิเมนต์ไทยและบริษัทต่างชาติ เช่น บริษัท SCG-Dow Group และบริษัท สยามมิตซุย พีทีเอ เพื่อสร้างเครือข่ายการตลาดต่างประเทศ และสร้างความแข็งแกร่งด้านเทคโนโลยี ใน พ.ศ. 2553 กลุ่มบริษัทปูนซิเมนต์ไทยมีกำลังผลิตปิโตรเคมีรวมประมาณ 9.7 ล้านตัน มีคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีตั้งอยู่ที่ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง คือในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด นำโดยบริษัท ระยองโอเลฟินส์ ซึ่งมีเอทิลีนแครกเกอร์และบริษัทในเครืออื่นๆ และคอมเพล็กซ์แห่งที่สองคือ นิคมอุตสาหกรรม RIL นำโดยบริษัท บริษัท มาบตาพุดโอเลฟินส์ จำกัด เป็นเอทิลีนแครกเกอร์โรงที่ 2 ของในเครือ นอกจากนี้เครือปูนซิเมนต์ไทยยังลงทุนปิโตรเคมีในต่างประเทศด้วย เช่น เวียดนามและอิหร่าน เป็นต้น



• กลุ่มอื่นๆ

- กลุ่ม TOA

เป็นกลุ่มที่มีพื้นฐานการทำธุรกิจและมีชื่อเสียงในวงการธุรกิจสี อย่างไรก็ตาม กลุ่ม TOA มีความสนใจที่จะขยายการลงทุนออกไปในผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจสี จนกระทั่งพัฒนาไปสู่อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลายที่หลากหลาย โดยการร่วมมือกับกลุ่มมิตซูบิชิ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสายพลาสติกวิศวกรรม (engineering plastics) เช่น พอลิคาร์บอเนต (PC) และพอลิออกซีเมทิลีน (POM) เป็นต้น

- กลุ่ม อินโดรามา

เป็นกลุ่มผู้ผลิตพอลิเอสเทอร์ (polyester) อันดับต้นๆ ของโลกเข้ามาสร้างฐานธุรกิจในไทยด้วยการเริ่มต้นผลิตพอลิเอสเทอร์และเรซินพีอีที (PET) ตั้งแต่ พ.ศ. 2538 ก่อนจะขยายการลงทุนในธุรกิจปิโตรเคมีอย่างครบวงจรตั้งแต่ปิโตรเคมีขั้นปลาย ขึ้นมาถึงปิโตรเคมีขั้นกลาง จนมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ปัจจุบันกลุ่มอินโดรามามีการลงทุนในธุรกิจปิโตรเคมีในประเทศไทยในนามของ บริษัท อินโดรามา โพลิเมอร์ส (Indorama Polymers Public Co., Ltd. IRP) ตั้งอยู่ที่จังหวัดลพบุรี ผลิตเม็ดพลาสติกพีอีที (PET) บริษัท อินโดโพลีไทยแลนด์ (Indo Poly (Thailand) Ltd.) ตั้งอยู่ที่จังหวัดนครปฐม ผลิตพอลิเอสเทอร์ บริษัท อินโดรามา ปิโตรเคมี(Indorama Petrochem Ltd.) ตั้งอยู่ที่จังหวัดระยอง ผลิตกรดเทเรฟแทลิก (PTA)

- กลุ่ม Bayer

เป็นหนึ่งในกลุ่มเคมีภัณฑ์ที่ใหญ่ที่สุดกลุ่มหนึ่งของเยอรมนี เข้ามาลงทุนในธุรกิจพอลิเมอร์ในประเทศไทยสายเอบีเอส/เอสเอเอ็น (ABS/SAN) และพอลิคาร์บอเนต (PC) อย่างไรก็ตาม ใน พ.ศ. 2547 กลุ่ม Bayer ได้ขายโรงงานผลิต ABS/SAN ให้แก่ Lanxess ซึ่งได้ขายกิจการให้กับ INEOS ABS อีกต่อหนึ่ง การขายกิจการในครั้งนั้นทำให้กลุ่ม Bayer เหลือธุรกิจพอลิเมอร์เฉพาะสายพอลิคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียว

- กลุ่ม ExxonMobil Chemical

อยู่ในเครือของ ExxonMobil ซึ่งเป็นบริษัทน้ำมันอันดับต้นๆ ของโลก การลงทุนในไทยเป็นการนำวัตถุดิบจากโรงกลั่นของตนเองมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในธุรกิจปิโตรเคมีสายแอโรแมติกส์ โดยก้าวเข้าสู่ธุรกิจปิโตรเคมีในไตรมาสสี่ พ.ศ. 2542 ด้วยการผลิตพาราไซลีน (p-Xylene) เป็นหลัก

- กลุ่ม Ube

เป็นกลุ่มผู้ผลิตไนลอนชั้นนำของโลก กลุ่ม Ube ตัดสินใจใช้ไทยเป็นฐานการผลิตไนลอน (Nylon) และ Caprolactam เพื่อจำหน่ายในประเทศไทยและประเทศอื่นๆ ในภูมิภาคเอเชีย ในช่วง พ.ศ. 2547-2548 ได้ขยายฐานการผลิตไปผลิตไนลอนเกรดพิเศษเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์

- กลุ่มบริษัท ดาวเคมิคอล ประเทศไทย จำกัด

เป็นกลุ่มบริษัทเคมีภัณฑ์ชั้นนำของโลกจากประเทศสหรัฐอเมริกา ที่เข้ามาดำเนินธุรกิจในประเทศไทยตั้งแต่ยุคเริ่มต้นของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีของประเทศไทย มีการร่วมทุนกับกลุ่มบริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ ในมาบตาพุด ในธุรกิจปิโตรเคมีสายโอเลฟินส์ เช่น เอทิลีนแครกเกอร์ และธุรกิจปิโตรเคมีกลุ่มสไตรนิกส์ ส่วนกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เป็นของบริษัทดาวเคมิคอล ในประเทศไทย เช่น Polyol/PU และ PG

**หน่วยงานทางอุตสาหกรรมปิโตรเคมี**

ส่วนใหญ่เป็นสมาคมผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีของประเทศ ของกลุ่มประเทศหรือประเทศต่างๆ มีบทบาทหน้าที่ในแต่ละประเทศแตกต่างกันออกไป แต่มักจะเกี่ยวข้องกับการให้ข้อมูล ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวอุตสาหกรรม การประสานงาน การอบรมสัมมนาต่างๆ ไปจนถึงการรวมกลุ่มเพื่อต่อรองเจรจาระดับนโยบายต่างๆ ที่มีผลกระทบกับอุตสาหกรรม เช่น นโยบายการค้า การลงทุน และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนความร่วมมือระหว่างประเทศต่างๆ เป็นต้น



ตัวอย่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

| หน่วยงาน | ประเทศ | Website |
|---|---|---|
| Asia Petrochemical Industry Conference (APIC) | ภูมิภาคเอเชีย | www.apic-online.org |
| Arab Fertilizer Association (AFA) | ภูมิภาคตะวันออกกลาง | www.afa.com.eg |
| European Chemical Industry Council (CEFIC) | ภูมิภาคยุโรป | www.cefic.org |
| The European Petrochemical Association (EPCA) | ภูมิภาคยุโรป | www.epca.be |
| The Association of Petrochemicals Producers in Europe (APPE) | ภูมิภาคยุโรป | www.petrochemistry.net |
| The Latin American Petrochemical Association (APLA) | ภูมิภาคอเมริกาใต้ | www.apla.com.ar |
| The Methanol Institute | องค์กรระหว่างประเทศ | www.methanol.org |
| National Petrochemicals and Refiners Association (NPRA) | ประเทศสหรัฐอเมริกา | www.npra.org |
| The Canadian Chemical Producers Association (CCPA) | ประเทศแคนาดา | www.ccpa.ca |
| The Japan Petrochemical Industry Association (JPCA) | ประเทศญี่ปุ่น | www.jpca.or.jp |
| The Korean Petrochemical Industry Association (KPIA) | ประเทศเกาหลีใต้ | www.kpia.or.kr |
| The Petrochemical Industry Association of Taiwan (PIAT) | ประเทศไต้หวัน | www.piat.org.tw |
| The Chemicals and Petrochemicals Manufacturers Association (CPMA) | ประเทศอินเดีย | www.cpmai.com |
| The Malaysian Petrochemicals Association (MPA) | ประเทศมาเลเซีย | www.mpa.org.my |
| The Singapore Chemical Industry Council (SCIC) | ประเทศสิงคโปร์ | www.scic.sg |
| The Petrochemial Industry Club under the Federation of Thai Industries (กลุ่มปิโตรเคมี สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย) | ประเทศไทย | www.ftipc.or.th |
| The Petroleum Institute of Thailand (สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย) | ประเทศไทย | www.ptit.org |

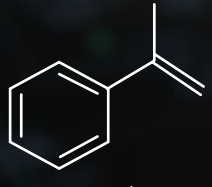
- หน่วยงานการศึกษาและวิจัยในประเทศ
  ตัวอย่างหน่วยงานการศึกษาและหน่วยงานวิจัยที่มีการจัดการเรียนการสอน และดำเนินงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

| มหาวิทยาลัย/หน่วยงานวิจัย | คณะ | ภาควิชา | Website |
|---|---|---|---|
| **มหาวิทยาลัย** | | | |
| เกษตรศาสตร์ | วิศวกรรมศาสตร์ | วิศวกรรมเคมี | www.che.eng.ku.ac.th |
| | | วิศวกรรมวัสดุ | http://mat.eng.ku.ac.th/index.htm |
| | วิทยาศาสตร์ | เคมี | http://chem.sci.ku.ac.th/ |
| | | ฟิสิกส์ | http://physics.sci.ku.ac.th/ |
| ขอนแก่น | วิทยาศาสตร์ | เคมี | http://chemsci.kku.ac.th/ |
| จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย | วิศวกรรมศาสตร์ | วิศวกรรมเคมี | www.chem.eng.chula.ac.th |
| | วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี | | www.ppc.chula.ac.th |
| | วิทยาศาสตร์ | เคมีเทคนิค | www.chemtech.sc.chula.ac.th/ |
| | | เคมี | www.chemistry.sc.chula.ac.th/home.htm |
| | | วิทยาศาสตร์ทั่วไป | http://gensci.sc.chula.ac.th/ |
| | | วัสดุศาสตร์ | www.sc.chula.ac.th/matsci/ |
| | | สหสาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ | www.sc.chula.ac.th/petrochem/home.html |
| เชียงใหม่ | วิทยาศาสตร์ | เคมีอุตสาหกรรม | www.science.cmu.ac.th/department/ic/ |
| | | เคมี | www.cmuchem.com/ |
| เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี | วิศวกรรมศาสตร์ | วิศวกรรมเคมี | www.che.eng.kmutt.ac.th |
| | วิทยาศาสตร์ | เคมี | http://science.kmutt.ac.th/WebChem/index.html |
| | บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม | | www.jgsee.kmutt.ac.th |
| เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ | วิทยาศาสตร์ประยุกต์ | เคมีอุตสาหกรรม | www.ic.kmutnb.ac.th/ |
| เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | วิศวกรรมศาสตร์ | วิศวกรรมวัสดุและโลหะการ | www.en.rmutt.ac.th/ |
| เทคโนโลยีสุรนารี | วิศวกรรมศาสตร์ | วิศวกรรมพอลิเมอร์ | www.sut.ac.th/engineering/polymer |
| | วิทยาศาสตร์ | เคมี | http://science.sut.ac.th/chemistry/ |
| ธรรมศาสตร์ | วิศวกรรมศาสตร์ | วิศวกรรมเคมี | www.che.engr.tu.ac.th |
| | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร | วิศวกรรมเคมี | www.siit.tu.ac.th |
| บูรพา | วิทยาศาสตร์ | เคมี | http://chemistry.buu.ac.th/ |
| มหานคร | วิศวกรรมศาสตร์ | วิศวกรรมเคมี | www.eng.mut.ac.th/Chemical |

| มหาวิทยาลัย/หน่วยงานวิจัย | คณะ | ภาควิชา | Website |
|---|---|---|---|
| **มหาวิทยาลัย** | | | |
| มหิดล | วิทยาศาสตร์ | เคมี | http://chemw.sc.mahidol.ac.th/ |
| | วิศวกรรมศาสตร์ | วิศวกรรมเคมี | www.eg.mahidol.ac.th/dept/egche/ |
| ศรีนครินทรวิโรฒ | วิศวกรรมศาสตร์ | วิศวกรรมเคมี | http://eng.swu.ac.th/department/che_dept.html |
| ศิลปากร | วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม | วิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ | www.eng.su.ac.th |
| สงขลานครินทร์ | วิทยาศาสตร์ | วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ | www.sc.psu.ac.th |
| สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง | วิศวกรรมศาสตร์ | วิศวกรรมเคมี | www.kmitl.ac.th/che/people/index.html |
| | วิทยาศาสตร์ | เคมี | www.kmitl.ac.th/chem |
| อุบลราชธานี | วิทยาศาสตร์ | เคมี | http://chem.sci.ubu.ac.th/ |
| **หน่วยงานวิจัยของภาครัฐ** | | | |
| ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ | - | - | www.mtec.or.th/index.php |
| ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ | - | - | www.nanotec.or.th/nanotec_th/ |

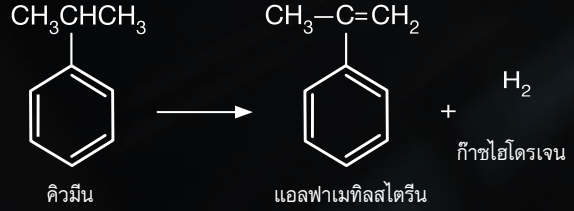
# ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคม กระบวนการผลิต คุณสมบัติผลิตภัณฑ์ และการใช้งาน

**α-methylstyrene (AMS) แอลฟาเมทิลสไตรีน (เอเอ็มเอส)** สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ประเภทแอลฟาโอเลฟิน (α-olefin) ชนิดสไตรีน (ดู styrene) ที่มีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 หรือ ตำแหน่งแอลฟา (alpha, α) ของสไตรีน สูตรโมเลกุล $C_9H_{10}$



แอลฟาเมทิลสไตรีน

ของเหลวใส ไม่มีสี ไม่ละลายน้ำ ผลพลอยได้จากการผลิตคิวมีน (ดู cumene) ที่ใช้เบนซีน (ดู benzene) และโพรพิลีน (ดู propylene) เป็นสารตั้งต้น หรือได้จากการดึงไฮโดรเจนออก (ดู dehydrogenation) จากสารตั้งต้นคิวมีนโดยตรง




ใช้เป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) เพื่อผลิตสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) เรซิน (resin) และพอลิเมอร์ รวมถึงใช้เป็นตัวทำละลาย

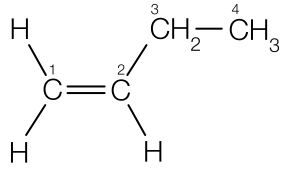


**β-lactam เบตาแลกแทม**

สารประกอบวงแหวนเอไมด์ เป็นวงแหวนอะตอมวิวิธพันธ์ (heteroatom) ที่ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอม 3 อะตอม และไนโตรเจนอะตอม 1 อะตอม เป็นกลุ่มของสารแอนติบอดีธรรมชาติและแอนติบอดีกึ่งสังเคราะห์ที่ใช้ทำยาปฏิชีวนะ

**1-butene 1-บิวทีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ประเภทแอลคีน (ดู alkene) ประกอบด้วยคาร์บอน 4 อะตอม สูตรโมเลกุล $C_4H_8$ มีพันธะคู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 เป็นไอโซเมอร์ (isomer) หนึ่งในสามของบิวทีน ซึ่งได้แก่ 1-บิวทีน 2-บิวทีน (ดู 2-butene) และ ไอโซบิวทีน (ดู iso-butene)

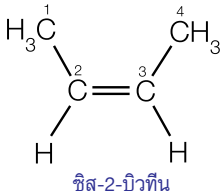


1-บิวทีน

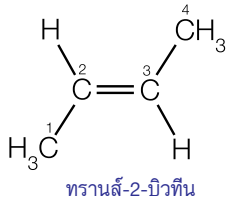
มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ไม่มีสี มีกลิ่น ติดไฟได้ง่าย เป็นองค์ประกอบหนึ่งในซี 4 ผสม (ดู mixed C4) ซึ่งเป็นผลพลอยได้ (by product) ได้จากการแตกตัว (cracking) เพื่อผลิตสารโอเลฟิน (ดู olefin) (เอทิลีนและโพรพิลีน) โดยใช้แนฟทา (ดู naphtha) เป็นวัตถุดิบ แยกออกจากผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นด้วยกระบวนการต่างๆ คือ กระบวนการกลั่นแยก กระบวนการการกลั่นร่วมกับการสกัด (extractive distillation) และกระบวนการดูดซับโดยใช้ตัวกรองโมเลกุล (molecular sieve adsorption) เป็นสารกึ่งกลางหรือสารมัธยันตร์ (intermediate) ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยใช้เป็นสารมอนอเมอร์ร่วม (comonomer) กับเอทิลีน (ethylene) เพื่อผลิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (ดู high density polyethylene) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (ดู linear low density polyethylene)

**2-butene 2-บิวทีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว ประเภทแอลคีน (ดู alkene) ประกอบด้วยคาร์บอน 4 อะตอม สูตรโมเลกุล $C_4H_8$ มีพันธะคู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 เป็นไอโซเมอร์ (isomer) หนึ่งในสามของบิวทีน ซึ่งได้แก่ 1-บิวทีน (ดู 1-butene) 2-บิวทีน และไอโซบิวทีน (ดู iso-butene) แบ่งออกเป็น 2 ไอโซเมอร์ย่อยตามโครงสร้างโมเลกุล คือ ซิส-2-บิวทีน (cis-2-butene) มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 70 และทรานส์-2-บิวทีน (trans-2-butene) ประมาณร้อยละ 30

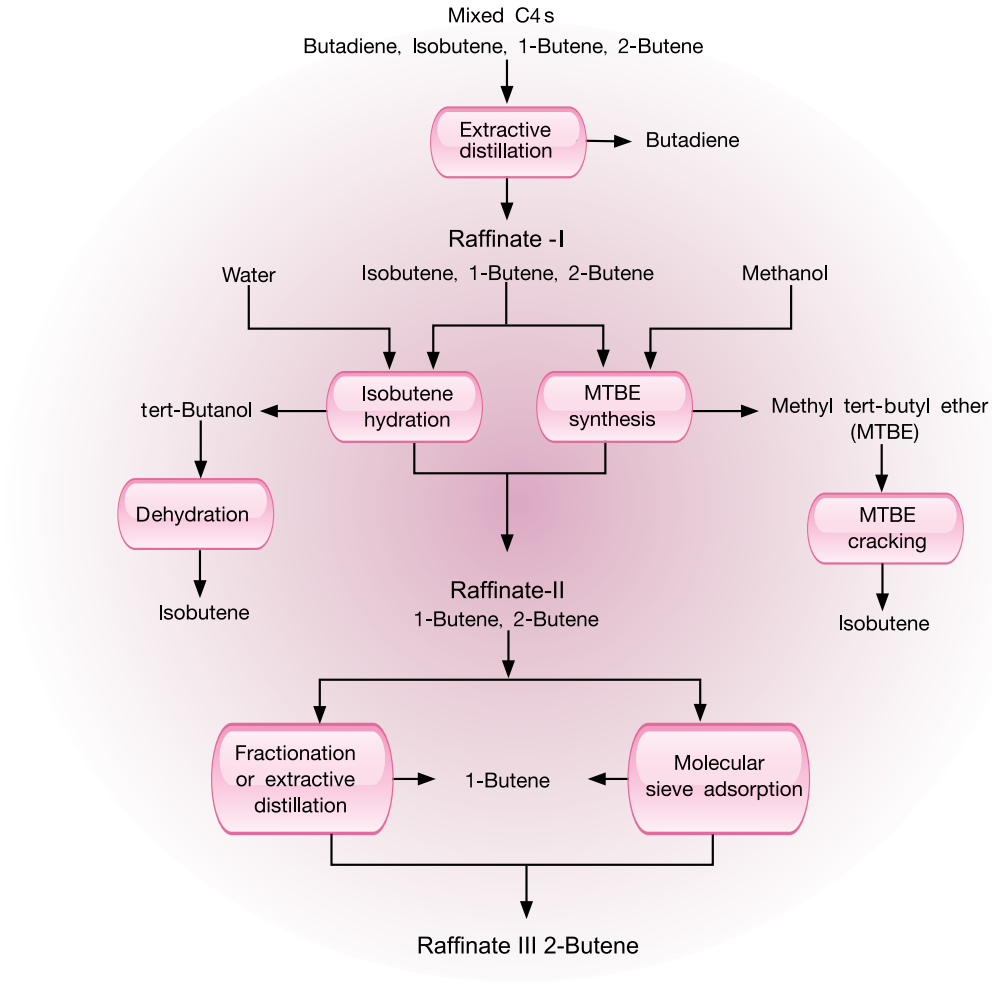


ซิส-2-บิวทีน



ทรานส์-2-บิวทีน

เป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ไม่มีสี มีกลิ่น ติดไฟได้ง่าย หนึ่งในผลพลอยได้ที่มีคาร์บอน 4 อะตอมอยู่ในโครงสร้างที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งในซี 4 ผสม (ดู mixed C4) ซึ่งเป็นผลพลอยได้ (by product) จากการแตกตัว (cracking) เพื่อผลิตสารโอเลฟิน (เอทิลีนและโพรพิลีน) โดยใช้แนฟทา (ดู naphtha) เป็นวัตถุดิบ โดยแยกออกจากผลิตภัณฑ์อื่นเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊โซลีนและบิวทาไดอีน (ดู butadiene) รวมถึงใช้ผลิตบิวทาโนน (butanone) สำหรับใช้เป็นตัวทำละลาย

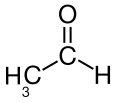



กระบวนการแยกซี 4 ผสม

**absorption การดูดซึม**

กระบวนการทางกายภาพหรือเคมีที่อะตอม โมเลกุล หรือไอออนของสารถูกดูดซึมเข้าไปอยู่ในมวลของวัสดุอื่นที่เป็นก๊าซ ของเหลว หรือของแข็ง ในกรณีที่เป็นการดูดซึมทางกายภาพ เป็นไปตามกฎการแบ่งส่วนของเนิร์นสต์ (Nernst partition law) โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (partition coefficient, $K_N$) มีค่าตามสมการ $K_N = [x]_1/[x]_2$ เมื่อ $[x]_1$ คือ ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซึม (solute) ในวัสดุที่ 1 และ $[x]_2$ คือ ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซึมในวัสดุที่ 2 ที่สัมผัสกัน ค่า $K_N$ แปรผันไปตามอุณหภูมิ ตัวอย่างของกระบวนการดูดซึม ได้แก่ กระบวนการบำบัดด้วยเอมีน (amine treating) ใช้แยกก๊าซกรด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ออกจากก๊าซธรรมชาติ โดยใช้สารละลายประเภทเอมีนเป็นตัวดูดซึม ได้แก่ มอโนเอทาโนลามีน (monoethanolamine (MEA)) ไดเอทาโนลามีน (diethanolamine (DEA)) หรือเมทิลไดเอทาโนลามีน (methyldiethanolamine (MDEA)) เป็นต้น ก๊าซกรดจะถูกดูดซึมออกจากก๊าซธรรมชาติด้วยสารละลายเอมีนในหอดูดซึม (absorber) ได้ก๊าซธรรมชาติสะอาดที่ไม่มีความเป็นกรด (sweet gas) ส่วนสารละลายเอมีนที่ดูดซึมกรดไว้ (rich amine) ถูกล้างในหอฟื้นฟู (regenerator) เพื่อไล่ก๊าซกรด (desorp) ออกจากสารละลายเอมีน ได้สารละลายเอมีนที่ปราศจากกรด (lean amine) หมุนเวียนนำไปใช้ในกระบวนการดูดซึมอีก

**acetaldehyde แอซีทัลดีไฮด์**



แอซีทัลดีไฮด์

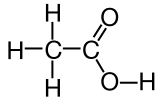
สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประเภทแอลดีไฮด์ (aldehyde) ที่มีหมู่ฟอร์มิล (formyl group, -CHO) เชื่อมกับหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) สูตรโมเลกุล $CH_3CHO$ เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนคล้ายกลิ่นผลไม้ ถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่สุดในกลุ่มสารประกอบแอลดีไฮด์ ผลิตโดยกระบวนการแวกเกอร์ (Wacker process) ซึ่งเป็นกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) สารตั้งต้นเอทิลีน มีตัวเร่งปฏิกิริยาคือ พาลาเดียม (II) คลอไรด์ (paladium (II) chloride, $PdCl_2$) คอปเปอร์ (II) คลอไรด์ (copper (II) chloride, $CuCl_2$) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) และน้ำ ดังสมการ

$$CH_2{=}CH_2 + \tfrac{1}{2}O_2 \xrightarrow[120\ ^\circ C,\ 3\ bar]{PdCl_2,\ CuCl_2,\ HCl,\ H_2O} CH_3CHO$$

เอทิลีน ออกซิเจน แอซีทัลดีไฮด์

ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทิลแอซีเทต กรดแอซีติก (ดู acetic acid) สี ยารักษาโรค ปุ๋ย สารป้องกันสนิม น้ำยาเคลือบผิว

**acetic acid กรดแอซีติก, กรดน้ำส้ม**



กรดแอซีติก

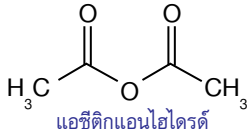
สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประเภทกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) ที่มีหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group, -COOH) เชื่อมกับหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) สูตรโมเลกุล $CH_3COOH$ เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน และมีรสเปรี้ยว มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน ละลายน้ำได้ดี ปัจจุบันผลิตโดย 2 กระบวนการคือ กระบวนการหมักโดยใช้แบคทีเรีย มีสัดส่วนเพียงร้อยละ 10 ของปริมาณการผลิตทั้งหมดและใช้เพื่อการบริโภคเท่านั้น และกระบวนการสังเคราะห์เมทานอลคาร์บอนิเลชัน (methanol carbonylation) ซึ่งใช้เมทานอลและคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นสารตั้งต้น มีตัวเร่งปฏิกิริยาคือ โรเดียมที่เสริมด้วยไอโอดีน (iodine-promoted rhodium)

$$CH_3OH + CO \longrightarrow CH_3COOH$$

เมทานอล คาร์บอนมอนอกไซด์ กรดแอซีติก

กรดแอซีติกเป็นสารเคมีที่ใช้ในการผลิตสารเคมีอื่นๆ โดยใช้ผลิตไวนิลแอซีเทต (vinyl acetate) เป็นหลัก รองลงมาคือ แอซีติกแอนไฮไดรด์ (ดู acetic anhydride) และเอสเทอร์ (ester) ตามลำดับ

**acetic anhydride แอซีติกแอนไฮไดรด์**



แอซีติกแอนไฮไดรด์

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประเภทกรดแอนไฮไดรด์ (anhydride acid) ที่มีหมู่เอซิล (acyl group, RCO-) จำนวน 2 หมู่ คือ $R_1CO-$ และ $R_2CO-$ มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะออกซิเจนอะตอมเดียวกัน หมู่ $R_1$ และ $R_2$ คือ หมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) สูตรโมเลกุล $C_4H_6O_3$ ของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนมากกว่ากรดแอซีติก (ดู acetic acid) มีฤทธิ์เป็นกรด ใช้แอซีทิลไอโอไดด์ (acetyl iodide) และเมทิล-แอซีเทต (methyl acetate) เป็นสารตั้งต้นในภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

$$CH_3COCl + CH_3COOCH_3 \longrightarrow CH_3I + (CH_3CO)_2O$$

แอซีทิลไอโอไดด์ เมทิลแอซีเทต เมทิลไอโอไดด์ แอซีติกแอนไฮไดรด์

นำไปใช้ในการผลิตสารเคมีอื่นๆ ได้หลายชนิด เช่น เซลลูโลส-แอซีเทต (cellulose acetate) สำหรับใช้เป็นสารเคลือบผิว ผลิตกรดแอซีทิลซาลิไซลิก (acetylsalicylic acid) สำหรับใช้เป็นยาแก้ปวด (แอสไพริน) เป็นต้น



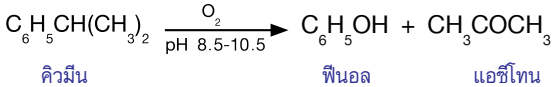

ยาแก้ปวด (แอสไพริน)

**acetone แอซีโทน**



แอซีโทน

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประเภทคีโทน (ketone) ที่มีหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group, -CO-) เชื่อมต่อกับหมู่แอลคิล (alkyl group, R) จำนวน 2 หมู่ ซึ่งเป็นหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) สูตรโมเลกุล $C_3H_6O$ ของเหลวใส ไม่มีสี ติดไฟได้ง่าย และไม่ละลายน้ำ ผลิตได้ทั้งทางตรงและทางอ้อมโดยใช้โพรพิลีนเป็นสารตั้งต้น แต่กระบวนการที่นิยมใช้ คือกระบวนการคิวมีน (cumene process) ได้แอซีโทนเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้



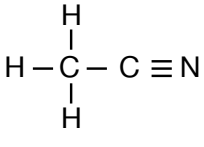
คิวมีน ฟีนอล แอซีโทน

ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารเมทิลเมทาคริเลต (methyl methacrylate) ซึ่งใช้ในการผลิตพอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethyl metacrylate (PMMA)) นอกจากนี้ ยังใช้เป็นตัวทำละลาย และเป็นองค์ประกอบในเวชภัณฑ์บางชนิด




แอซีโทน

**acetonitrile แอซีโทไนไทรล์**



แอซีโทไนไทรล์

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประเภทไนไทรล์ (nitrile) ที่มีหมู่ไนไทรล์ (nitrile group, -CN) เชื่อมต่อกับหมู่แอลคิล (alkyl group, R) โดยในกรณีนี้ คือ หมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) ภายในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $CH_3CN$ ของเหลวใส ไม่มีสี ไม่ละลายน้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากการผลิตสารอะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile) ตัวทำละลายสำหรับทำให้สารบิวทาไดอีนบริสุทธิ์ (ดู butadiene) หรือใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับยา และฟิล์มถ่ายรูป



แอซีโทไนไทรล์



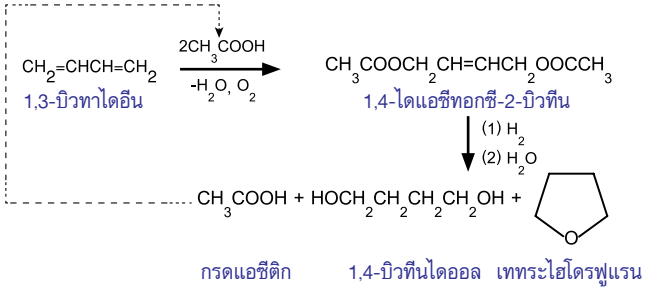
ฟิล์มถ่ายรูป



แอซีโทไนไทรล์

**acetoxylation การเติมหมู่คาร์บอกซิลิก**

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์โดยเติมหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group, RCOO-) ลงไปในสารตั้งต้น เช่น ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ 1,4-บิวทีนไดออล (1,4-butenediol) จากสารตั้งต้น 1,3-บิวทาไดอีน (1,3-butadiene) ในขั้นแรกเกิดปฏิกิริยาการเติมหมู่คาร์บอกซิลิก ได้สาร 1,4-ไดแอซีทอกซี-2-บิวทีนก่อน (1,4-diacetoxy-2-butene) ในขั้นที่ 2 เป็นการกำจัดหมู่คาร์บอกซิลิกออกจากโมเลกุล โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนและน้ำ

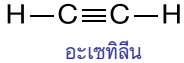



1,3-บิวทาไดอีน 1,4-ไดแอซีทอกซี-2-บิวทีน

กรดแอซีติก 1,4-บิวทีนไดออล เททระไฮโดรฟูแรน

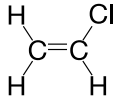
**acetylene อะเซทิลีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว ประเภทแอลไคน์ (alkyne) มีพันธะสามอยู่ในโครงสร้าง ประกอบด้วยคาร์บอน 2 อะตอม สูตรโมเลกุล $C_2H_2$

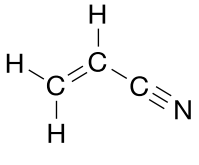



อะเซทิลีน

ก๊าซไม่มีสี ผลิตโดยกระบวนการออกซิเดชันบางส่วน (partial oxidation) ของสารตั้งต้นมีเทน (ดู methane) ที่อุณหภูมิ 1,500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 มิลลิวินาที จากนั้นทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (quench) นอกจากนี้ ยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแตกสลายโมเลกุล (cracking) ของสารตั้งต้นเอทิลีน ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น ไวนิลคลอไรด์ (ดู vinyl chloride) และไวนิลไซยาไนด์ (vinyl cyanide) เป็นต้น




ไวนิลคลอไรด์




ไวนิลไซยาไนด์

**acetylenic อะเซทิลีนิก**

การมีพันธะสามอยู่ภายในโมเลกุล เช่น ที่มีในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแอลไคน์ อะเซทิลีน (ดู acetylene)

**acid gas ก๊าซกรด**

ก๊าซใดๆ ที่มีสมบัติความเป็นกรด เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซธรรมชาติที่มีองค์ประกอบของก๊าซกรดเจือปนอยู่ การกำจัดก๊าซกรดในก๊าซธรรมชาติกระทำโดยกระบวนการกำจัดด้วยเอมีน (amine treating) หรือกระบวนการเบนฟิลด์ (Benfield process)

**acrolein อะโครลีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประเภทแอลดีไฮด์ (aldehyde) ที่มีหมู่ฟอร์มิล (formyl group, -CHO) เชื่อมกับหมู่ไวนิล (vinyl group, $CH_2$=CH-) ทำให้มีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $C_3H_4O$

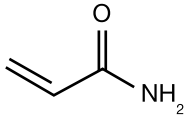



อะโครลีน

เป็นของเหลวไม่มีสีหรือสีออกเหลือง มีกลิ่นเหม็นรุนแรงคล้ายกับกลิ่นไขมันที่ถูกเผา ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาและมีความเป็นพิษ ผลิตโดยกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) ของสารตั้งต้นโพรพิลีนที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาบิสมัธโมลิบเดท (bismuth molybdate (BiMo)) หรือผลิตจากสารตั้งต้นกลีเซอรอล (glycerol) ซึ่งสลายตัวให้อะโครลีนโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมพอลิเอสเทอร์เรซิน (polyester resin) พอลิยูริเทน (ดู polyurethane) โพรพิลีนไกลคอล (ดู propylene glycol) กรดอะคริลิก (acrylic acid) และอะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile)

**acrylamide อะคริลาไมด์**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประเภทเอไมด์ (amide) ที่มีหมู่เอไมด์ (amide group, -$CONH_2$) เชื่อมกับหมู่ไวนิล (vinyl group, $CH_2$=CH-) ทำให้มีพันธะคู่ภายในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $C_3H_5NO$




อะคริลาไมด์

ผลึกของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ละลายได้ดีในน้ำ เอทานอล อีเทอร์ และคลอโรฟอร์ม ที่อุณหภูมิจะสูงเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้ (polymerization) ผลิตโดยใช้สารตั้งต้นอะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile) กรดซัลฟิวริกและน้ำ ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส (ดู hydrolysis)

$$CH_2{=}CH\text{-}CN + H_2SO_4 + H_2O$$

อะคริโลไนไทรล์ กรดซัลฟิวริก น้ำ

$$(NH_4)_2SO_4 + CH_2{=}CHCONH_2 \xleftarrow{NH_3}$$

แอมโมเนียมซัลเฟต อะคริลาไมด์

อะคริลาไมด์ส่วนใหญ่ใช้สังเคราะห์พอลิอะคริลาไมด์ (ดู poly (acrylamide)) สารเพิ่มความข้นของของเหลวชนิดละลายน้ำได้ (water-soluble thickener) หรือใช้ในการบำบัดน้ำเสีย รวมถึงใช้ผลิตสี

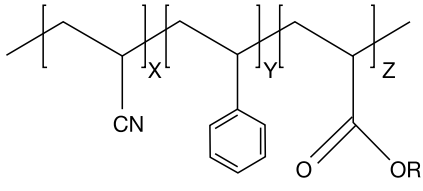




การบำบัดน้ำเสีย

**acrylic-styrene-acrylonitrile (ASA) อะคริลิก-สไตรีน-อะคริโลไนไทรล์ (เอเอสเอ)**

พอลิเมอร์ร่วม (ดู copolymer) ประกอบด้วยมอนอเมอร์ (ดู monomer) 3 ชนิดในสายโซ่พอลิเมอร์ คือ กรดอะคริลิก (acrylic acid) สไตรีน (ดู styrene) และอะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile) มีความมันวาวสูง (high gloss) มีความต้านทานสารเคมี (chemical resistance) และความร้อน (heat resistance) และสามารถทนแรงกระแทกสูง (high impact strength) ทนสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (saturated hydrocarbon) แก๊โซลีนที่มีแอโรแมติกส์ต่ำ (low-aromatic gasoline) น้ำมันหล่อลื่น (lubricating oil) น้ำมันจากพืชและสัตว์ (vegetable and animal oil) น้ำ สารละลายในน้ำเกลือ กรดและด่างเจือจาง แต่ไม่ทนกรดและด่างอนินทรีย์เข้มข้น (concentrated inorganic acids and base) บางชนิดทนการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้ดีมาก นำไปใช้ผลิตอุปกรณ์ก่อสร้างต่างๆ เช่น รางน้ำ ท่อระบายน้ำ เฟอร์นิเจอร์นอกบ้าน กระดานโต้คลื่น ส่วนประกอบของเรือ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น ตะแกรงหน้าหม้อรถยนต์ และตัวครอบกันชน เป็นต้น



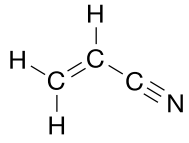

โครงสร้างพอลิเมอร์ร่วมเอเอสเอ





ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิเมอร์ร่วมเอเอสเอ

**acrylonitrile อะคริโลไนไทรล์**



อะคริโลไนไทรล์

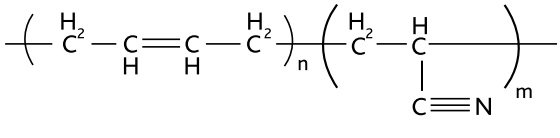
สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประเภทไนไทรล์ (nitrile) ที่มีหมู่ไนไทรล์ (nitrile group, -CN) เชื่อมต่อกับหมู่ไวนิล (vinyl group, $CH_2$=CH-) มีพันธะคู่ภายในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $C_3H_3N$ ของเหลวใส ไม่มีสี (บางครั้งอาจมีสีออกเหลือง เนื่องจากมีสิ่งเจือปน) มีกลิ่นฉุน น้ำหนักโมเลกุล 53.06 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 0.81 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว -84 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 77 องศาเซลเซียส นิยมผลิตจากสารตั้งต้นโพรพิลีน (ดู propylene) แอมโมเนีย และก๊าซออกซิเจน ผ่านปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic ammoxidation) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาบิสมัธโมลิบดินัม (bismuth molybdenum (BiMo))

$$2CH_3CH{=}CH_2 + 2NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2CH_2{=}CHCN + 6H_2O$$

โพรพิลีน แอมโมเนีย ออกซิเจน → อะคริโลไนไทรล์ น้ำ

สารมอนอเมอร์ (ดู monomer) สำหรับการผลิตพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยเฉพาะพอลิอะคริโลไนไทรล์ พลาสติกอะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีนหรือเอบีเอส (ดู acrylonitile-butadiene-styrene) และพลาสติกสไตรีน-อะคริโลไนไทรล์หรือพลาสติกแซน (ดู styrene-acrylonitrile)

**acrylonitrile-butadiene rubber (ABR), nitrile rubber (NBR) ยางอะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน (เอบีอาร์), ยางไนไทรล์ (เอ็นบีอาร์)**



สูตรโครงสร้างของยางเอบีอาร์

พอลิเมอร์ร่วม (ดู copolymer) ระหว่างอะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile) กับบิวทาไดอีน (butadiene) มีอะคริโลไนไทรล์มอนอเมอร์ตั้งแต่ร้อยละ 18-51 ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานยางที่มีความเป็นขั้วสูงมีคุณสมบัติเด่นคือ ทนน้ำมันปิโตรเลียมและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วชนิดต่างๆ (non-polar solvent) มีความต้านทานความร้อน (heat resistance) และความต้านทานการขัดถูดี (abrasion resistance) มีความทนทานในช่วงอุณหภูมิ -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส และมีความยืดหยุ่นสูง (flexibility) นิยมใช้ทำถุงมือที่ทนสารเคมีสำหรับงานอุตสาหกรรม และผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับน้ำมัน เช่น สายไฮดรอลิก (hydraulic hose) สายพานลำเลียง (conveyor belting) ภาพพิมพ์ (graphic arts) ที่ทนน้ำมัน และยางกันรั่วทุกชนิดที่ใช้ในระบบท่อ



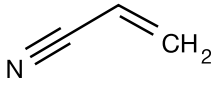


ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยางเอบีอาร์

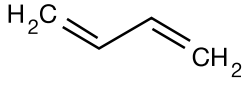
**acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) อะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (เอบีเอส)**

พอลิเมอร์ร่วม (ดู copolymer) ประกอบด้วยมอนอเมอร์ 3 ชนิดในสายโซ่พอลิเมอร์ คือ อะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile) บิวทาไดอีน (ดู butadiene) และสไตรีน (ดู styrene) โดยมักมีสไตรีนมอนอเมอร์เป็นองค์ประกอบหลักตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป สมบัติพอลิเมอร์ร่วมจึงประกอบด้วยสมบัติเด่นของมอนอเมอร์แต่ละชนิดคือ อะคริโลไนไทรล์ ทนสารเคมีและมีเสถียรภาพ

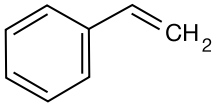
ทางความร้อน บิวทาไดอีน มีความเหนียวและทนแรงกระแทก สไตรีน มีความแข็งเกร็ง (rigidity) และมีความสามารถในการขึ้นรูป (processability) นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น โครงสร้างรถยนต์ และผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกมาก เช่น ของเล่น อุปกรณ์การแพทย์ อุปกรณ์ทำสวนและสนามหญ้า เครื่องเรือน บรรจุภัณฑ์เครื่องสำอาง กระเป๋าเดินทาง โทรศัพท์ หมวกกันน็อก เป็นต้น



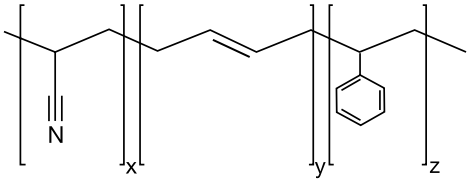

อะคริโลไนไทรล์




1,3-บิวทาไดอีน




สไตรีน




อะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (เอบีเอส)



ชิ้นส่วนรถยนต์



หมวกนิรภัย



กระเป๋าเดินทาง



ของเล่น

**adipic acid กรดอะดิพิก**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประเภทคาร์บอกซิลิก (carboxylic) ที่มีหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group, -COOH) 2 หมู่เชื่อมต่อกับคาร์บอน 4 อะตอมภายในโครงสร้าง (dicarboxylic acid) สูตรโมเลกุล $C_6H_{10}O_4$ ของแข็งสีขาว ละลายน้ำได้พอควร ผลิตได้ 2 วิธี วิธีแรกใช้สารตั้งต้นที่เป็นของผสมระหว่างไซโคลเฮกซานอล (ดู cyclohexanol) และไซโคลเฮกซาโนน (ดู cyclohexanone) ที่เรียกว่า คีโทน-แอลกอฮอล์ออยล์ หรือ เคเอออยล์ (ketone-alcohol oil, KA oil) โดยทำปฏิกิริยากับกรดไนทริก (nitric acid) ผลผลิตหลักคือกรดอะดิพิก และผลพลอยได้คือกรดกลูทาริก (glutaric acid) และกรดซักซินิก (succinic acid) ระหว่างการเกิดปฏิกิริยา



กรดอะดิพิก

$$C_6H_{11}OH + HNO_3 \longrightarrow C_6H_{10}O_4 + HNO_2 + H_2O$$

ไซโคลเฮกซานอล กรดไนทริก กรดอะดิพิก กรดไนทรัส น้ำ

อีกวิธีหนึ่งใช้บิวทาไดอีน (ดู butadiene) เป็นสารตั้งต้น ทำปฏิกิริยาคาร์บอนิเลชัน (ดู carbonylation) กับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และเมทานอล โดยมีไดโคบอลต์ออกทะคาร์บอนิล (dicobalt octacarbonyl) ในควิโนน (quinone) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$CH_2{=}CHCH{=}CH_2 + CO + CH_3OH \longrightarrow CH_3CH{=}CHCH_2COOCH_3$$

บิวทาไดอีน คาร์บอนมอนอกไซด์ เมทานอล เมทิล 3-เพนทาโนเอต

$$CH_3CH{=}CHCH_2COOCH_3 + CO + CH_3OH \longrightarrow CH_3OOC(CH_2)_4COOCH_3$$

เมทิล 3-เพนทาโนเอต คาร์บอนมอนอกไซด์ เมทานอล ไดเมทิลอะดิเพต

$$CH_3OOC(CH_2)_4COOCH_3 + 2H_2O \longrightarrow HOOC(CH_2)_4COOCH_3 + 2CH_3OH$$

ไดเมทิลอะดิเพต น้ำ กรดอะดิพิก เมทานอล

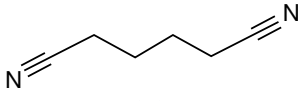
เป็นกรดที่สำคัญที่สุดในกลุ่มกรดที่มีหมู่คาร์บอกซิลิก 2 หมู่ในโครงสร้าง ส่วนใหญ่ใช้ผลิตไนลอน (ดู nylon) นอกจากนั้นใช้ผลิตพอลิยูริเทน (ดู polyurethane) และสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer)


พอลิยูริเทนโฟม


ไนลอน

**adiponitrile อะดิโพไนไทรล์**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประเภทไนไทรล์ (nitrile) ที่มีหมู่ไนไทรล์ (nitrile group, -CN) จำนวน 2 หมู่ เชื่อมต่อกับคาร์บอน 4 อะตอมภายในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $C_6H_8N_2$ ของเหลวหนืด ใส ไม่มีสี นิยมผลิตจากสารตั้งต้น บิวทาไดอีน (ดู butadiene) ทำปฏิกิริยาด้วยการเติมไฮโดรไซยาไนด์ (hydrocyanation) กับโซเดียมไซยาไนด์ (sodium cyanide, NaCN) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลไทรแอริลฟอสไฟต์ (nickel triaryl phosphite, $Ni[P(OAr)_3]_4$)



อะดิโพไนไทรล์

$$CH_2{=}CHCH{=}CH_2 + HCN \longrightarrow CH_3CH{=}CHCH_2CN$$

บิวทาไดอีน ไฮโดรไซยาไนด์ เพนทีนไนไทรล์

$$HCN \longrightarrow NCCH_2CH_2CH_2CH_2CN$$

อะดิโพไนไทรล์

อะดิโพไนไทรล์ส่วนใหญ่ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสาร 1,6-ไดอะมิโนเฮกเซน (1,6-diaminohexane) ที่ใช้สำหรับผลิตไนลอน

**adsorbent สารดูดซับ**

สารที่มีความสามารถในการยึดเกาะสารอื่นไว้บนพื้นผิว แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามความเป็นขั้วของพื้นผิว คือ สารดูดซับมีขั้ว เช่น ซีโอไลต์ (ดู zeolite) อะลูมินาที่มีรูพรุน (porous alumina) และซิลิกาเจล (silica gel) และสารดูดซับไม่มีขั้ว เช่น ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)



ซีโอไลต์



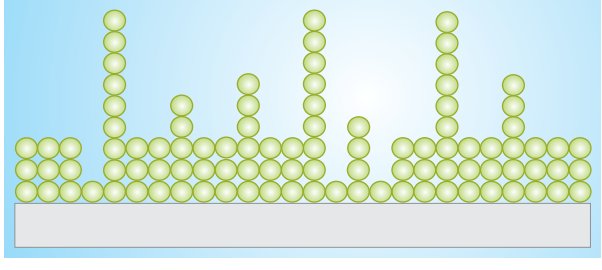
ซิลิกาเจล



ถ่านกัมมันต์

**adsorption การดูดซับ**

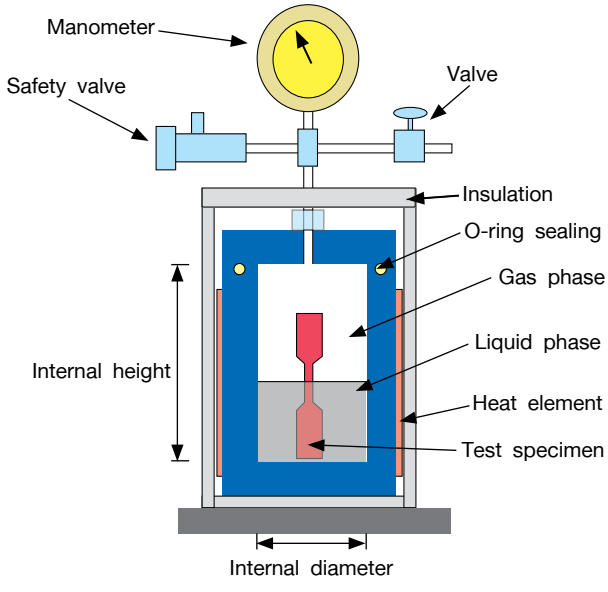
การสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสาร ที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) ซึ่งเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างสารที่อยู่ใน 2 สถานะใดๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ (colloid) ที่ถูกดูดจับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (ดู adsorbent) กระบวนการดูดซับเกิดขึ้นโดยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่อาจต่างชนิดกัน (adhesion) หรือโมเลกุลชนิดเดียวกัน (cohesion) ซึ่งอะตอมหรือโมเลกุลนั้นๆ จัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ (layer) บนพื้นผิวของสารดูดซับ โดยมีแรงดึงดูด 2 ประเภท คือ แรงดึงดูดแบบอ่อน (weak force) ระหว่างอะตอมหรือโมเลกุล ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals forces) หรือแรงลอนดอน (London forces) เป็นแรงดึงดูดที่ทำให้เกิดการดูดซับด้านบน และแรงดึงดูดแบบแข็งแรง (strong force) ระหว่างอะตอมหรือโมเลกุล ได้แก่ พันธะไอออนนิก (ionic force) และพันธะโลหะ (metallic force) เป็นแรงดึงดูดที่ทำให้เกิดการดูดซับชั้นใหม่บนพื้นผิวของสารดูดซับ



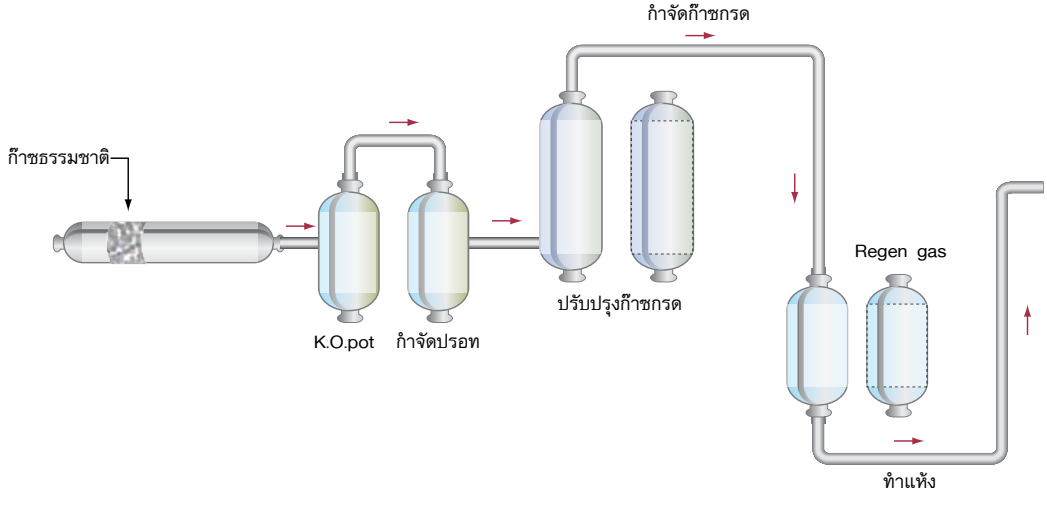
ภาพจำลองการดูดซับชนิดหลายชั้น
ที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของแข็งอย่างอิสระ

**ageing, aging การเสื่อมสมบัติตามอายุ**

การอบเร่งยางในระยะเวลาสั้นๆ เพื่อศึกษาการเสื่อมสภาพหรือการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของยางอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม เช่น ออกซิเจน ความร้อนจากแสงอาทิตย์ โอโซน หรือการสัมผัสกับของเหลวต่างๆ เช่น น้ำมัน น้ำ และตัวทำละลาย เป็นต้น เป็นผลทำให้โครงสร้างทางเคมีเปลี่ยนแปลง การทดสอบการเสื่อมสมบัติตามอายุ (aging test) ทำโดยใช้เตาอบ (oven) หลอดทดสอบ (test tube) หรือหม้อนึ่งอัดไอ เพื่อใช้ทำนายอายุการใช้งานของยาง




แผนภาพแสดงการทดสอบการเสื่อมสมบัติตามอายุ



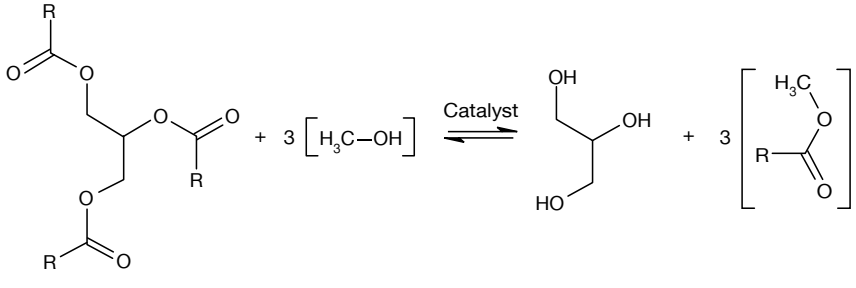

กระบวนการดูดซับสารปรอทจากก๊าซธรรมชาติโดยใช้สารดูดซับของแข็ง



ตู้ทดสอบการเร่งอายุ

**alcoholysis การแยกสลายด้วยแอลกอฮอล์, การเติมหรือแทนที่ด้วยหมู่แอลกอฮอล์**

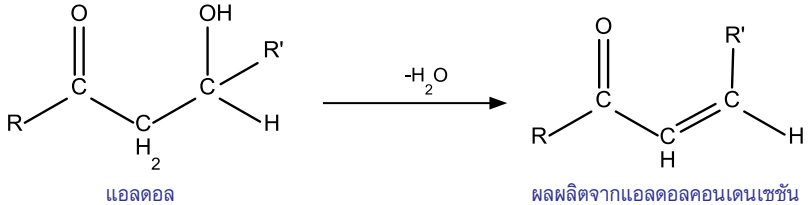
ปฏิกิริยาการแทนที่หรือกำจัดหมู่นิวคลีโอไฟล์ (nucleophile) ซึ่งเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอนภายในโมเลกุลของสารตั้งต้น โดยใช้หมู่นิวคลีโอไฟล์ของตัวทำละลายชนิดแอลกอฮอล์ (alcohol, ROH) ตัวอย่างปฏิกิริยาแยกสลายหรือแทนที่ด้วยแอลกอฮอล์ ได้แก่ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล (biodiesel) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการแลกเปลี่ยนหมู่แอลกอฮอล์ (-OR) ระหว่างสารเอสเทอร์ เช่น ไทรกลีเซอไรด์ กับแอลกอฮอล์ชนิดอื่น เช่น เมทานอล และเอทานอล โดยได้เป็นผลผลิตเอสเทอร์ชนิดใหม่คือ เมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ ตามลำดับ ในกรณีที่ตัวทำละลายคือ น้ำและแอมโมเนีย เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ไฮโดรไลซิส (ดู hydrolysis) และแอมโมโนไลซิส (ammonolysis) ตามลำดับ




ไทรกลีเซอร์ไรด์ เมทานอล กลีเซอรอล เมทิลเอสเทอร์

**aldol condensation แอลดอลคอนเดนเซชัน**

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารไฮโดรคาร์บอน ที่มีพันธะคู่อยู่ในตำแหน่งแอลฟา (alpha) และเบตา (beta) ของหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group, -CO-) โดยการขจัดหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) และไฮโดรเจนที่ตำแหน่งแอลฟาของหมู่คาร์บอนิล ออกจากโมเลกุลของแอลดอลในรูปของโมเลกุลน้ำ ทำให้เกิดพันธะคู่ในตำแหน่งแอลฟาและเบตาของหมู่คาร์บอนิล โดยใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

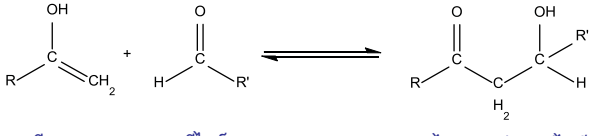



แอลดอล ผลผลิตจากแอลดอลคอนเดนเซชัน

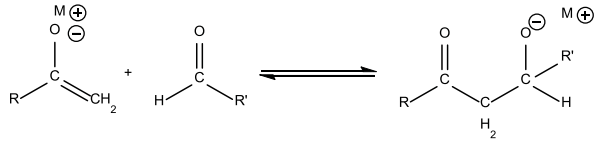
**แอลดอลมาจากคำว่าแอลดีไฮด์ + แอลกอฮอล์*

**aldolization การสังเคราะห์แอลดอล**

การสังเคราะห์ผลผลิตที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบคาร์บอนิล (แอลดีไฮด์หรือคีโทน) กับสารอีนอล (enol) ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอลคีน (ดู alkene) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl, -OH) เกาะอยู่บนคาร์บอนที่มีพันธะคู่เชื่อมอยู่ หรืออีโนเลตไอออน (enolate ion) ซึ่งเป็นสารอีนอลที่ถูกดึงไฮโดรเจนออกจากหมู่ไฮดรอกซิล จึงเกิดประจุลบขึ้น โดยใช้กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลผลิตที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในตำแหน่งเบตา (beta) ของหมู่คาร์บอนิล (C=O) หากสารตั้งต้นคือแอลดีไฮด์ เรียกผลผลิตนี้ว่า เบตาไฮดรอกซีแอลดีไฮด์ (β-hydroxy aldehyde) แต่ถ้าใช้คีโทนเป็นสารตั้งต้น เรียกว่า เบตาไฮดรอกซีคีโทน (β-hydroxyketone)



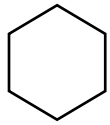
อีนอล แอลดีไฮด์ เบตาไฮดรอกซีแอลดีไฮด์



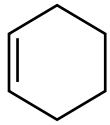
อีโนเลต แอลดีไฮด์ เมทัลเบตาอีโนเลตแอลดีไฮด์

**alicyclics, alicyclic hydrocarbon แอลิไซคลิกส์, ไฮโดรคาร์บอนชนิดแอลิไซคลิก**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นวงหรือโซ่ปิด เป็นได้ทั้งสารประกอบอิ่มตัวที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยว ได้แก่ ไซโคลแอลเคน เช่น ไซโคลเฮกเซน (ดู cyclohexane) หรือเป็นสารประกอบไม่อิ่มตัวที่เชื่อมต่อด้วยพันธะคู่อย่างน้อยหนึ่งคู่ในโครงสร้าง ได้แก่ ไซโคลแอลคีน เช่น ไซโคลเฮกซีน (ดู cyclohexene) ตัวอย่างของสารแอลิไซคลิกส์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้แก่ ไซโคลเฮกเซนสังเคราะห์ไซโคลเฮกซานอล (ดู cyclohexanol) และไซโคลเฮกซาโนน (ดู cyclohexanone)



ไซโคลเฮกเซน



ไซโคลเฮกซีน

**aliphatics, aliphatic hydrocarbon แอลิเฟทิกส์, ไฮโดรคาร์บอนชนิดแอลิเฟทิก**

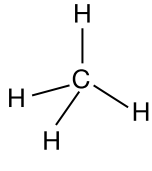
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นโซ่ตรง (อะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นโซ่ตรง) หรือโซ่กิ่ง (บางอะตอมของคาร์บอนแยกตัวออกจากสายโซ่หลักออกมา) แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของพันธะในโครงสร้างคือ แอลเคน (ดู alkane) ที่มีพันธะเดี่ยวอยู่ภายในโครงสร้าง แอลคีน (ดู alkene) ที่มีพันธะคู่อยู่ภายในโครงสร้าง และแอลไคน์ (ดู alkyne) ที่มีพันธะสามอยู่ภายในโครงสร้าง สารแอลิเฟทิกส์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแบ่งไปตามประเภท ประเภทแอลเคนคือ อีเทน (ดู ethane) และโพรเพน (ดู propane) ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นปิโตรเคมี ประเภทแอลคีนคือ เอทิลีน (ดู ethylene) โพรพิลีน (ดู propylene) และบิวทาไดอีน (ดู butadiene) ใช้เป็นปิโตรเคมีขั้นต้นสำหรับผลิตเม็ดพลาสติกและยางสังเคราะห์ต่างๆ ประเภทแอลไคน์คือ อะเซทิลีน (ดู acetylene) ใช้ในการผลิตสารเคมีต่างๆ

**alkane แอลเคน**

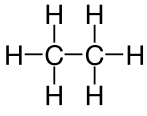
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัวที่ภายในโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด มีอีกชื่อหนึ่งว่า พาราฟินิก-ไฮโดรคาร์บอน (paraffinic hydrocarbon) หรือ พาราฟิน (ดู paraffin) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปคือ $C_nH_{2n+2}$ เมื่อ n = 1, 2, 3,... เช่น

เมื่อ n = 1 จะได้มีเทน (ดู methane) คือ $CH_4$
n = 2 จะได้อีเทน (ดู ethane) คือ $C_2H_6$
n = 3 จะได้โพรเพน (ดู propane) คือ $C_3H_8$

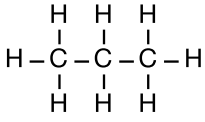
ดังนั้น เมื่อเพิ่มคาร์บอน 1 อะตอม จะทำให้ไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น 2 อะตอม สารประกอบแอลเคน (ดู alkane) มีการพบได้ทั้งในธรรมชาติ เช่น ในน้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติ ตลอดจนได้จากการสังเคราะห์ตัวอย่างของแอลเคนที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้แก่ อีเทน และโพรเพน ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทิลีน (ดู ethylene) และโพรพิลีน (ดู propylene) ตามลำดับ



มีเทน



อีเทน



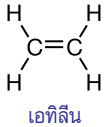
โพรเพน

**alkene แอลคีน**

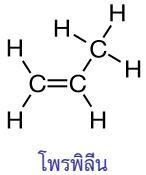
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัวที่ภายในโมเลกุลประกอบด้วยพันธะเดี่ยวเป็นพันธะหลัก และมีพันธะคู่เป็นองค์ประกอบอยู่อย่างน้อย 1 พันธะ มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โอเลฟิน (ดู olefin) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปคือ $C_nH_{2n}$ เมื่อ $n \geq 2$ เช่น

เมื่อ n = 2 จะได้เอทิลีน (ดู ethylene) คือ $C_2H_4$
n = 3 จะได้โพรพิลีน (ดู propylene) คือ $C_3H_6$

สารประกอบแอลคีนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ การแยกก๊าซธรรมชาติ หรือกระบวนการแตกสลายโมเลกุลในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ตัวอย่างของแอลคีนที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้แก่ เอทิลีน โพรพิลีนและบิวทาไดอีน (ดู butadiene) เอทิลีนใช้ผลิตพอลิเอทิลีน (ดู polyethylene) และสารเคมีอื่นๆ เช่น เอทิลีนออกไซด์ (ดู ethylene oxide) เอทิลีนไกลคอล (ดู ethylene glycol) และเอทิลเบนซีน (ดู ethyl benzene) โพรพิลีนใช้ผลิตพอลิโพรพิลีน (polypropylene) อะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile) และคิวมีน (ดู cumene) บิวทาไดอีนใช้ผลิตยางบิวทาไดอีน (ดู butadiene rubber) และพลาสติกต่างๆ เช่น พอลิอะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน เป็นต้น



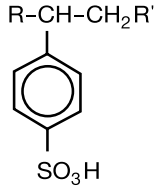
เอทิลีน



โพรพิลีน

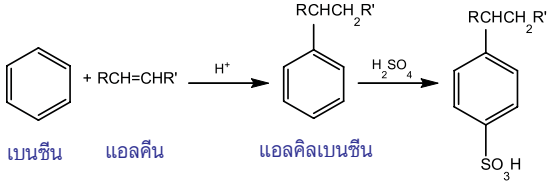
**alkyl benzenesulfonate แอลคิลเบนซีนซัลโฟเนต**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีหมู่แอลคิล (alkyl group, R) ที่มีคาร์บอน 10-14 อะตอม และหมู่ซัลโฟนิก (sulfonic group, $-SO_3H$) เกาะอยู่บนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene)



แอลคิลเบนซีนซัลโฟเนต

สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาฟรีเดล-คราฟท์ (ดู Friedel-Crafts reaction) ที่มีเบนซีนเป็นสารตั้งต้น โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



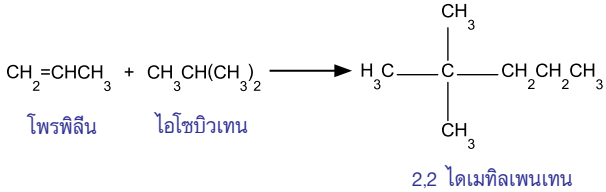

เบนซีน แอลคีน แอลคิลเบนซีน

แอลคิลเบนซีนซัลโฟเนต

เป็นส่วนผสมหลักในผงซักฟอก ทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิว (surfactant)

**alkylation การเติมหมู่แอลคิล**

กระบวนการสังเคราะห์สารแอลไคเลต (alkylate) ปฏิกิริยารวมโมเลกุลของสารประกอบแอลเคน (ดู alkane) กับแอลคีน (ดู alkene) โดยเติมหมู่แอลคิล (alkyl group, R) ของสารประกอบแอลเคนเข้าไปที่พันธะคู่ของคาร์บอนของสารประกอบแอลคีน มีกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้สารประกอบแอลเคนที่มีโมเลกุลใหญ่และมีโครงสร้างแบบกิ่งมากขึ้น




โพรพิลีน ไอโซบิวเทน

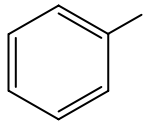
2,2 ไดเมทิลเพนเทน



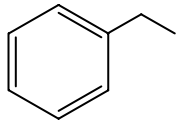

2,2,3 ไทรเมทิลบิวเทน

**alkylbenzene แอลคิลเบนซีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีหมู่แอลคิล (alkyl group, R) ยึดเกาะบนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) เช่น เมทิลเบนซีน หรือทอลิวอีน ที่มีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) เป็นหมู่แอลคิลที่เกาะบนวงแหวน และเอทิลเบนซีน (ดู ethyl benzene) ที่มีหมู่เอทิล (ethyl group, $-C_2H_5$) เป็นหมู่แอลคิลที่เกาะบนวงแหวน เป็นต้น



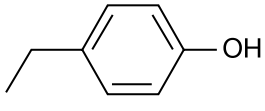
เมทิลเบนซีนหรือทอลิวอีน



เอทิลเบนซีน

**alkylphenol แอลคิลฟีนอล**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีหมู่แอลคิล (alkyl group, R) เกาะอยู่บนโมเลกุลของฟีนอล (ดู phenol) เช่น โพรพิล-ฟีนอล (propyl phenol) บิวทิลฟีนอล (butyl phenol) ออกทิลฟีนอล (octyl phenol) และโนนิลฟีนอล (nonyl phenol) เป็นต้น แต่ถ้ามีหมู่แอลคิลเกาะมากกว่า 3 หมู่ขึ้นไป เรียกว่า แอลคิลฟีนอลโซ่ยาว (long chain alkylphenols (LCAPs))




เอทิลฟีนอล




โนนิลฟีนอล

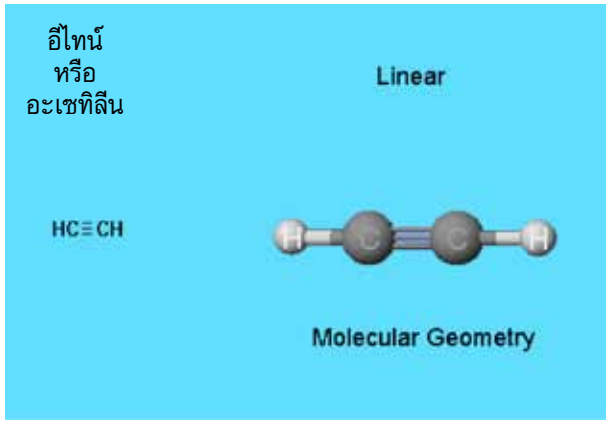
แอลคิลฟีนอลโซ่ยาวเป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตผงซักฟอก สารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น พอลิเมอร์ หรือ เรซิน

**alkyne แอลไคน์**

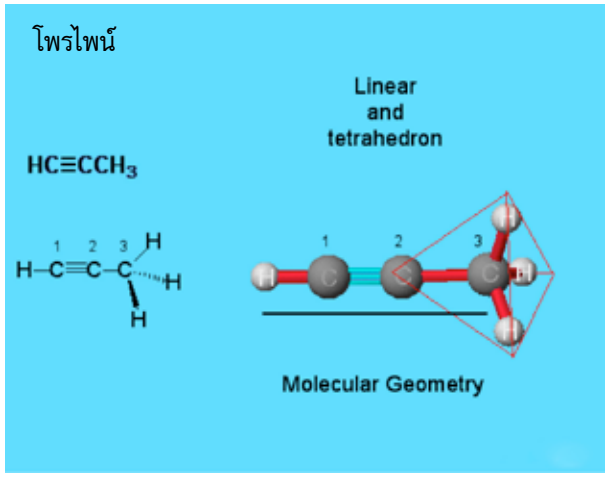
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว ภายในโมเลกุลประกอบด้วยพันธะเดี่ยวเป็นพันธะหลัก และมีพันธะสามเป็นองค์ประกอบอยู่อย่างน้อย 1 พันธะ มีสูตรโครงสร้างทั่วไป คือ $C_nH_{2n-2}$ เมื่อ $n \geq 2$ เช่น

เมื่อ n = 2 จะได้อีไทน์ (ethyne) หรืออะเซทิลีน คือ $C_2H_2$
n = 3 จะได้โพรไพน์ (propyne) คือ $C_3H_4$

ตัวอย่างของแอลไคน์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้แก่ อะเซทิลีน (ดู acetylene) เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไวนิลคลอไรด์ (ดู vinyl chloride) และบิวทาไดอีน (ดู butadiene) เป็นต้น



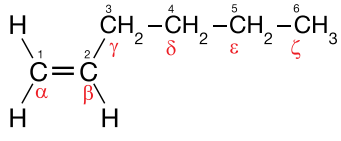

อีไทน์




โพรไพน์

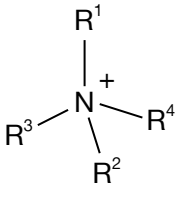
**allylic polymerization การเกิดพอลิเมอร์ประเภทแอลลิล**
การสังเคราะห์พอลิเมอร์ของสารประกอบจำพวกแอลลิล (allyl) ($CH_2$=CH-$CH_2$-Y) เมื่อ Y เป็นหมู่ฟังก์ชัน เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นต้น โดยทั่วไป จำเป็นต้องเติมสารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนอนุมูลอิสระ (free radical) ในการเกิดปฏิกิริยา เช่นเดียวกับการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ (free radical polymerization)

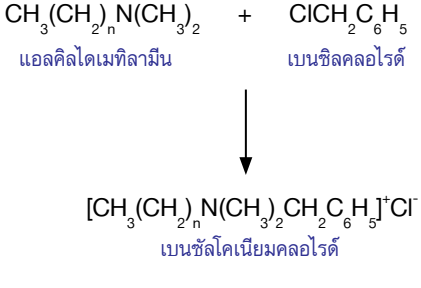
**alpha olefin แอลฟาโอเลฟิน**
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอลคีน (ดู alkene) ที่มีตำแหน่งของพันธะคู่ติดกับคาร์บอนอะตอมแรกในโมเลกุล เรียกตำแหน่งของคาร์บอนนี้ว่า ตำแหน่งแอลฟา (alpha) แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ แบบเส้นตรง (linear) หรือแบบกิ่ง (branch) พันธะคู่ที่ตำแหน่งแอลฟามีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาสูง สามารถเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์สารเคมีอื่นๆ ได้ง่าย



ตัวอย่างแอลฟาโอเลฟิน 1-เฮกซีน (1-hexene)

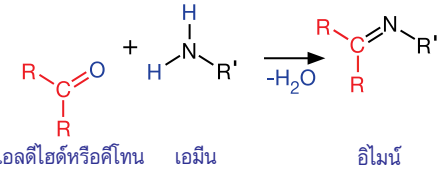
**amination การเติมหมู่เอมีน**
การเติมหมู่เอมีน (ดู amine) เข้าไปในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอีกโมเลกุลหนึ่ง โดยให้ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย (ดู ammonia) หรือสารประกอบเอมีนต่างๆ ด้วยปฏิกิริยาดังนี้
1) การเติมหมู่แอลคิล (ดู alkylation) เป็นการเติมหมู่แอลคิล (alkyl group, R) ลงไปแทนที่อะตอมไฮโดรเจนในหมู่เอมีน ด้วยการทำปฏิกิริยาระหว่างเอมีนกับหมู่แอลคิล เพื่อผลิตเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium salt)



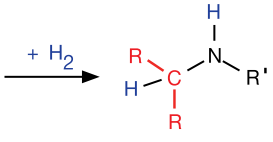


แอลคิลไดเมทิลามีน เบนซิลคลอไรด์ เบนซัลโคเนียมคลอไรด์

2) การเติมหมู่เอมีนแบบรีดักทิฟ (reductive amination) หรือการเติมหมู่แอลคิลแบบรีดักทีฟ (reductive alkylation) เป็นปฏิกิริยาที่สารประกอบแอลดีไฮด์ (aldehyde) และคีโทน (ketone) เปลี่ยนเป็นสารประกอบเอมีน (ดู amine)



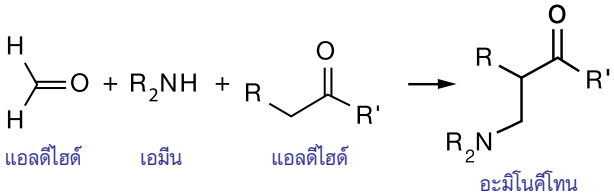
แอลดีไฮด์หรือคีโทน เอมีน อิไมน์



สารประกอบเอมีน

3) ปฏิกิริยาของมานนิช (Mannich reaction) เป็นปฏิกิริยาการสังเคราะห์อะมิโนคีโทน (aminoketone) หรืออะมิโน-แอลดีไฮด์ (aminoaldehyde) ซึ่งเป็นสารที่มีหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group, C=O) และหมู่เอมีนอยู่คนละด้านของสายโซ่โมเลกุล สังเคราะห์จากสารตั้งต้นคีโทนหรือแอลดีไฮด์

กรณีแอลดีไฮด์เป็นสารตั้งต้น



แอลดีไฮด์ เอมีน แอลดีไฮด์ อะมิโนคีโทน

**amine เอมีน**

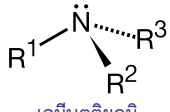
สารประกอบอินทรีย์หรือหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ที่ประกอบด้วยอะตอมไนโตรเจนที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone-pair electron) จำนวน 1 คู่ เชื่อมต่อกับอะตอมไฮโดรเจน ($-NH_2$) หรือหมู่แทนที่ต่างๆ เช่น หมู่แอลคิล (alkyl group) หมู่แอริล (aryl group) และอนุพันธ์หนึ่งของแอมโมเนีย (ammonia derivatives) เอมีนสามารถแบ่งประเภทตามจำนวนหมู่แทนที่ที่เกาะอยู่กับอะตอมไนโตรเจน คือ หมู่แทนที่ 1 ตัว เรียกว่า เอมีนปฐมภูมิ (primary amine) หมู่แทนที่ 2 ตัว เรียกว่า เอมีนทุติยภูมิ (secondary amine) และหมู่แทนที่ 3 ตัว เรียกว่า เอมีนตติยภูมิ (tertiary amine) สารประกอบเอมีนที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะมิโน (amino acid) เมทิลเอมีน (methylamine) และแอนิลีน (ดู aniline)



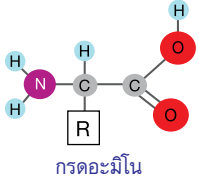
เอมีนปฐมภูมิ



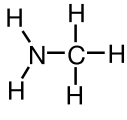
เอมีนทุติยภูมิ



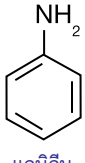
เอมีนตติยภูมิ



กรดอะมิโน



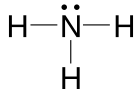
เมทิลเอมีน



แอนิลีน

**ammonia แอมโมเนีย**

สารประกอบอนินทรีย์ (inorganic compound) ชนิดหนึ่งที่โครงสร้างประกอบด้วยอะตอมไนโตรเจน เชื่อมต่อกับอะตอมไฮโดรเจน 3 อะตอม สูตรโมเลกุล $NH_3$



แอมโมเนีย

ก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ละลายน้ำได้ดี มีสมบัติเป็นด่าง สังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซไนโตรเจนกับก๊าซไฮโดรเจน

$$3H_2 + N_2 \longrightarrow 2NH_3$$

ไฮโดรเจน ไนโตรเจน แอมโมเนีย

ก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกทำให้เย็นเพื่อให้ควบแน่นเป็นของเหลว แอมโมเนียปริมาณร้อยละ 85 ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยแอมโมเนียมไนเทรต (ammonium nitrate) และปุ๋ยยูเรีย (urea) ส่วนที่เหลือใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารเคมีต่างๆ เช่น กรดไนทริก (nitric acid) คาโพรแลกแทม (ดู caprolactam) รวมถึงใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมชุบแข็งโลหะ และใช้เป็นสารทำความเย็น (refrigerant)

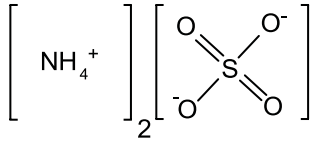


แอมโมเนีย


ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเทรต



**ammonium sulfate แอมโมเนียมซัลเฟต**
เกลืออนินทรีย์ชนิดหนึ่ง (inorganic salt) สูตรโมเลกุล $(NH_4)_2SO_4$



แอมโมเนียมซัลเฟต

ของแข็งสีขาว อาจอยู่ในรูปเม็ดหรือผลึก ละลายน้ำได้ดี สังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนีย (ดู ammonia) และกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid)



การใช้ปุ๋ยยูเรียในการเกษตร

$$2NH_3 + H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4$$

แอมโมเนีย กรดซัลฟิวริก แอมโมเนียมซัลเฟต

หรือเป็นผลพลอยได้จากการผลิตสารอื่นๆ เช่น คาโพรแลกแทม (ดู caprolactam) อะคริลาไมด์ (ดู acrylamide) เป็นต้น ส่วนใหญ่ใช้เป็นปุ๋ยเคมี



คาโพรแลกแทม



แอมโมเนียมซัลเฟต

**ammonolysis การแยกสลายด้วยแอมโมเนีย, แอมโมโนไลซิส**
การแทนที่หรือกำจัดหมู่นิวคลีไอไฟล์ (nucleophile) ซึ่งเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอนภายในโมเลกุลของสาร ด้วยหมู่นิวคลีโอไฟล์ของตัวทำละลายแอมโมเนีย (ดู ammonia) ตัวอย่างปฏิกิริยาแอมโมโนไลซิส ได้แก่ ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทเอไมด์ (amide) โดยใช้สารตั้งต้นกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) และเอสเทอร์ (ester) ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียภายใต้ภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยากรดหรือเบส เช่น การสังเคราะห์เมทิลเอไมด์ (methylamide) จากสารตั้งต้นกรดแอซีติก (ดู acetic acid)

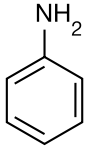
$$CH_3COOH + NH_3 \longrightarrow CH_3CONH_2 + H_2O$$
กรดแอซีติก แอมโมเนีย เมทิลเอไมด์ น้ำ

ในกรณีที่ใช้น้ำและแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ไฮโดรไลซิส (ดู hydrolysis) และแอลกอฮอไลซิส (ดู alcoholysis) ตามลำดับ

**ammoxidation การสังเคราะห์ไนไทรล์, แอมมอกซิเดชัน**
ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทไนไทรล์ (nitrile, -CN) โดยใช้แอมโมเนีย (ดู ammonia) และก๊าซออกซิเจน ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นแอลคีน (ดู alkene) บางครั้งเรียกว่า กระบวนการโซไฮโอ (sohio process) ตัวอย่าง เช่น กระบวนการสังเคราะห์อะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile) จากสารตั้งต้นโพรพิลีน (ดู propylene)

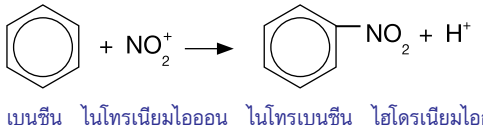
$$CH_3CH{=}CH_2 + \tfrac{3}{2}O_2 + NH_3 \longrightarrow NCCH{=}CH_2 + 3H_2O$$
โพรพิลีน ออกซิเจน แอมโมเนีย อะคริโลไนไทรล์ น้ำ

**aniline, phenylamine, aminobenzene แอนิลีน, เฟนิลามีน, อะมิโนเบนซีน**
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ประเภทแอโรแมติกเอมีน (aromatic amine) ที่มีหมู่เอมีน (amine, $-NH_2$) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) สูตรโมเลกุล $C_6H_7N$

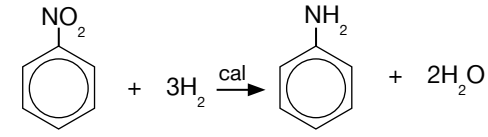


แอนิลีน

ของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นเหม็นคล้ายปลาเน่า ไวไฟ สังเคราะห์จากสารตั้งต้นเบนซีน (benzene) ทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน



เบนซีน ไนโทรเนียมไอออน ไนโทรเบนซีน ไฮโดรเนียมไอออน




ไนโทรเบนซีน ไฮโดรเจน แอนิลีน น้ำ

ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเมทิลไดเฟนิลไดไอโซไซยาเนต (methyl diphenyl diisocyanate (MDI)) สารตั้งต้นสำหรับการผลิตพอลิยูริเทน (ดู polyurethane) สารเคมีสำหรับกระบวนการขึ้นรูปยาง ส่วนผสมของยาฆ่าแมลง และสี



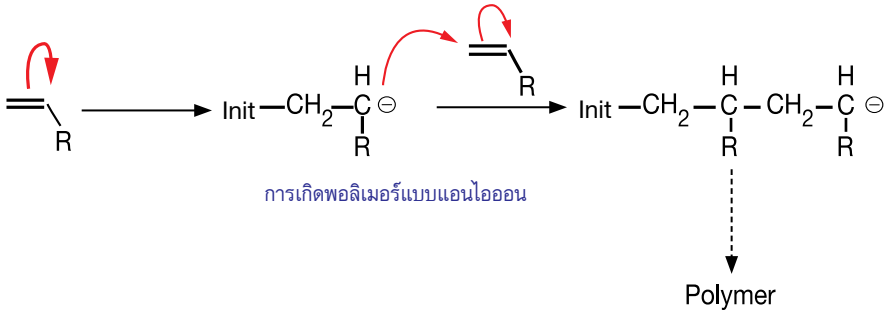
การพ่นยาฆ่าแมลง

**aniline-formaldehyde resin เรซินแอนิลีน-ฟอร์มัลดีไฮด์**

พอลิเมอร์ในกลุ่มแอมิโนพลาสติก สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการควบแน่นของฟอร์มัลดีไฮด์ (ดู formaldehyde) กับแอนิลีน (ดู aniline) ในสารละลายกรด เป็นเทอร์มอพลาสติกที่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นบางและรูปแบบอื่นๆ ในลักษณะโทนสีเข้ม และน้ำตาลแดง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติทางไดอิเล็กทริกสูง ทำให้เสถียรต่อการใช้งานภายใต้ภาวะที่มีความชื้นสูง มีความเสถียรแต่ไม่ทนต่อกรดแก่ ต่อสารเคมี แสงอัลตราไวโอเลต สภาวะอากาศต่างๆ ด่าง และไม่ละลายในสารละลายอินทรีย์ทั่วไป

**anionic polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบแอนไอออน**

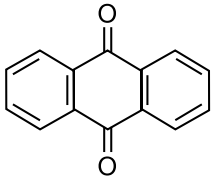
การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบหนึ่งของการเกิดพอลิเมอร์แบบเติม (ดู addition polymerization) ประเภทที่มีตำแหน่งกัมมันต์ (active site) เป็นแอนไอออน (anion) หรือไอออนที่มีประจุลบ มอนอเมอร์เป็นประเภทไวนิล ($CH_2$=CH-X) ซึ่งมีหมู่แทนที่ (X) เป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอน สารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) ที่ใช้มีประจุเป็นลบ ปฏิกิริยาการเกิดสายโซ่ไม่มีขั้นตอนการสิ้นสุด (termination) พอลิเมอร์ที่ได้มีประจุลบที่ปลายโซ่เป็นตำแหน่งกัมมันต์ (active site) ซึ่งมีความเสถียร และยังคงดำรงอยู่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปเรื่อยๆ เรียกว่าพอลิเมอร์ที่ยังโตได้ (living polymer) นิยมใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่ม (block copolymer) เช่น ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน (styrene-butadiene rubber (SBR)) เป็นต้น




การเกิดพอลิเมอร์แบบแอนไอออน

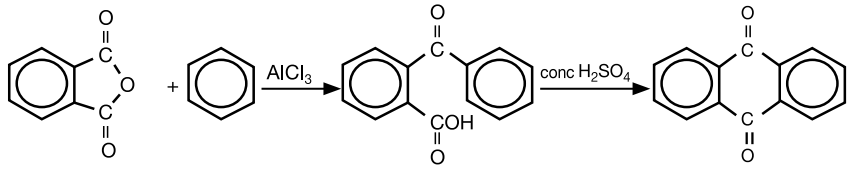
**anthraquinone แอนทราควิโนน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ประเภทควิโนน (quinone) ที่มีวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) จำนวน 2 วง เชื่อมต่อกับวงแหวนคาร์บอนหกเหลี่ยมที่มีหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group, -CO-) แทนที่อะตอมไฮโดรเจนภายในโครงสร้าง 2 หมู่ เนื่องจากมีหมู่คาร์บอนิล 2 หมู่อยู่ภายในโครงสร้าง จึงสามารถพิจารณาให้อยู่ในกลุ่มของสารประกอบไดคีโทน (diketone) ได้ด้วย



แอนทราควิโนน

เป็นผลึกของแข็ง สีเหลือง ละลายน้ำได้น้อย แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ร้อน สังเคราะห์จากสารตั้งต้นเบนซีนทำปฏิกิริยาควบแน่นชนิดฟรีเดล-คราฟท์ (Friedel-Craft condensation) กับพทาลิกแอนไฮไดรด์ (ดู phthalic anhydride) อุณหภูมิ 25-60 องศาเซลเซียส โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminium chloride, $AlCl_3$)




พทาลิกแอนไฮไดรด์ เบนซีน กรดเบนโซอิลเบนโซอิก แอนทราควิโนน

ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสีสังเคราะห์ต่างๆ เช่น แอลิซาริน (alizarin) ที่ให้สีแดง และใช้เป็นสารฟอกเยื่อกระดาษ



แอนทราควิโนน



แอลิซาริน

**aromatic polyamide, aromatic nylon, aramid แอโรแมติกพอลิเอไมด์, แอโรแมติกไนลอน, แอรามิด**

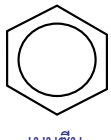
พอลิเอไมด์ที่มีหน่วยวงแหวนแอโรแมติก (aromatic ring) อยู่ในสายโซ่หลัก ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีความเป็นระเบียบสูง มีความแข็งตึง (stiffness) นิยมใช้ผลิตเป็นเส้นใยสังเคราะห์ ตัวอย่างเช่น เคฟลาร์ เส้นใยที่มีความแข็งแรงสูง (high strength fiber) ใช้ทำเสื้อกันกระสุน (bulletproof vest) และใช้เสริมแรงในโครงสร้างวัสดุเชิงประกอบ (composite structures)



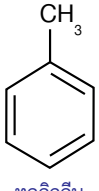
เสื้อกันกระสุน

**aromatics แอโรแมติกส์**

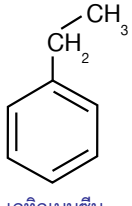
กลุ่มของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวประเภทหนึ่ง โครงสร้างเป็นคาร์บอนจำนวน 6 อะตอม ต่อกันเป็นวงแหวนรูปหกเหลี่ยม ความไม่อิ่มตัวเกิดจากอิเล็กตรอนพันธะคู่วิ่งอยู่ภายในวงแหวน แต่การแสดงภาพโครงสร้างโมเลกุลอาจแทนวงแหวนคาร์บอนด้วยรูปหกเหลี่ยม และแทนอิเล็กตรอนพันธะคู่ด้วยวงกลม หรือแทนด้วยพันธะเดี่ยวและพันธะคู่สลับกัน เบนซีน (benzene, $C_6H_6$) เป็นแอโรแมติกส์ขนาดโมเลกุลเล็กที่สุด สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่แอลคิล (alkyl group) หรือหมู่ฟังก์ชันต่างๆ (functional group) ได้แอโรแมติกส์ชนิดใหม่ โดยหมู่แทนที่เหล่านี้อาจจะแทนที่เพียงหนึ่งตำแหน่ง สองตำแหน่ง หรือมากที่สุดสามตำแหน่ง แอโรแมติกส์สำคัญที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบและใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี มี 4 ชนิด คือ เบนซีน (ดู benzene) ทอลิวอีน (toluene) เอทิลเบนซีน (ดู ethyl benzene) และพาราไซลีน (ดู para-xylene) เนื่องจากสารกลุ่มนี้มีกลิ่นหอม จึงมีชื่อว่า “แอโรแมติกส์” มาจากคำว่า “aroma” ในภาษากรีก ที่แปลว่า “กลิ่นหอม”



เบนซีน




ทอลิวอีน




เอทิลเบนซีน

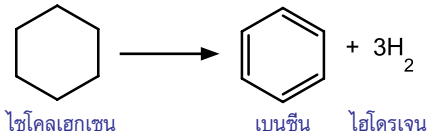



พาราไซลีน

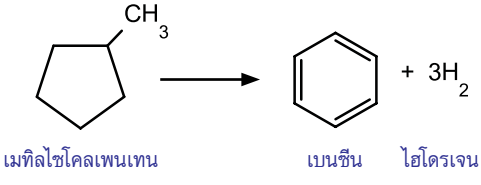
**aromatization การสังเคราะห์สารแอโรแมติกส์**

กระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนใดๆ ที่ไม่ใช่สารประกอบแอโรแมติก (non-aromatic hydrocarbon) ให้เป็นสารที่มีโครงสร้างแอโรแมติกส์ เช่น เบนซีน (ดู benzene) ทอลิวอีน (ดู toluene) และไซลีน (ดู xylene) เป็นต้น ซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี การสังเคราะห์ทำได้โดยใช้กระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างของสารตั้งต้นต่างๆ กัน ดังนี้

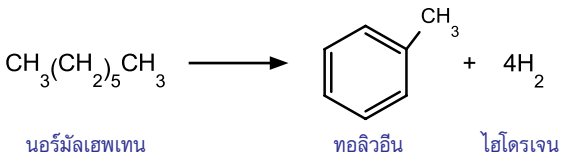
1) กระบวนการดึงไฮโดรเจนออกโดยตรง (direct dehydrogenation) เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแนฟทีนหรือไซโคลแอลเคน (ดู naphthene, cycloalkane) หรือที่เป็นวงแหวนคาร์บอนหกเหลี่ยม ให้เป็นสารประกอบแอโรแมติกส์ โดยดึงอะตอมไฮโดรเจนออกจากโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนสารตั้งต้นไซโคลเฮกเซน (ดู cyclohexane) ให้เป็นเบนซีน



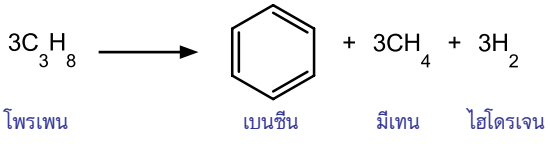

2) กระบวนการเปลี่ยนไอโซเมอร์ร่วมกับการดึงไฮโดรเจน (dehydroisomerization) เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทไซโคลแอลเคน หรือแนฟทีนที่ไม่ใช่วงแหวนคาร์บอนหกเหลี่ยม ให้เป็นสารประกอบแอโรแมติกส์ โดยเปลี่ยนไอโซเมอร์ของสารตั้งต้นให้เป็นวงแหวนคาร์บอนหกเหลี่ยม พร้อมกับดึงอะตอมไฮโดรเจนออกจากโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนสารตั้งต้นเมทิลไซโคลเพนเทน (methylcyclopentane) ให้เป็นเบนซีน




3) กระบวนการปิดวงร่วมกับการดึงไฮโดรเจน (dehydrocyclization) เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดแอลิเฟทิก (aliphatic hydrocarbon) ที่มีโครงสร้างเป็นโซ่ตรง ให้เป็นสารประกอบแอโรแมติกส์ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนนอร์มัลเฮพเทน (n-heptane) ซึ่งเป็นสายโซ่ตรงของคาร์บอน 7 อะตอม ให้เป็นทอลิวอีน (toluene)

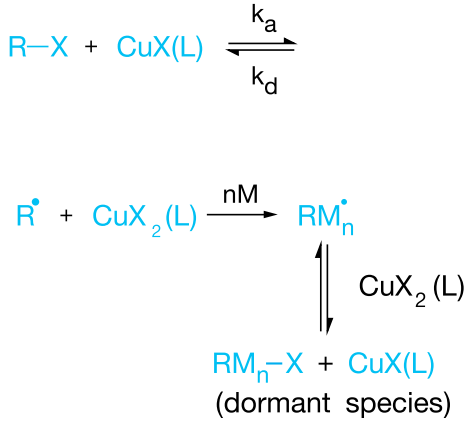



4) กระบวนการควบแน่นที่อุณหภูมิสูง (high temperature condensation) เป็นกระบวนการควบแน่นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายสั้นหรือโมเลกุลเล็กหลายๆ โมเลกุล ให้เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนแอโรแมติกส์ โดยใช้ความร้อนสูงประมาณ 600-800 องศาเซลเซียส ตัวอย่างเช่น การควบแน่นสารตั้งต้นโพรเพน (ดู propane) 3 โมเลกุล ให้เป็นเบนซีน ให้ผลพลอยได้คือ มีเทน (ดู methane) และก๊าซไฮโดรเจน




**atom transfer radical polymerization (ATRP) การเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระถ่ายโอนอะตอม (เอทีอาร์พี)**

การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบหนึ่งของการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ (ดู free radical polymerization) โดยใช้สารประกอบของโลหะแทรนซิชัน ตัวอย่างของสารดังกล่าว เช่น คอปเปอร์ (I) แฮไลด์ (CuX) เป็นสารที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอนเพื่อทำให้เกิดอนุมูลอิสระของออร์แกนิกแฮไลด์ (สารเริ่มปฏิกิริยาแฮไลด์) (R-X) กลายไปเป็น R• และเกิดการถ่ายโอน X ไปยังสารประกอบโลหะแทรนซิชัน จากนั้น R• จะเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ (ดู monomer) เพื่อเริ่มเกิดพอลิเมอร์




กลไกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระถ่ายโอนอะตอม

เมื่อ L คือ ลิแกนด์ที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเกลือของทองแดง และทำให้เกิดการละลายในสารอินทรีย์

$K_a$ คือ ค่าคงตัวสำหรับอัตราการกระตุ้นสารเริ่มปฏิกิริยาแฮไลด์

$K_d$ คือ ค่าคงตัวสำหรับอัตราการกระตุ้นสารเริ่มปฏิกิริยาแฮไลด์ไม่ว่องไว

R-X คือ ออร์แกนิกแฮไลด์ (สารเริ่มปฏิกิริยาแฮไลด์)

$R^{\bullet}$ คือ อนุมูลที่ว่องไวซึ่งจะเริ่มทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์

M คือ มอนอเมอร์

ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์นี้คือ พอลิอะคริลาไมด์ (ดู poly(acrylamide)) พอลิสไตรีน (ดู polystyrene) และพอลิเมทิลเมทราคริเลต (ดู poly(methyl methacrylate))

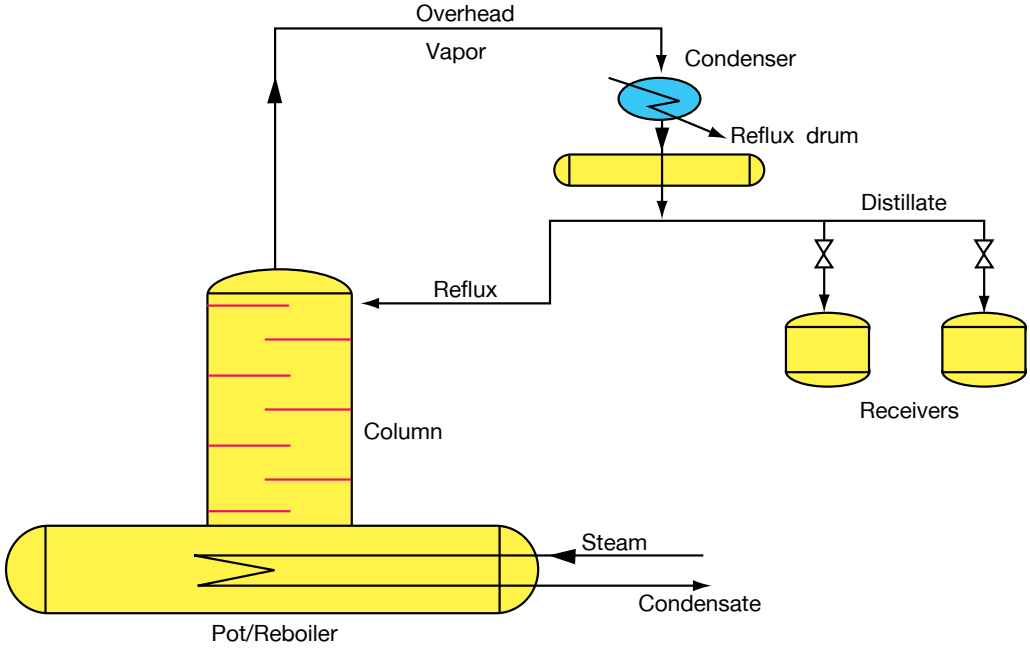
**autoacceleration, gel effect, Tromsdorff effect, Tromsdorff-Norrish effect ความเร่งเอง, ปรากฏการณ์เจล, ปรากฏการณ์ทรอมส์ดอร์ฟ, ปรากฏการณ์ทรอมส์ดอร์ฟ-นอร์ริช**

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ในปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ (radical polymerization) และการเกิดพอลิเมอร์แบบบัลก์ (ดู bulk polymerization) เนื่องจากเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปได้ระยะหนึ่งทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วยตัวเอง เนื่องจากเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น การเคลื่อนที่ของอนุมูลขนาดใหญ่จะลดลง หรือเป็นไปอย่างช้าๆ การสิ้นสุดปฏิกิริยาลูกโซ่จึงเกิดได้ช้า แต่มอนอเมอร์ที่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กยังเคลื่อนที่ได้ดี ทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่ยังดำเนินต่อไปได้ ผลที่เกิดขึ้นคือ พอลิเมอร์มีสายโซ่โมเลกุลที่มีความยาวแตกต่างกันไป ส่งผลให้การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลพอลิเมอร์ (molecular weight distribution) มีช่วงกว้าง และสมบัติของพอลิเมอร์ผันแปรได้ ปรากฏการณ์นี้พบมากในระบบที่มีความเข้มข้นสูง

**azeotrope สารผสมคงจุดเดือด, เอซีโอโทรป**

ของเหลวผสมตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่มีสัดส่วนซึ่งทำให้ไม่สามารถกลั่นแยกของเหลวแต่ละชนิด เป็นองค์ประกอบที่บริสุทธิ์ได้โดยกระบวนการกลั่นแบบปกติ (simple distillation) เนื่องจากองค์ประกอบของสาร (composition) ในสภาวะที่เป็นไอมีสัดส่วนเช่นเดียวกับในสภาวะที่เป็นของเหลวก่อนกลั่น เช่น ของผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล ซึ่งจุดสุดท้ายของการกลั่นแยกจะได้เอทานอลและน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงที่สุดเพียงร้อยละ 95.5 และ 4.5 ตามลำดับ เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำในสภาวะไอเท่ากับสภาวะที่เป็นของเหลว เป็นต้น ตัวอย่างของสารที่เป็นเอซีโอโทรป ได้แก่ กรดไนทริก (nitric acid) และน้ำ กรดเพอร์คลอริก (perchloric acid) และน้ำ กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) และน้ำ กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) และน้ำ แอซีโทน (ดู acetone) เมทานอล (ดู methanol) และคลอโรฟอร์ม (chloroform) ไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether) และฮาโลเทน (halothane) เบนซีน (ดู benzene) และเฮกซะฟลูออโรเบนซีน (hexafluorobenzene) เป็นต้น

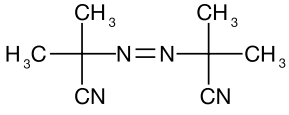
**azeotropic distillation การกลั่นสารผสมคงจุดเดือด, การกลั่นเอซีโอโทรป** กระบวนการกลั่นที่ใช้ในการยับยั้งหรือกำจัดการเกิดสารผสมคงจุดเดือด หรือเอซีโอโทรป (ดู azeotrope) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการกลั่นปกติ โดยเติมสารเคมีที่เรียกว่า เอนเทรนเนอร์ (entrainer) ลงไปกลั่นร่วม เพื่อเข้าไปลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารผสมนั้นๆ ตัวอย่างการกลั่นเอซีโอโทรป เช่น การกลั่นแยกเอทานอล (ethanol) ออกจากน้ำ โดยปกติจุดเดือดของเอทานอลและน้ำ คือ 78.3 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อกลั่นของผสมนี้พบว่าจุดสุดท้ายของการกลั่นได้เอซีโอโทรปที่มีความบริสุทธิ์ของเอทานอล ร้อยละ 95.5 และน้ำ ร้อยละ 4.5 โดยจุดเดือดของเอซีโอโทรปนี้ลดต่ำลงเหลือ 78.15 องศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าจุดเดือดของเอทานอลและน้ำ การเติมสารประกอบคีโทน (ketone) ลงไปเป็นสารเอนเทรนเนอร์ เพื่อลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของเอซีโอโทรปและสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลน้ำ เกิดเป็นสารละลายคีโทนกับน้ำและเอทานอลแยกชั้นกัน เนื่องจากเอทานอลไม่ละลายในคีโทน ทำให้กลั่นแยกเอทานอลออกจากน้ำที่มีความบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 99.5




การแยกเอทานอลออกจากน้ำด้วยกระบวนการกลั่นเอซีโอโทรป

**azobisisobutyronitrile (AIBN) เอโซบิสไอโซบิวทิโรไนไทรล์ (เอไอบีเอ็น)**

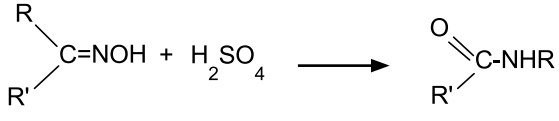
สารประกอบที่นิยมใช้ก่อฟองก๊าซในพลาสติกและยาง และใช้เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาอนุมูลอิสระในการเกิดพอลิเมอร์ การแตกสลายของเอไอบีเอ็นให้ก๊าซไนโตรเจนและอนุมูลอิสระ ปลอดภัยกว่าเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) ซึ่งเป็นสารเริ่มปฏิกิริยาอนุมูลอิสระเช่นกันเพราะเสี่ยงต่อการระเบิดน้อยกว่า แต่เป็นของแข็งไวไฟ ละลายได้ในเมทานอลและเอทานอล ไม่ละลายในน้ำ เมื่อละลายในแอซีโทนสามารถระเบิดได้ เอไอบีเอ็นมีความเป็นพิษสูงจึงต้องป้องกันร่างกายเป็นอย่างดีในขณะขนย้าย



เอโซบิสไอโซบิวทิโรไนไทรล์

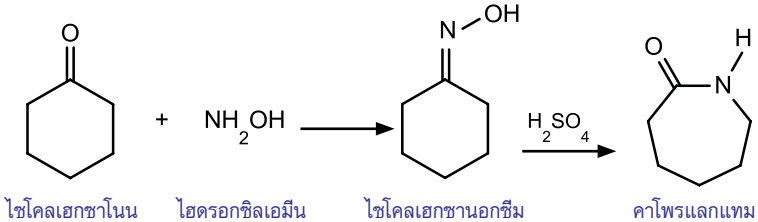
**Beckmann rearrangement การจัดเรียงโครงสร้างใหม่ของเบคแมนน์**

การจัดเรียงโครงสร้างใหม่ของสารประกอบประเภทออกซีม (oxime, R=N-OH) ให้เป็นผลผลิตเอไมด์ (amide) โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ เอิร์นส ออตโต เบคแมนน์ (Ernst Otto Beckmann) เมื่อ พ.ศ. 2429



ออกซีม กรดซัลฟิวริก เอไมด์

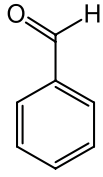
กรดที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาเรียกว่า สารละลายเบคแมนน์ (Beckmann solution) อาจเป็นกรดแอซีติก (ดู acetic acid) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) แอซีติกแอนไฮไดรด์ (ดู acetic anhydride) หรือกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนสารตั้งต้นไซโคลเฮกซาโนน (ดู cyclohexanone) ให้เป็นคาโพรแลกแทม (ดู caprolactam) โดยทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลเอมีน (hydroxylamine, $NH_2OH$)



ไซโคลเฮกซาโนน ไฮดรอกซิลเอมีน ไซโคลเฮกซานอกซีม คาโพรแลกแทม

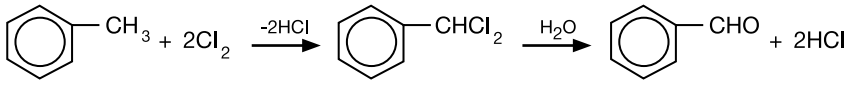
**benzaldehyde เบนซัลดีไฮด์**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ประเภทแอโรแมติกแอลดีไฮด์ (aromatic aldehyde) ที่มีหมู่ฟอร์มิล (formyl group, -CHO) แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) สูตรโมเลกุล $C_7H_6O$




เบนซัลดีไฮด์

เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายเมล็ดอัลมอนด์ สังเคราะห์จากสารตั้งต้นทอลิวอีน (ดู toluene) ผ่านการเติมหมู่คลอรีน (ดู chlorination) ได้เบนซัลคลอไรด์ (benzal chloride) จากนั้นผ่านการแยกสลายด้วยน้ำ (ดู hydrolysis) เพื่อให้ได้ผลผลิตหลักคือ เบนซัลดีไฮด์ โดยมีกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) เป็นผลพลอยได้




ทอลิวอีน คลอรีน เบนซัลคลอไรด์ เบนซัลดีไฮด์ กรดไฮโดรคลอริก

ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น กรดแมนเดลิก (mandelic acid) ที่เป็นส่วนผสมของยาฆ่าเชื้อและเครื่องสำอาง รวมถึงสีต่างๆ เช่น มาลาไคต์กรีน (malachite green) ที่ให้สีเขียว เป็นต้น




กรดแมนเดลิก



มาลาไคต์กรีน

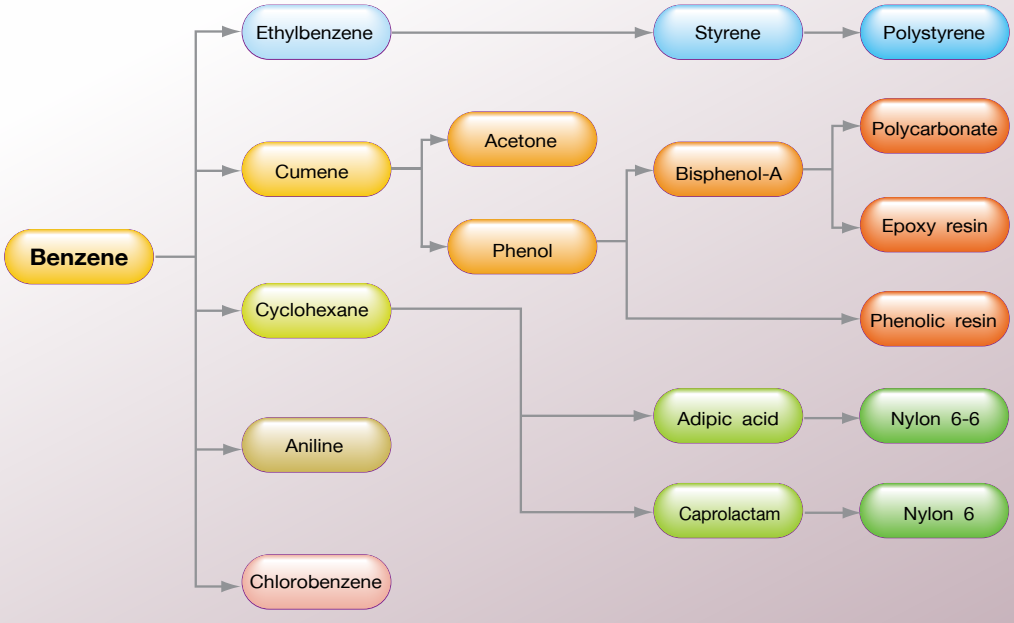
**benzene เบนซีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนคาร์บอน 6 อะตอม สูตรโมเลกุล $C_6H_6$




เบนซีน

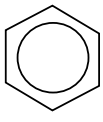
ของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นหอม ไวไฟ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่พบได้ในธรรมชาติ เช่น ในไขปลาวาฬ และน้ำมันดิบ หรือได้จากการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการเคมีและกระบวนการเปลี่ยนในโรงกลั่นน้ำมัน เช่น กระบวนการรีฟอร์มแนฟทีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (ดู catalytic reforming) กระบวนการดึงหมู่เมทิล (methyl group, $CH_3$) ออกจากทอลิวอีนโดยใช้ไฮโดรเจน (toluene dehydroalkylation) กระบวนการทอลิวอีนดิสโพรพอร์ชันเนชัน (toluene disproportionation) และการแตกตัวโดยใช้ไอน้ำ (ดู steam cracking) ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดแอลิเฟทิก (ดู aliphatic hydrocarbon) เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มเลขออกเทน (octane number) ในน้ำมันแก๊โซลีน (gasoline) แต่ปัจจุบันมีการจำกัดปริมาณเบนซีนในน้ำมันแก๊โซลีนเนื่องจากเป็นสารก่อมะเร็ง เป็นตัวทำละลายและเป็นสารตั้งต้นสำคัญสำหรับผลิตสารมัธยันตร์ (intermediate) ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกลุ่มแอโรแมติกส์หลายชนิด ได้แก่ สไตรีน (ดู styrene) ฟีนอล (ดู phenol) และไซโคลเฮกเซน (ดู cyclohexane) เป็นต้น



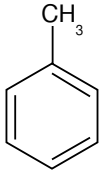

แผนผังแสดงอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกลุ่มแอโรแมติกส์ที่มีเบนซีนเป็นสารตั้งต้น

**benzene-toluene-xylene (BTX) เบนซีน-ทอลิวอีน-ไซลีน (บีทีเอกซ์)**

กลุ่มสารผสมของสารประกอบแอโรแมติกส์ ประกอบด้วย เบนซีน (ดู benzene) ทอลิวอีน (ดู toluene) และไซลีน (ดู xylene) ผลิตจากกระบวนการรีฟอร์มแนฟทีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reforming) และการแตกตัวโดยใช้ไอน้ำของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดแอลิเฟทิก (ดู aliphatic hydrocarbon) สารเติมแต่งเพื่อเพิ่มเลขออกเทน (octane number) ในน้ำมันแก๊โซลีน (gasoline) ซึ่งปัจจุบันมีการลดปริมาณการใช้ หรือนำมากลั่นแยกเบนซีน ทอลิวอีนและไซลีน เพื่อเป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี



เบนซีน



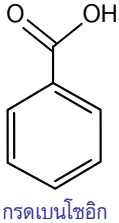

ทอลิวอีน




พาราไซลีน

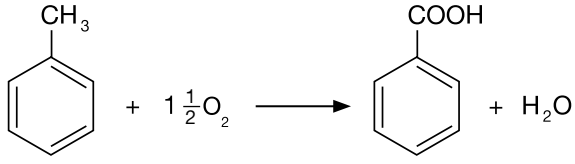
**benzoic acid กรดเบนโซอิก**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ประเภทกรดแอโรแมติกคาร์บอกซิลิก (aromatic carboxylic acid) ที่มีหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group, -COOH) แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) สูตรโมเลกุล $C_7H_6O_2$




กรดเบนโซอิก

ผลึกของแข็งไม่มีสี มีสมบัติเป็นกรดอ่อน (weak acid) น้ำหนักโมเลกุล 122.12 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 1.32 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว 122.4 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 249.2 องศาเซลเซียส สังเคราะห์จากสารตั้งต้นทอลิวอีน (ดู toluene) ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน (partial oxidation) กับก๊าซออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส และความดัน 10.13 บาร์ โดยใช้โคบอลต์แอซีเทต (cobalt acetate) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา




ทอลิวอีน ออกซิเจน กรดแอซีติก น้ำ

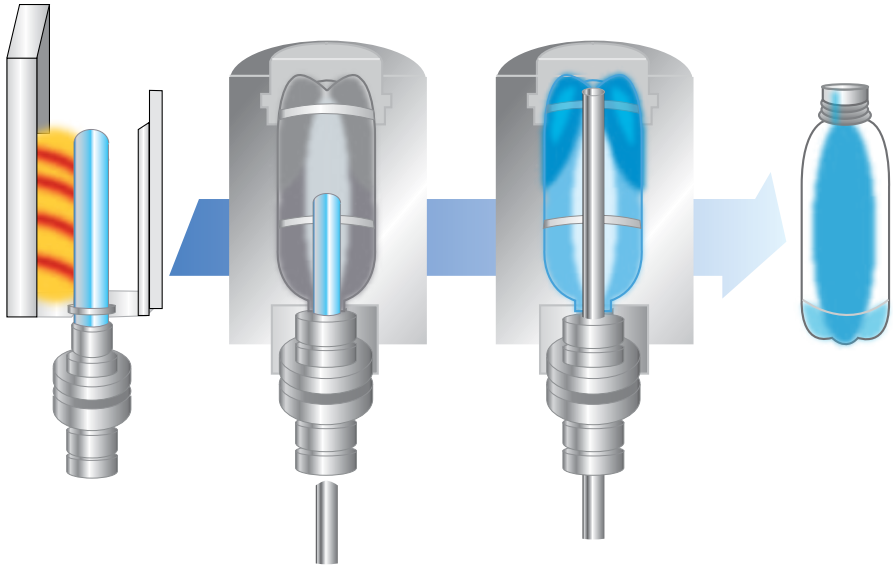
ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารเคมีต่างๆ ได้แก่ เบนโซอิลคลอไรด์ (benzoyl chloride) สารเสริมสภาพพลาสติกเบนโซเอต (benzoate plasticizers) และฟีนอล (ดู phenol) เป็นต้น ส่วนผสมของยารักษาโรคผิวหนัง และสารกันบูดในอาหาร



กรดเบนโซอิก

**biaxial orientation, biaxial stretch การเรียงตัวสองทิศทาง, การดึงสองทิศทาง**

การจัดเรียงตัวในสองทิศทางที่ตั้งฉากกันขณะที่พอลิเมอร์กำลังร้อน เกิดการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ทำให้พลาสติกฟิล์มมีความใสและคุณสมบัติเชิงกลดี เช่น ทนแรงยืดดึงได้ดีและทนการฉีกขาด เหมาะกับพอลิเมอร์ที่นำไปใช้ดึงเป็นฟิล์ม และเป่าเป็นขวด อาจทำได้ในขั้นตอนเดียวหรือ 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน เช่น การยืดดึงเพื่อผลิตภาชนะบรรจุน้ำดื่ม และพลาสติกฟิล์มสำหรับห่ออาหาร



กระบวนการการจัดเรียงตัวสองทิศทางในการกระบวนการฉีดเป่าขึ้นรูป



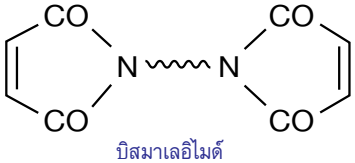
แผ่นพลาสติกฟิล์มที่ได้จากการจัดเรียงตัวสองทิศทาง



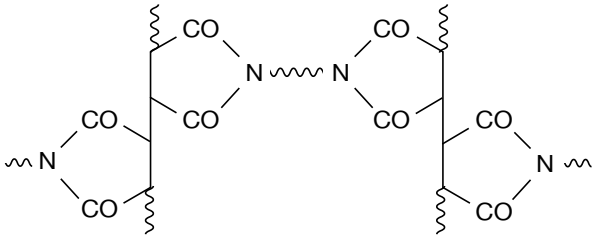
ขวดน้ำดื่มแบบใสที่ได้จากการจัดเรียงตัวสองทิศทาง
ในกระบวนการการฉีดเป่าขึ้นรูป

**bismaleimides (BMI) บิสมาเลอิไมด์ (บีเอ็มไอ)**

พอลิเมอร์แบบเทอร์มอเซต (thermosetting polymeric materials) สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการควบแน่นของไดเอมีน (diamine) กับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (ดู maleic anhydride) และเกิดการเชื่อมขวาง (crosslinking) เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า ปฏิกิริยานี้เกิดได้ง่ายเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride) บริเวณปลายโมเลกุลบิสมาเลอิไมด์ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาร่วมกับตัวทำปฏิกิริยาร่วมตัวอื่นๆ เช่น ฟีนอล (ดู phenol) คุณสมบัติเด่นคือ ความต้านทานอุณหภูมิ (temperature resistance) สูงกว่าพอลิเมอร์อิพ็อกซี (epoxy polymer) มีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (glass transition temperature) ประมาณ 260 องศาเซลเซียส และยังคงสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 200-230 องศาเซลเซียส สลายตัวที่อุณหภูมิสูงประมาณ 460 องศาเซลเซียส สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ เช่นเดียวกับพอลิเมอร์อิพ็อกซี (epoxy polymer) ทั่วไป ก่อนหน้านี้ใช้ทำแผ่นวงจรพิมพ์ (printed wire board) ปัจจุบันใช้เป็นวัสดุเชิงประกอบประสิทธิภาพสูงในอุตสาหกรรมยานอวกาศ เช่น ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องบินและกระสวยอวกาศ และใช้ในอุตสาหกรรมสารยึดติด (adhesive)



บิสมาเลอิไมด์



โครงสร้างของร่างแหเทอร์มอเซตบิสมาเลอิไมด์หลังผ่านการเชื่อมขวาง

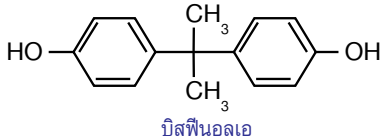

กระสวยอวกาศ




กระสวยอวกาศ

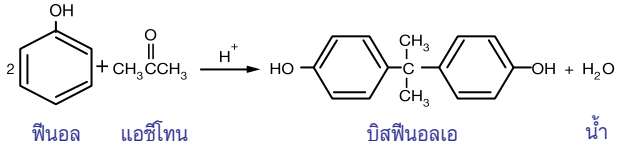
**bisphenol-A (BPA) บิสฟีนอลเอ (บีพีเอ)**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ที่มีโครงสร้างเป็นโมเลกุลของฟีนอล (ดู phenol) สองโมเลกุลเชื่อมต่อกันโดยอะตอมคาร์บอน สูตรโมเลกุล $C_{15}H_{16}O_2$



บิสฟีนอลเอ

เป็นเกล็ดของแข็งสีขาวจนถึงสีน้ำตาลอ่อน ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในเอทานอล (ethanol) หรือแอซีโทน (ดู acetone) สังเคราะห์จากสารตั้งต้นฟีนอลสองโมเลกุลผ่านปฏิกิริยาควบแน่น (condensation) กับแอซีโทน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยมีกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



ฟีนอล แอซีโทน บิสฟีนอลเอ น้ำ

ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตอิพ็อกซีเรซิน (ดู epoxy resin) พอลิคาร์บอเนต (ดู polycarbonate) พอลิอีเทอร์คีโทน (ดู polyether ketone) และพอลิซัลโฟน (ดู polysulfone) ซึ่งใช้ผลิตวัสดุคล้ายกระจกและกันชนสำหรับรถยนต์



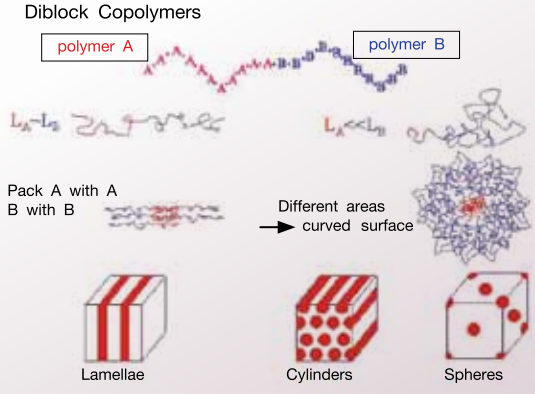
อิพ็อกซีเรซิน



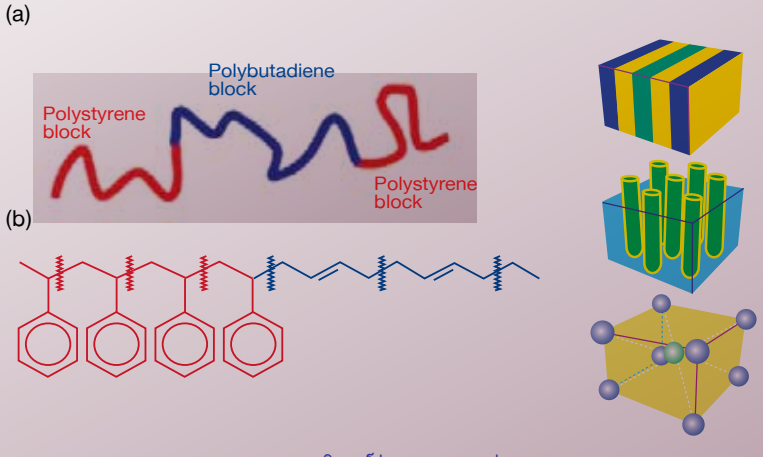
กระจกแว่นตาทำด้วยพอลิคาร์บอเนต

**block copolymer พอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่ม**

พอลิเมอร์ชนิดพิเศษของพอลิเมอร์ร่วม (ดู copolymer) ที่มีสายโซ่พอลิเมอร์อย่างง่าย (simple polymer) ชนิดหนึ่ง ต่อเข้ากับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งเป็นช่วงๆ มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบสองกลุ่ม (diblock copolymer) และพอลิเมอร์ร่วมแบบสามกลุ่ม (triblock copolymer) ตัวอย่างของพอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่ม เช่น พอลิเมอร์ร่วมของอะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (ดู acrylonitrile butadiene styrene (ABS)) ที่สามารถทนแรงกระแทก (impact resistance) และมีความเหนียว (toughness) จากสมบัติของบิวทาไดอีนมอนอเมอร์ และมีความแข็ง (strength) ความแข็งเกร็ง (rigidity) ทนสารเคมี และทนความร้อน นำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น กันชนรถยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

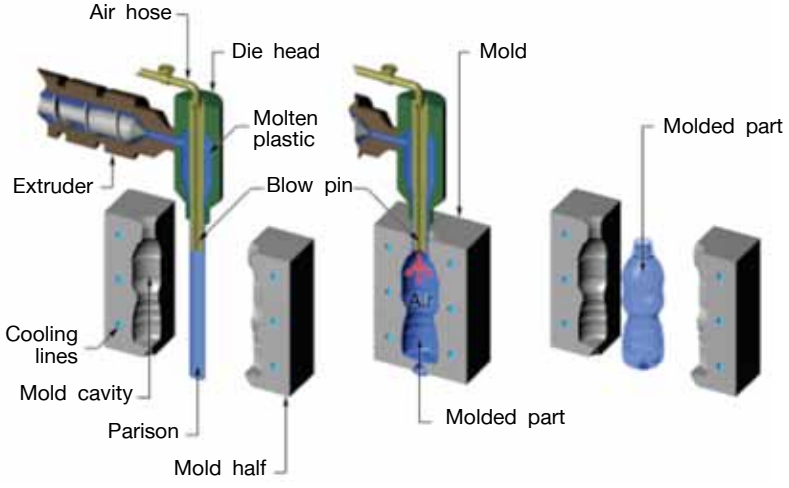



พอลิเมอร์ร่วมแบบสองกลุ่ม



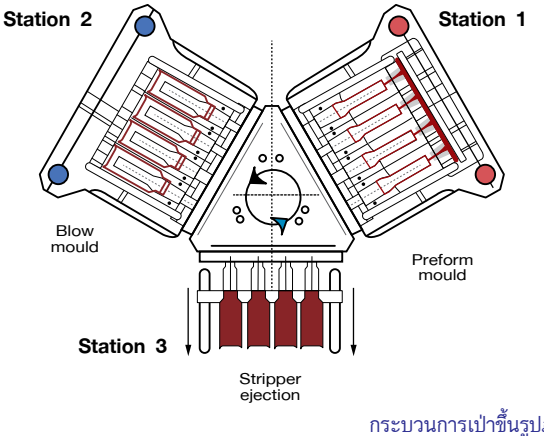

พอลิเมอร์ร่วมแบบสามกลุ่ม

**blow moulding, blow moulding process กระบวนการเป่าขึ้นรูป**
กระบวนการขึ้นรูปเทอร์มอพลาสติก (thermoplastic) เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีลักษณะเป็นวัตถุกลวง (hollow object) โดยทำให้เป็นท่อกลวง (parison) หรือหลอด (preform) ก่อนแล้วใช้ลมเป่าเข้าไปในท่อหรือหลอดขณะร้อน เกิดเป็นรูปร่างตามแบบหล่อ (mould) กระบวนการเป่าขึ้นรูปมี 2 วิธี คือ การเป่าขึ้นรูปภาชนะกลวงโดยวิธีอัดรีด (extrusion blow moulding) เป็นการอัดรีดพลาสติกหลอมเป็นท่อกลวง แล้วเป่าด้วยลมให้ท่อเกิดการพองตัวภายในเบ้า และการเป่าขึ้นรูปภาชนะกลวงโดยวิธีฉีดเป่า (injection blow moulding) เริ่มจากการฉีดเป่าหลอดเตรียมขึ้นรูป จากนั้นนำหลอดเตรียมขึ้นรูปเป่าขึ้นแล้วปลดชิ้นงานออก กระบวนการข้างต้นใช้ในการผลิตขวดน้ำดื่ม ขวดเครื่องดื่มน้ำอัดลม และถังน้ำดื่ม



กระบวนการเป่าขึ้นรูปภาชนะกลวงโดยวิธีอัดรีด


เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการเป่าขึ้นรูปภาชนะกลวงโดยวิธีอัดรีด





กระบวนการเป่าขึ้นรูปภาชนะกลวงโดยวิธีฉีดเป่า




ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเป่าขึ้นรูป

**bromination การเติมโบรมีน**

ปฏิกิริยาการเติมโบรมีน (bromine, $Br_2$) เข้าไปในโมเลกุลของสารตั้งต้นประเภทแอลเคน (ดู alkane) แอลคีน (ดู alkene) และแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) เพื่อสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ การสังเคราะห์โบรโมเพนเทน (bromopentane) เพื่อเป็นตัวทำละลายและเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเวชภัณฑ์บางชนิด การสังเคราะห์ 1,2-ไดโบรโมอีเทน (1,2-dibromoethane) ใช้เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลง และการสังเคราะห์พาราโบรโมฟีนอล (p-bromophenol) ใช้ผลิตสีสังเคราะห์

**bromine number เลขโบรมีน**

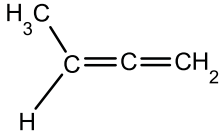
จำนวนกรัมของโบรมีนที่ทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมน้ำหนัก 100 กรัม ภายใต้สภาวะมาตรฐาน ใช้บ่งบอกถึงระดับความไม่อิ่มตัวของไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์

**bulk polymerization, mass polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบบัลก์, การเกิดพอลิเมอร์แบบมวล**

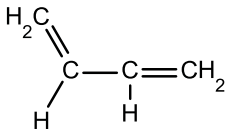
การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบง่ายที่สุด โดยมีเพียงมอนอเมอร์ (monomer) และสารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) เท่านั้น ไม่ต้องใช้ตัวกลาง (medium) หรือตัวทำละลายใดๆ (solvent) มอนอเมอร์อาจเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ จุดเด่นคือ พอลิเมอร์ที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงเพราะมีสิ่งปนเปื้อนน้อยมาก เป็นวิธีการที่เหมาะกับการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบขั้น (step polymerization) หรือพอลิเมอร์แบบควบแน่น (condensation polymerization) เช่น พอลิเอสเทอร์ (ดู polyester) พอลิเอไมด์ (ดู polyamide) แต่ไม่เหมาะกับการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบโซ่ (ดู chain polymerization) เพราะระบบจะเกิดการคายความร้อนมากและมีความหนืดมาก เมื่อร้อยละของการเปลี่ยน (conversion) เป็นพอลิเมอร์สูงขึ้น การถ่ายโอนความร้อนของปฏิกิริยาไม่ดี และการกวนทำได้ยากเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น จึงทำให้การเกิดพอลิเมอร์อย่างสมบูรณ์เป็นไปได้ยาก ส่วนมากได้ร้อยละของการเปลี่ยนเพียงร้อยละ 50 เท่านั้น

**butadiene บิวทาไดอีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ประเภทแอลคีน (ดู alkene) ที่ภายในโครงสร้างประกอบด้วยคาร์บอน 4 อะตอม และพันธะคู่ จำนวน 2 พันธะ เรียกอีกอย่างว่า ไดอีน (diene) สูตรโมเลกุล $C_4H_6$ แบ่งออกเป็น 2 ไอโซเมอร์ (isomer) คือ 1,2-บิวทาไดอีน (1,2-butadiene) ที่มีพันธะคู่อยู่ตำแหน่งที่ 1 และ 2 ของอะตอมคาร์บอนในโครงสร้าง และ 1,3-บิวทาไดอีน (1,3-butadiene) ที่มีพันธะคู่อยู่ในตำแหน่งที่ 1 และ 3 ของอะตอมคาร์บอนในโครงสร้าง สาร 1,2-บิวทาไดอีนไม่มีประโยชน์ในอุตสาหกรรมและมีการผลิตยุ่งยาก ชื่อบิวทาไดอีนที่ใช้จึงหมายถึง 1,3-บิวทาไดอีน



1,2-บิวทาไดอีน



1,3-บิวทาไดอีน

เป็นก๊าซ ไม่มีสี อยู่ในสารผสมไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 4 อะตอมอยู่ในโครงสร้าง ที่เรียกรวมว่า ซี 4 ผสม (ดู mixed C4) แยกบิวทาไดอีนออกจากสารผสมโดยการสกัด (ดู extraction) ด้วยตัวทำละลายที่มีขั้ว และเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการแตกตัวโดยไอน้ำ (steam cracking) ของสารแอลิเฟทิกส์ (ดู aliphatics) เพื่อผลิตสารโอเลฟิน (ดู olefin) ใช้ผลิตยางสังเคราะห์ ได้แก่ พอลิบิวทาไดอีน (polybutadiene) ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน หรือยางเอสบีอาร์ (styrene-butadiene rubber (SBR)) เป็นต้น และพลาสติกสังเคราะห์ต่างๆ

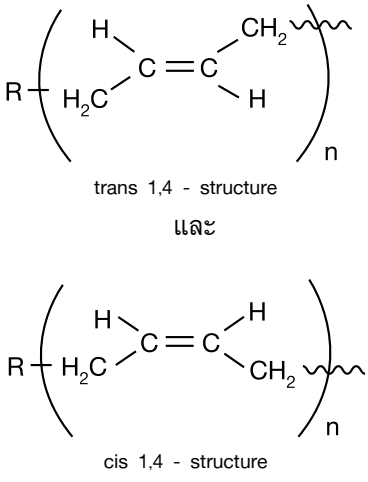


ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน



พลาสติกเอบีเอส

**butadiene rubber (BR), buna rubber ยางบิวทาไดอีน (ยางบีอาร์), ยางบูนา**




สูตรโครงสร้างยางบิวทาไดอีน

ยางสังเคราะห์ที่ผลิตจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบสารละลาย (ดู solution polymerization) ของบิวทาไดอีน จัดเรียงโครงสร้างได้ทั้งแบบซิส 1,4 แบบทรานส์ 1,4 และแบบ vinyl-1,2 ขึ้นกับชนิดสารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) มีสภาพยืดหยุ่น (elasticity) แม้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นสมบัติเด่น นอกจากนั้นยังมีสมบัติในการเด้งกลับ (resilience) ความต้านทานการขัดถู (abrasion resistance) ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมยางล้อ โดยผสมกับยางชนิดอื่นๆ เช่น ยางธรรมชาติ ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และนำไปทำไส้ในของลูกกอล์ฟและลูกฟุตบอล



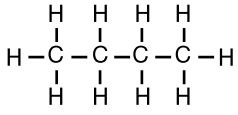
ยางบิวทาไดอีน



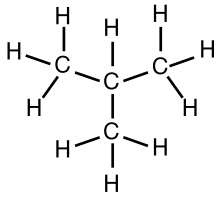
อุปกรณ์กีฬา

**butane บิวเทน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว ประเภทแอลเคน (ดู alkane) ที่มีอะตอมคาร์บอนอยู่ในโมเลกุลจำนวน 4 อะตอม สูตรโมเลกุล $C_4H_{10}$ แบ่งออกเป็น 2 ไอโซเมอร์ (isomer) คือ นอร์มัลบิวเทน (n-butane) และไอโซบิวเทน (ดู iso-butane) มักใช้ชื่อ บิวเทน ซึ่งหมายถึง นอร์มัลบิวเทน



นอร์มัลบิวเทน



ไอโซบิวเทน

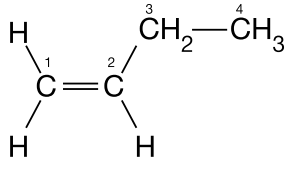
เป็นก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไวไฟ อัดเป็นของเหลวได้ที่ความดันไม่สูงนัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบหรือแยกก๊าซธรรมชาติ ใช้ประโยชน์โดยนำไปผสมกับก๊าซโพรเพน (propane) ในสัดส่วน 30:70 หรือ 40:60 เพื่อผลิตเป็นก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือก๊าซแอลพีจี (liquefied petroleum gas (LPG)) ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้ม ยานพาหนะ และเป็นสารตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้แก่ กรดแอซีติก (ดู acetic acid) นอร์มัลบิวทีน (n-butene) และมาลิเอตแอนไฮไดรด์ (maleate anhydride)



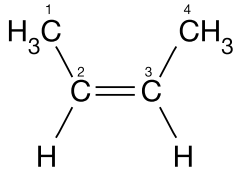

ถังก๊าซแอลพีจี

**butene, butylene บิวทีน, บิวทิลีน**

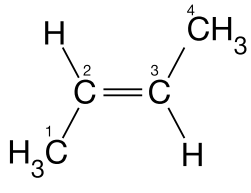
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ประเภทแอลคีน (ดู alkene) ประกอบด้วยคาร์บอน 4 อะตอม และพันธะคู่ 1 พันธะภายในโมเลกุล สูตรโมเลกุล $C_4H_8$ แบ่งออกเป็น 4 ไอโซเมอร์ (isomer) คือ 1-บิวทีน (ดู 1-butene) ที่มีพันธะคู่อยู่ในตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่ 1 ซิส-2-บิวทีน (cis-2-butene) ที่มีพันธะคู่อยู่ในตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่ 2 และมีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) อยู่ทิศเดียวกัน ทรานส์-2-บิวทีน (trans-2-butene) ที่มีพันธะคู่อยู่ในตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่ 2 และมีหมู่เมทิลอยู่ทิศตรงข้ามกัน



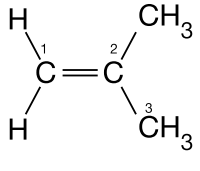
1-บิวทีน



ซิส 2-บิวทีน



ทรานส์ 2-บิวทีน



ไอโซบิวทีน

ไอโซเมอร์ทั้ง 4 ชนิด เป็นก๊าซ ไม่มีสี มีกลิ่น ไวไฟ อัดเป็นของเหลวได้โดยการลดอุณหภูมิหรือเพิ่มความดัน เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking) ของน้ำมันก๊าดหรือก๊าซออยล์ (gas oil) ในโรงกลั่นน้ำมัน และกระบวนการแตกตัวโดยใช้ไอน้ำ (steam cracking) ของแนฟทา (ดู naphtha) ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิเมอร์

**butyl rubber ยางบิวทิล**

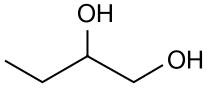
วัสดุยืดหยุ่นสังเคราะห์ในกลุ่มพอลิไอโซบิวทิลีน (ดู polyisobutylene) พอลิเมอร์ร่วมระหว่างไอโซบิวทิลีน (ดู isobutylene) กับไอโซพรีน หรือบิวทาไดอีน (ดู butadiene) จำนวนเล็กน้อย (ประมาณร้อยละ 2) นอกจากนี้ ยังรวมไปถึงยางแฮโลจิเนตเทดบิวทิล และเทอร์พอลิเมอร์ของไอโซบิวทิลีน/พาราเมทิลสไตรีน/โบรโมพาราเมทิลสไตรีน มีสมบัติต้านทานความร้อน ออกซิเจน และโอโซนได้ดี ก๊าซผ่านได้น้อย มีความยืดหยุ่นสูง มีสมบัติเชิงกลที่ดี และเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก ไม่ทนน้ำมันและน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ทนสารเคมีกัดกร่อน น้ำมันพืช แอซีโทน เอทิลีนไกลคอลและน้ำได้ดี ข้อจำกัดที่สำคัญที่สุดของยางบิวทิลคือ เมื่อผสมกับยางหรือวัสดุยืดหยุ่นทั่วไปแล้วจะเข้ากันได้ไม่ดี ทำให้สมบัติการยึดติดลดลง (adhesion properties) สามารถปรับปรุงโดยเติมโบรมีน (ดู bromiation) และคลอรีน (ดู chlorination) และช่วยให้เกิดการบ่มเร็วขึ้นด้วย ยางบิวทิลที่เติมคลอรีนหรือโบรมีน เรียกว่า ยางคลอโรบิวทิล ยางโบรโมบิวทิล หรือยางแฮโลบิวทิล ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ ใช้ทำยางในตลอดจนใช้บุยางที่ไม่มียางใน วัสดุที่ลดการสั่นและเสียงภายในเครื่องยนต์ ยางแฮโลบิวทิลใช้ทำท่อหรือสายยาง ที่ต้องสัมผัสกับน้ำมันหรือน้ำยาเครื่องปรับอากาศในเครื่องยนต์



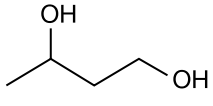

ผลิตภัณฑ์จากยางบิวทิล

**butylene glycol (BG), butanediol บิวทิลีนไกลคอล (บีจี), บิวเทนไดออล**

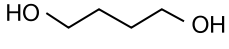
สารประกอบอินทรีย์ประเภทไดออล (diol) หรือ ไกลคอล (glycol) ในโครงสร้างประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) 2 หมู่ เชื่อมต่อกับคาร์บอน 4 อะตอม สูตรโมเลกุล $C_4H_{10}O_2$ จัดโครงสร้างโมเลกุลได้เป็น 4 ไอโซเมอร์ (isomer) คือ 1,2-บิวทิลีนไกลคอล (1,2-butylene glycol) หรือ 1,2-บิวเทนไดออล (1,2-butanediol) 1,3-บิวทิลีนไกลคอล (1,3-butylene glycol) หรือ 1,3-บิวเทนไดออล (1,3-butanediol) 1,4-บิวทิลีนไกลคอล (1,4-butylene glycol) หรือ 1,4-บิวเทนไดออล (1,4-butanediol) และ 2,3-บิวทิลีนไกลคอล (2,3-butylene glycol) หรือ 2,3-บิวเทนไดออล (2,3-butanediol) ไอโซเมอร์ที่สำคัญที่สุดคือ 1,4-บิวทิลีนไกลคอล เมื่อกล่าวถึงบิวทิลีนไกลคอล ส่วนใหญ่จึงหมายถึง 1,4-บิวทิลีนไกลคอล



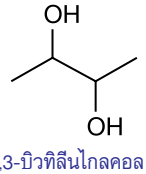
1,2-บิวทิลีนไกลคอล



1,3-บิวทิลีนไกลคอล



1,4-บิวทิลีนไกลคอล

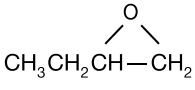


2,3-บิวทิลีนไกลคอล

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ 1,4-บิวทิลีนไกลคอลเป็นของเหลวข้นเหนียว ไม่มีสี ไม่ละลายน้ำ 1,4-บิวทิลีนไกลคอลเป็นตัวทำละลาย และใช้สังเคราะห์สารเคมีต่างๆ เช่น เททระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran) แกมมาบิวทีโรแลกโทน ($\gamma$-butyrolactone) ไพโรลิโดน (pyrrolidone) และไวนิลไพโรลิโดน (n-vinylpyrrolidone) เป็นต้น

**butylene oxide บิวทิลีนออกไซด์**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทอีพ็อกไซด์ (epoxide) ที่มีหมู่เอทิล (ethyl group, $-CH_2CH_3$) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนซึ่งเกาะกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของวงแหวนเอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) ในโครงสร้างสูตรโมเลกุล $C_4H_8O$



บิวทีลีนออกไซด์

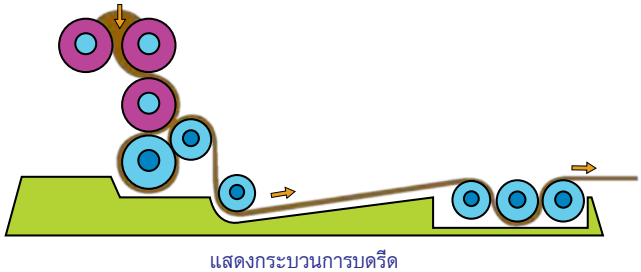
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลวไม่มีสี ไวไฟ ใช้ผลิตสารบิวทิลีนไกลคอล (ดู butylene glycol) ซึ่งใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) ใช้เป็นสารทำให้เสถียร (stabilizer) สำหรับตัวทำละลายที่มีคลอรีนเป็นส่วนผสม (chlorinated solvent) นอกจากนี้ยังใช้ผลิตสารลดแรงตึงผิว (surfactant) และเวชภัณฑ์

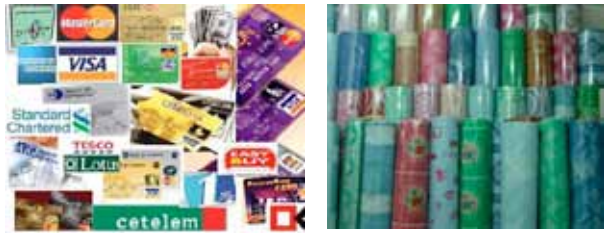


เครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของบิวทิลีนออกไซด์

**calendering process กระบวนการบดรีด**

กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกเป็นแผ่นพลาสติก (plastic sheet) และแผ่นฟิล์ม (film) ที่เรียบและบาง เริ่มต้นจากการผสมพลาสติกและสารเติมแต่ง (ดู additive) ต่างๆ ด้วยเครื่องผสมร้อน (hot mixer) แล้วส่งผ่านไปยังเครื่องนวดเพื่อช่วยให้ได้การผสมและการกระจายตัวของสารเคมี รวมทั้งการหลอมเหลวที่สมบูรณ์ จากนั้นพลาสติกที่หลอมเหลวจะถูกป้อนผ่านลูกกลิ้งบดรีด (calender rolls) ออกมาเป็นแผ่นโดยผ่านลูกกลิ้งชุดละไม่น้อยกว่า 3 ชุดขึ้นไป ลูกกลิ้ง 2 ชุดแรกมีอุปกรณ์ให้ความร้อน ทำให้พลาสติกอ่อนนิ่มแล้วถูกอัดรีดออกมาเป็นแผ่น นิยมใช้ในการผลิตแผ่นพีวีซี (PVC sheet) ทั้งแผ่นพีวีซีแบบแข็ง (rigid PVC) เพื่อผลิตบัตรพลาสติก เช่น บัตรเครดิตและบัตรประจำตัวประเภทต่างๆ และแผ่นพีวีซีแบบนิ่ม (soft PVC) เพื่อผลิตวัสดุตกแต่งชนิดต่างๆ เช่น เสื่อน้ำมัน หนังเทียม เป็นต้น

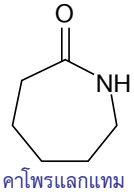

แสดงกระบวนการบดรีด



ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการบดรีด

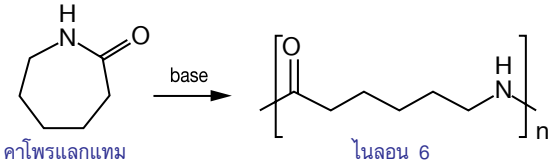
**caprolactam คาโพรแลกแทม**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทไซคลิกเอไมด์ (cyclic amide) หรือ แลกแทม (ดู lactam) ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนเจ็ดเหลี่ยม มีหมู่เอไมด์ (amide, -CONH-) อยู่ในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $C_6H_{11}NO$ ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของแข็งสีขาว ละลายน้ำได้ดี



คาโพรแลกแทม

ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตไนลอน 6 โดยการเกิดพอลิเมอร์ชนิดเปิดวงแหวน (ring opening polymerization)



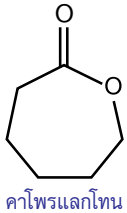
คาโพรแลกแทม ไนลอน 6


แอมโมเนียมซัลเฟต


ผลิตภัณฑ์ไนลอน 6

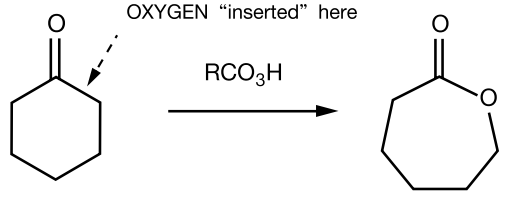
**caprolactone คาโพรแลกโทน**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทไซคลิกเอสเทอร์ (cyclic ester) หรือแลกโทน (lactone) ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนเจ็ดเหลี่ยม มีหมู่คาร์บอกซิเลต (carboxylate group, -COO-) อยู่ในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $C_6H_{10}O_2$



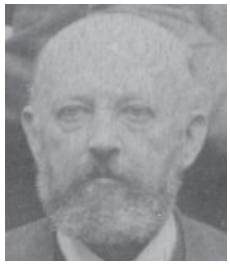
คาโพรแลกโทน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวใส ไม่มีสี ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ น้ำหนักโมเลกุล 114.14 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 1.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว -1 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 253 องศาเซลเซียส สังเคราะห์จากสารตั้งต้นไซโคลเฮกซาโนน (ดู cyclohexanone) ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเบเยอร์-วิลลิเกอร์ (Baeyer-Villiger oxidation) กับกรดเพอร์แอซีติก (peracetic acid, $CH_3COOOH$)




ไซโคลเฮกซาโนน คาโพรแลกโทน

เป็นสารตั้งต้นในการผลิตคาโพรแลกแทม (caprolactam) โดยทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย (ammonia) และใช้ผลิตพอลิคาโพรแลกโทน (polycaprolactone) โดยการเกิดพอลิเมอร์ชนิดเปิดวงแหวน (ring opening polymerization) ออกซิเดชันแบบเบเยอร์-วิลลิเกอร์ (Baeyer-Villiger oxidation) คิดค้นโดย อะดอล์ฟ ฟอน เบเยอร์ (Adolf von Baeyer) ชาวเยอรมัน และ วิกเตอร์ วิลลิเกอร์ (Victor Villiger) ชาวสวิตเซอร์แลนด์ เมื่อ พ.ศ. 2442



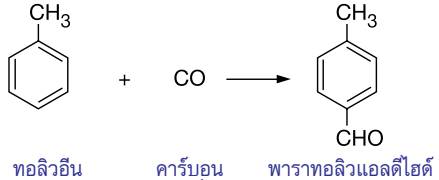
อะดอล์ฟ ฟอน เบเยอร์



วิกเตอร์ วิลลิเกอร์

**carbonylation การเติมคาร์บอนมอนอกไซด์**

การเติมก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ได้สารใหม่ที่มีหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group, -CO- อยู่ในโครงสร้าง เช่น แอลดีไฮด์ (aldehyde) คีโทน (ketone) กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) เอสเทอร์ (ester) เอไมด์ (amide) เป็นต้น โดยสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ไฮโดรฟอร์มิเลชัน (hydroformylation) และเคมีของเรปป์ (Reppe chemistry) เป็นต้น ตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์พาราทอลิวแอลดีไฮด์ (p-tolualdehyde) เป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) สำหรับสังเคราะห์ยา สี น้ำหอม และสารเคมีทางการเกษตร (agrochemicals) โดยใช้สารตั้งต้นทอลิวอีน (toluene) ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา




ทอลิวอีน คาร์บอนมอนอกไซด์ พาราทอลิวแอลดีไฮด์

**Carothers equation สมการคาร์โรเธอร์ส**

นักวิทยาศาสตร์เคมีชาวอเมริกัน วาลเลส คาร์โรเธอร์ส (Wallace Carothers) ผู้คิดค้นเส้นใยไนลอน (nylon) เมื่อ พ.ศ. 2478 ได้เสนอให้ใช้สมการคาร์โรเธอร์ส ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับเฉลี่ยเชิงจำนวนของการเกิดพอลิเมอร์แบบเส้นตรง ($\bar{x}_n$) กับปริมาณการเกิดปฏิกิริยา (p) ดังสมการ

$$\bar{x}_n = 1/(1-p)$$

ในที่นี้

$$\bar{x}_n = N_0/N$$

และ

$$p = (N_0 - N)/N_0$$

เมื่อ $N_0$ คือ จำนวนโมเลกุลเมื่อเวลาเริ่มต้น

$N$ คือ จำนวนโมเลกุลเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปเมื่อเวลา t

นำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมความยาวสายโซ่พอลิเมอร์ หรือน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ ในกระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบขั้นทุกชนิดเมื่อมีปริมาณสัมพันธ์ของหมู่ A และ B

1. ในกรณีที่หมู่ A และ B ไม่เท่ากัน ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\bar{x}_n = \frac{(1+r)}{1+r-2rp}$$

เมื่อ r คือ อัตราส่วนโมลของ A ต่อ B โดยที่ r มีค่าน้อยกว่า 1

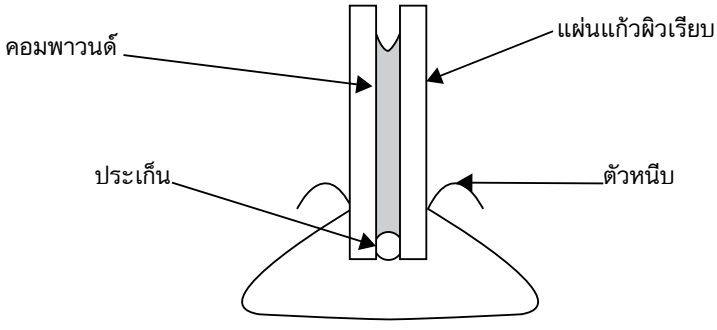
2. ถ้าพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นมีโครงสร้างแบบร่างแห และถ้าปริมาณของหมู่ A เท่ากับหมู่ B ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\bar{x}_n = 2/(2 - pf_{av})$$

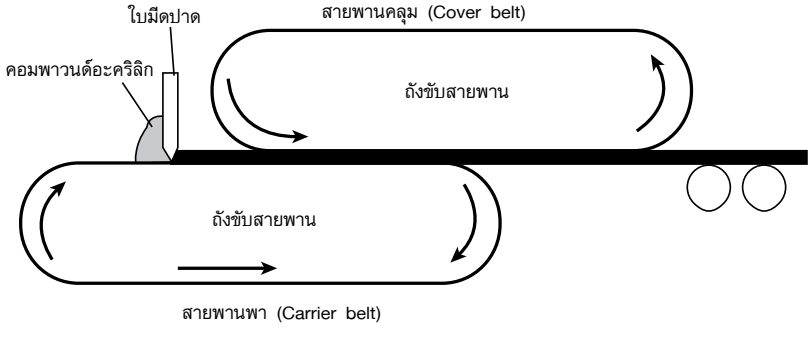
เมื่อ $f_{av}$ คือค่าเฉลี่ยของหมู่ฟังก์ชันทั้งหมดของมอนอเมอร์ที่ใช้

**casting การหล่อ**

การเตรียมแผ่นฟิล์มหรือชิ้นงานแบบแผ่นเรียบ เป็นกรรมวิธีการผลิตง่ายๆ ไม่ต้องใช้แรงอัดและความร้อน โดยเทพอลิเมอร์หลอมลงในแบบหล่อที่พร้อมขึ้นรูป หรือนำพลาสติกเม็ดมาหลอมละลายก่อน แล้วเติมตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อช่วยให้พลาสติกเหลวแข็งตัวเร็วขึ้น นิยมใช้ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีขนาดใหญ่ เช่น ตัวถังเรือเร็ว ตัวถังรถยนต์ ถังเก็บน้ำ รูปปั้น อ่างอาบน้ำ มีทั้งกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง (continuous casting process) โดยเทพอลิเมอร์หลอมลงบนสายพานพาด้านล่าง ซึ่งเคลื่อนที่ไปพร้อมกับสายพานคลุมด้านบน และแบบไม่ต่อเนื่อง (batch casting process) ซึ่งใช้เบ้าหล่อหรือแบบหล่อที่มีหลายรูปแบบ หรือเรียกว่ากระบวนการหล่อแบบเซลล์ (cell casting process)




การหล่อพลาสติกแบบเซลล์




การหล่อแบบต่อเนื่อง

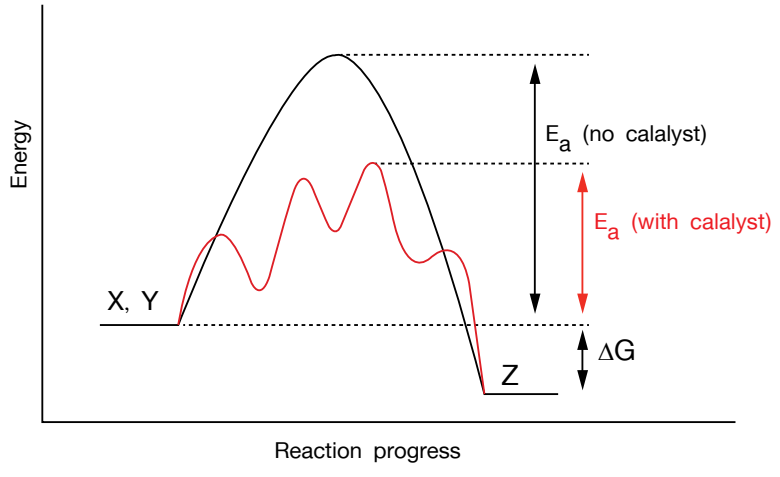




ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหล่อ

**catalyst ตัวเร่งปฏิกิริยา**

สารช่วยเร่งปฏิกิริยาเคมีที่ไม่ถูกใช้หรือมีการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวร ทำให้ปฏิกิริยาที่ต้องการเกิดเร็วขึ้นหรือทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยอาจมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาด้วยหรือไม่ก็ได้ เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาต้องมีปริมาณเท่าเดิมและมีคุณสมบัติเหมือนตอนเริ่มต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดระดับพลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy) ของปฏิกิริยา ทำให้มีจำนวนโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าหรือเท่ากับพลังงาน ก่อกัมมันต์มากขึ้น ปฏิกิริยาจึงเกิดเร็วขึ้นแต่ไม่มีผลต่อค่าความร้อนของปฏิกิริยา (heat of reaction) สามารถเลือกการมีส่วนร่วม (selective) ในปฏิกิริยา จึงสามารถกำหนดผลผลิตได้เฉพาะเจาะจง




รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและการดำเนินไปของปฏิกิริยา เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยามีหลายประเภท เป็นสารจำเป็นและสำคัญในการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและพอลิเมอร์ ตลอดจนมีผลมากต่อประสิทธิภาพการผลิต

Energy = พลังงาน

$E_a$ = พลังงานก่อกัมมันต์

X, Y = สารตั้งต้น, Z = ผลผลิต

$\Delta G$ = พลังงานอิสระของกิบส์ (Gibbs free energy)

Reaction progress = การดำเนินไปของปฏิกิริยา

**ตารางตัวอย่างชนิดผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี ชื่อปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์**

| ผลิตภัณฑ์ | ปฏิกิริยาเคมี | ตัวเร่งปฏิกิริยา |
|---|---|---|
| โลหะแทรนซิชัน (transition metal) | การเติมไฮโดรเจน (hydrogenation)<br>การดึงไฮโดรเจน (dehydrogenation)<br>ไฮโดรจีโนไลซิส (hydrogenolysis) | เหล็ก (iron) นิกเกิล (nickel) แพลลาเดียม (palladium) แพลทินัม (platinum) และทอง (gold) |
| สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) และโลหะแทรนซิชันออกไซด์ (transition metal oxide) | ออกซิเดชัน (oxidation)<br>การดึงไฮโดรเจน (dehydrogenation)<br>การขจัดกำมะถัน (desulfurization) | นิกเกิลออกไซด์ (nickel oxide)<br>ซิงก์ออกไซด์ (zinc oxide)<br>แมงกานีสออกไซด์ (manganese oxide)<br>โครเมียมออกไซด์ (chromium oxide)<br>บิสมัธออกไซด์ (bismuth oxide)/<br>โมลิบดินัมออกไซด์ (molybdenum oxide)<br>ทินออกไซด์ (tin oxide)<br>เหล็กออกไซด์ (iron oxide) |
| ฉนวนออกไซด์ (insulator oxide) | การดึงน้ำ (dehydration) | อะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide)<br>ซิลิกอนออกไซด์ (silicon oxide)<br>แมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium oxide) |
| กรด (acid) และออกไซด์ผสมที่เป็นกรด (acidic mixed oxide) | การเกิดพอลิเมอร์ (polymerization)<br>การเปลี่ยนไอโซเมอร์ (isomerization)<br>การแตกตัว (cracking)<br>การเติมหมู่แอลคิล (alkylation)<br>การสังเคราะห์เอสเทอร์ (esterification) | กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid)<br>กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid)<br>โบรอนฟลูออไรด์ (boron fluoride)<br>และซีโอไลต์ (zeolite) |
| ด่าง | การเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) | โซเดียม/แอมโมเนีย (sodium/ammonia) |
| โลหะแทรนซิชันเชิงซ้อน (transition metal complex) | ไฮโดรฟอร์มิลเลชัน (hydroformylation)<br>การเกิดพอลิเมอร์ (polymerization)<br>ออกซิเดชัน (oxidation)<br>เมทาทีสิส (metathesis) | ไทเทเนียมคลอไรด์/ไทรเอทิลอะลูมิเนียม (titanium chloride/triethylaluminium)<br>คอปเปอร์คลอไรด์/แพลทินัมคลอไรด์ (copper chloride/platinum chloride) |
| ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดสองหน้าที่ (dual function catalyst) | การเปลี่ยนไอโซเมอร์ (isomerization)<br>การเติมไฮโดรเจน (hydrogenation)<br>การดึงไฮโดรเจน (dehydrogenation) | แพลทินัมบนตัวรองรับซิลิกาออกไซด์/อะลูมิเนียมออกไซด์ (platinium/silica oxide-aluminium oxide) |

| ผลิตภัณฑ์ | ปฏิกิริยาเคมี | ตัวเร่งปฏิกิริยา |
|---|---|---|
| เบนซีน ทอลิวอีน และไซลีน (benzene, toluene, xylene) | การรีฟอร์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reforming) ของแนฟทา (naphtha) | แพลทินัมบนตัวรองรับซิลิกา-อะลูมินา (platinum-supported silica-alumina) |
| เอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) | ออกซิเดชัน (oxidation) ของสารตั้งต้นเอทิลีน (ethylene) และออกซิเจน (oxygen) | โลหะเงินบนตัวรองรับซิลิกา (silver-supported silica) |
| เอทิลีนไดคลอไรด์ | การเติมคลอรีนโดยตรง (direct chlorination) ระหว่างเอทิลีน (ethylene) และคลอรีน (chlorine) | เหล็ก (III) คลอไรด์ (iron (III) chloride) หรือคอปเปอร์ (II) คลอไรด์ (copper (II) chloride) |
| ไวนิลคลอไรด์ | ดีไฮโดรคลอริเนชัน (dehydrochlorination) ของเอทิลีนไดคลอไรด์ (ethylene dichloride) | หินพัมมิซ (pumice) บนถ่าน (charcoal) |
| สไตรีน | การดึงไฮโดรเจน (dehydrogenation) ออกจากเอทิลเบนซีน (ethyl benzene) | เหล็ก (III) ออกไซด์ (iron (III) oxide) |
| คิวมีน | การเติมหมู่แอลคิล (alkylation) ระหว่างเบนซีน (benzene) และโพรพิลีน (propylene) | กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) |
| คาโพรแลกแทม | การจัดตัวใหม่ของเบคแมนน์ (Beckmann rearrangement) ของไซโคลเฮกซานอกไซม์ (cyclohexanoxime) | กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) |
| กรดเทเรฟแทลิก | ออกซิเดชันของพาราไซลีน | โคบอลต์แอซีเทต (cobalt acetate) ที่มีโซเดียมโบรไมด์ (sodium bromide) หรือกรดไฮโดรโบรมิก (hydrobromic acid) เป็นสารเสริม (promoter) |

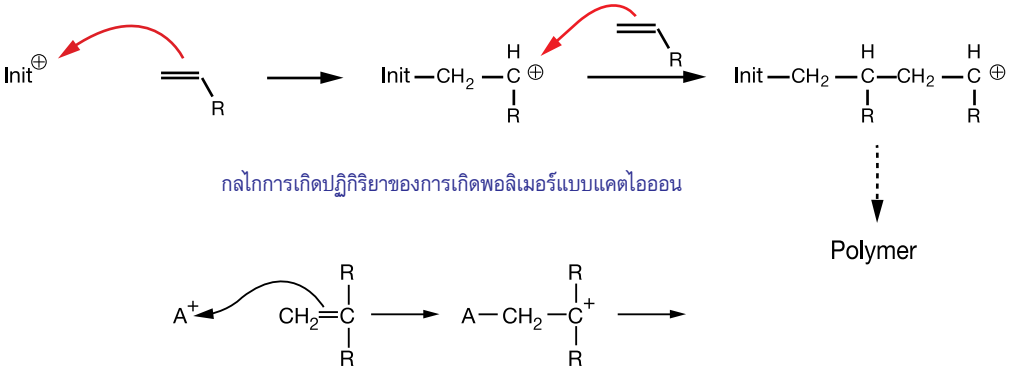


สารเร่งปฏิกิริยา

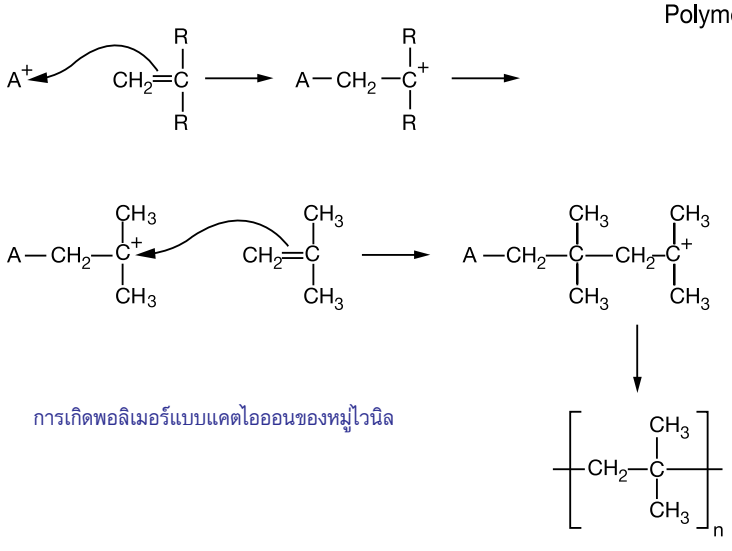
**catalytic conversion การเปลี่ยนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา**
การเปลี่ยนโครงสร้างเคมีของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนให้เป็นสารชนิดใหม่ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น การรีฟอร์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (ดู catalytic reforming) การแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking) การแตกตัวด้วยไฮโดรเจน (ดู hydrocracking) การดึงหมู่แอลคิลออกด้วยไฮโดรเจน (ดู hydrodealkylation) การเปลี่ยนไอโซเมอร์ (ดู isomerization) การเติมหมู่แอลคิล (ดู alkylation) และการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) เป็นต้น

**catalytic reforming, catforming การรีฟอร์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา, แคตฟอร์มมิง**
การเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดแอลิเฟทิกส์ (aliphatics) ชนิดสายโซ่ยาว หรือชนิดวงแหวน เช่น แนฟทา (ดู naphtha) ให้เป็นสารประกอบแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ได้แก่ เบนซีน (ดู benzene) ทอลิวอีน (ดู toluene) และไซลีน (ดู xylene) สารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นกลาง เช่น สไตรีน (ดู styrene) ฟีนอล (ดู phenol) และกรดเทเรฟแทลิก (ดู terephthalic acid) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดพาราฟินโซ่กิ่ง (branched paraffin) ผ่านการปิดวง (ดู cyclization) และการเปลี่ยนไอโซเมอร์ (isomerization) โดยใช้แพลทินัมบนตัวรองรับซิลิกา-อะลูมินา (platinum-silica-alumina) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

**cationic polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบแคตไอออน**
การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบหนึ่งของการเกิดพอลิเมอร์แบบเติม (addition polymerization) ประเภทที่มีตำแหน่งกัมมันต์ (active site) เป็นแอนไอออน (anion) หรือไอออนที่มีประจุลบ ตัวอย่างเช่น การเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลมอนอเมอร์ (vinyl monomer) หรือ 1-แอลคีน ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่ที่ให้อิเล็กตรอนอยู่ด้วย เช่น หมู่แอลคิล หมู่แอลคอกซี หมู่ไวนิล หรือหมู่เฟนิล เช่น ไอโซบิวทิลอีเทอร์ ได้พอลิเมอร์ที่มีประจุบวก (cation) อยู่ที่ปลายโซ่มอนอเมอร์ ประเภทวงแหวนที่มีอะตอมอื่นนอกจากคาร์บอน เช่น ออกซิเจน กำมะถัน ไนโตรเจน ก็สามารถเกิดพอลิเมอร์โดยกลไกการเกิดพอลิเมอร์แบบแคตไอออนได้ เช่น ออกโซเนียมไอออน ซัลโฟเนียมไอออน แอมโมเนียมไอออน เป็นต้น



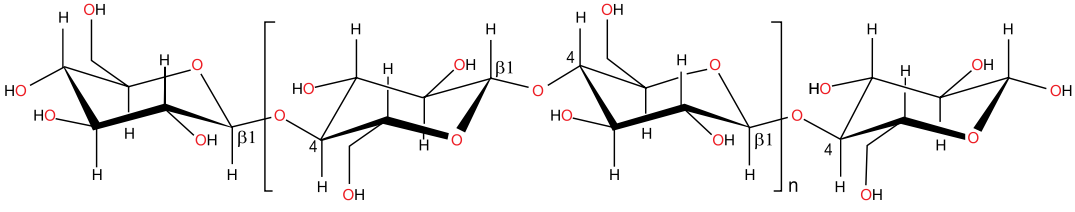
กลไกการเกิดปฏิกิริยาของการเกิดพอลิเมอร์แบบแคตไอออน



การเกิดพอลิเมอร์แบบแคตไอออนของหมู่ไวนิล

**cellulose เซลลูโลส**

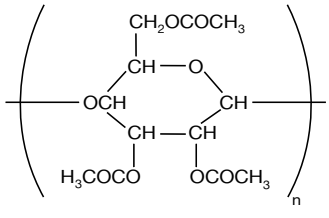
คาร์โบไฮเดรตที่เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ พบได้ในพืชส่วนมาก มีกลูโคส ($C_6H_{10}O_5$) เป็นหน่วยเล็กที่สุด สูตรอย่างง่ายคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ น้ำหนักโมเลกุลกระจายอยู่ระหว่าง 300,000-500,000 เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบสำคัญของไม้แห้ง (dried wood) ปอกระเจา (jute) ป่าน (flax) ปอ (hemp) เป็นต้น ใช้ผลิตกระดาษ และใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมสิ่งก่อสร้าง เซลลูโลสที่มาจากผ้ายเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ใหญ่ที่สุดสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอและเส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรม



โครงสร้างของเซลลูโลส

**cellulose acetate (CA) เซลลูโลสแอซีเทต (ซีเอ)**

เทอร์มอพลาสติกที่สังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลส (ดู cellulose) กับกรดแอซีติก (ดู acetic acid) แต่ในอุตสาหกรรมใช้การสังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสกับกรดแอซีติก แอซีติกแอนไฮไดรด์ (ดู acetic anhydride) และกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) มีความเหนียว (toughness) มันวาว (gloss) และโปร่งแสง (transparent) ใช้เป็นวัสดุสำหรับทำฟิล์มถ่ายรูป แถบบันทึกเสียงและภาพ และผลิตเป็นแผ่นฟิล์ม (sheet) เพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แบบบลิสเตอร์ (blister packaging) และเส้นใยก้นกรองบุหรี่ (cigarette filter)



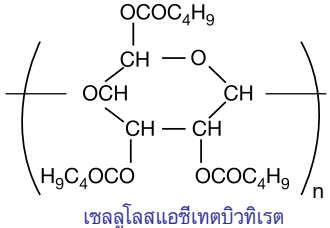
เซลลูโลสแอซีเทต



ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเซลลูโลสแอซีเทต

**cellulose acetate butyrate (CAB) เซลลูโลสแอซีเทต-บิวทิเรต (ซีเอบี)**

เซลลูโลสเอสเทอร์ที่หมู่ไฮดรอกซิลถูกแทนที่ด้วยหมู่บิวทิเรตและหมู่แอซีเทตโดยมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีความต้านทานการแตกหัก เนื่องจากความเค้นในสภาพแวดล้อม (environmental stress cracking resistance) ทนแรงกระแทกสูง (impact strength) ที่อุณหภูมิต่ำ มีการคงสภาพเชิงมิติ (dimensional stability) มีความเหนียว (toughness) ความต้านทานความชื้น (moisture resistance) ใช้ทำลำตัวปากกา พวงมาลัยรถ ด้ามจับเครื่องมือ ช่องแสงหลังคา ส่วนประกอบของกล้อง และแว่นนิรภัย (safety goggles)



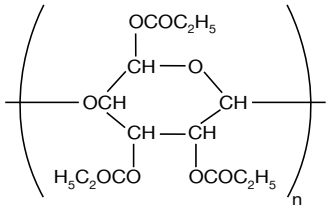
เซลลูโลสแอซีเทตบิวทิเรต


ช่องแสงหลังคาของศูนย์การค้าที่ทำจากเซลลูโลสแอซีเทตบิวทิเรต


ส่วนประกอบของกล้อง


แว่นนิรภัยที่ทำจากเซลลูโลสแอซีเทตบิวทิเรต

**cellulose acetate propionate (CAP) เซลลูโลสแอซีเทตโพรพิออเนต (ซีเอพี)**
เซลลูโลสที่มีหมู่แอซีเทต และหมู่โพรพิออเนตแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล โดยมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปกติประกอบด้วยหมู่แอซีเทตประมาณร้อยละ 2-7 และหมู่โพรพิออเนตประมาณร้อยละ 40 ความหนาแน่นต่ำกว่าเซลลูโลสแอซีเทต (ดู cellulose acetate) หมู่โพรพิออเนตที่เพิ่มขึ้นมาทำให้มีความเหนียว คุณภาพพื้นผิวดี (good surface quality) ทนแรงกระแทก (impact strength) และทนสภาวะอากาศ (weatherability) และมีการคงสภาพเชิงมิติ (dimensional stability) มากกว่าเซลลูโลสแอซีเทต ใช้ผลิตแผ่นพลาสติก บรรจุภัณฑ์ แปรงสีฟัน แปรงหวีผม



เซลลูโลสแอซีเทตโพรพิออเนต


ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเซลลูโลสแอซีเทตโพรพิออเนต

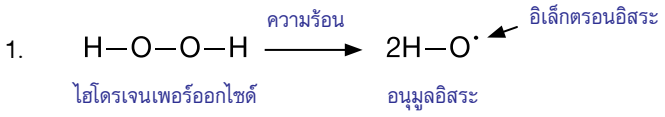
**cellulose triacetate (CT) เซลลูโลสไทรแอซีเทต (ซีที)**
เทอร์มอพลาสติก สังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสบริสุทธิ์กับแอซีติกแอนไฮไดรด์ (ดู acetic anhydride) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา นิยมใช้ผลิตฟิล์มและเส้นใย ฟิล์มที่ได้มีความใสดีเยี่ยม (clarity) ความต้านแรงดึงสูง (tensile strength) ความต้านทานความร้อนดี (heat resistance) และมีการคงสภาพเชิงมิติ (dimensional stability) นิยมใช้ทำปกหนังสือ (book jacket) กระดาษแก้ว แถบบันทึกแม่เหล็ก (magnetic recording tape) ฟิล์มสำหรับเครื่องฉายภาพสไลด์ และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ

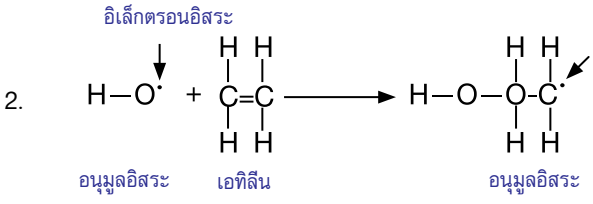


ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเซลลูโลสไทรแอซีเทต

**chain initiation, initiation ขั้นริเริ่มสายโซ่**

ขั้นตอนแรกของการกระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบโซ่ (ดู chain polymerization) โดยสารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) ได้รับพลังงานจากความร้อน (heat) หรือการแผ่รังสี (radiation) แล้วแตกตัวให้อนุมูลอิสระ อะตอมหรือหมู่อะตอมที่มีหมู่ว่องไวเป็นอนุมูลอิสระ ไอออน หรือสารประกอบเชิงซ้อน จากนั้นจึงเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์

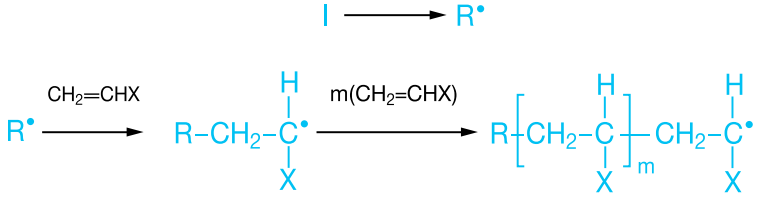



ขั้นริเริ่มสายโซ่

**chain polymerization, addition polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบโซ่, การเกิดพอลิเมอร์แบบเติม**

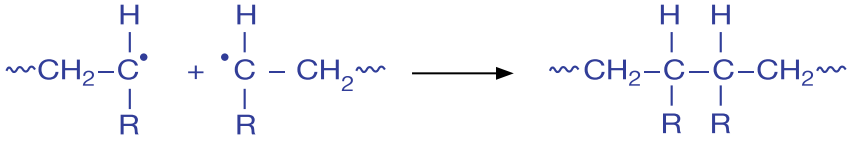
การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบหนึ่งของสารมอนอเมอร์ที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลเริ่มต้นโดยนำสารเริ่มปฏิกิริยา ซึ่งอาจเป็นอนุมูลอิสระหรือไอออน ทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์เพื่อให้เกิดตำแหน่งกัมมันต์บนมอนอเมอร์ ปฏิกิริยาการเติมมอนอเมอร์จะเกิดที่ตำแหน่งกัมมันต์อย่างต่อเนื่อง ได้สายโซ่พอลิเมอร์ น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และเกือบคงที่ตลอดปฏิกิริยา มอนอเมอร์ที่สามารถผ่านปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบโซ่นี้ได้คือ ไวนิลมอนอเมอร์ ($CH_2$=CHX) หรือไดอีน ($CH_2$=CX-CH=$CH_2$) โดย X คือหมู่แทนที่ เช่น คลอไรด์ แอซีเทต ไซยาไนด์ นอกจากนี้ มอนอเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นวงอิ่มตัว (saturated cyclic monomer) ก็สามารถเกิดปฏิกิริยาการเปิดวงด้วยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบโซ่ได้เช่นกัน



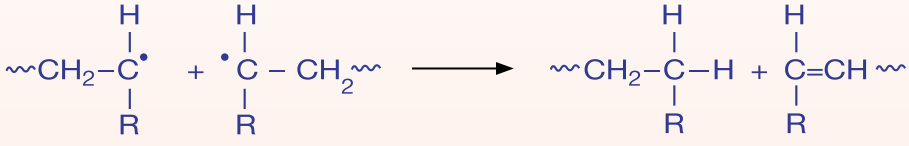

การเกิดพอลิเมอร์แบบโซ่

**chain termination, termination ขั้นสิ้นสุดสายโซ่**

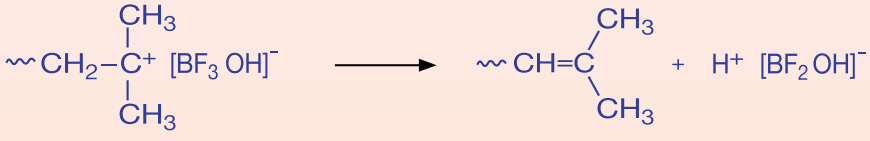
ขั้นตอนสิ้นสุดของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบโซ่ (ดู chain polymerization) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์หยุดการเติบโต การสิ้นสุดมี 2 ลักษณะคือ สายโซ่พอลิเมอร์ที่มีอนุมูลอิสระ 2 สายโซ่รวมตัวกัน เรียกว่า การรวมตัวของอนุมูลอิสระ (combination หรือ coupling)



และการถ่ายโอนอนุมูลอิสระจากสายโซ่พอลิเมอร์อื่น เรียกว่า ปฏิกิริยาดิสพรอพอร์ชันเนชัน (disproportionation)



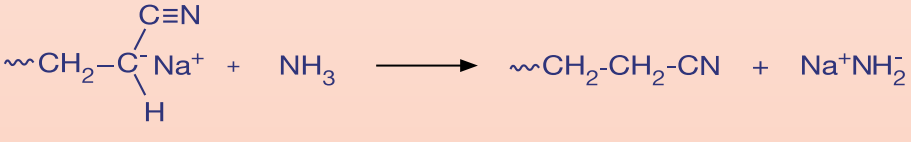
สำหรับการสิ้นสุดสายโซ่ในปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบไอออน จะไม่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่ที่มีอนุมูลอิสระ เนื่องจากแรงผลักกันทางไฟฟ้าสถิต แต่อาจเกิดขึ้นเองโดยการจัดเรียงตัวใหม่ให้เป็นพอลิเมอร์ที่มีพันธะคู่อยู่ที่ปลายสายโซ่ หรืออาจเกิดการถ่ายโอนสายโซ่ไปยังมอนอเมอร์หรือตัวทำละลาย



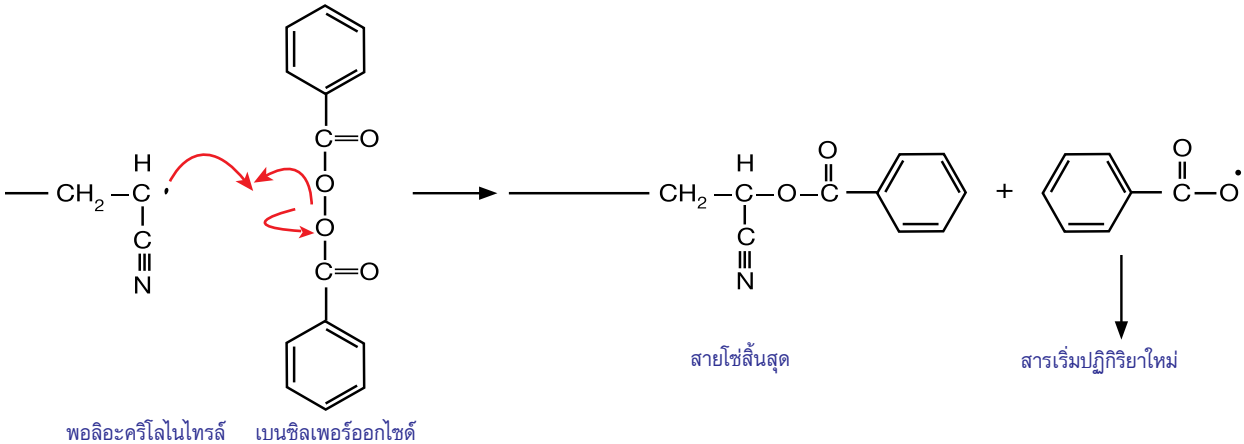
หรือ



หรือ



**chain transfer การถ่ายโอนสายโซ่**
ขั้นตอนการหยุดการเติบโตของสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีความไว พร้อมกับการสร้างสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีความไวขึ้นใหม่โดยการถ่ายโอนสายโซ่ สารที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนสายโซ่ (สารถ่ายโอนสายโซ่) อาจเป็นมอนอเมอร์ (monomer) สารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) หรือตัวทำละลาย (solvent) ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ (radical polymerization) ตัวอย่างการถ่ายโอนสายโซ่ในปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ได้แก่ การใช้สารถ่ายโอนสายโซ่ 2-เมอร์แคปโทเอทานอล (2-mercaptoethanol) ในการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบอนุมูลอิสระ หรือการถ่ายโอนสายโซ่ที่กำลังเติบโตของการสังเคราะห์พอลิอะคริโลไนไทรล์ (ดู poly(acrylonitrile)) ไปยังเบนซิลเพอร์ออกไซด์ (benzyl peroxide) ซึ่งใช้เป็นสารเริ่มปฏิกิริยา

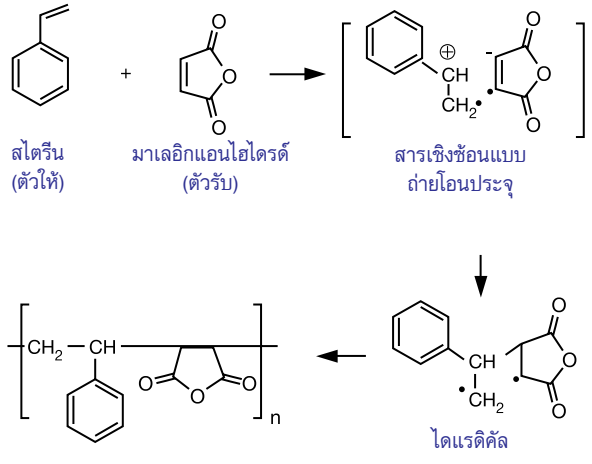



การถ่ายโอนสายโซ่

**chain-transfer agent (CTA) สารถ่ายโอนโซ่ (ซีทีเอ)**
สารเคมีที่ใช้ในการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) เพื่อหยุดการเติบโตของสายโซ่พอลิเมอร์ เพื่อควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ให้ได้ตามความต้องการ และไม่ให้น้ำหนักโมเลกุลสูงจนเกินไป โดยทำให้เกิดการถ่ายโอนสายโซ่ในโครงสร้างของสายโซ่พอลิเมอร์ อาจเป็นสารละลาย สารเจือปน (impurities) หรือสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อจำกัดน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ ตัวอย่างของสารถ่ายโอนสายโซ่ ได้แก่ สารประกอบไทออล (thiol) และคาร์บอนเททระคลอไรด์ (carbon tetrachloride)

**charge-transfer polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบถ่ายโอนประจุ**
การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบโซ่แบบหนึ่ง (ดู chain polymerization) ซึ่งสร้างสารเชิงซ้อนที่ถ่ายโอนประจุระหว่างโมเลกุลที่ให้อิเล็กตรอน กับโมเลกุลที่รับอิเล็กตรอน เช่น อาจจะมีมอนอเมอร์ (monomer) เป็นตัวให้อิเล็กตรอน (electron donor) และสารเริ่มปฏิกิริยาเป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron acceptor) หรือระหว่างมอนอเมอร์ 2 ชนิดที่เป็นทั้งตัวรับและตัวให้อิเล็กตรอน ได้พอลิเมอร์ร่วมที่มีหน่วยซ้ำ (repeating unit) สลับในสัดส่วน 1:1 เช่น พอลิเมอร์ร่วมระหว่างมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (ดู maleic anhydride) กับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มอนอเมอร์ทั้งแบบมีขั้วและไม่มีขั้วก็สามารถเกิดพอลิเมอร์ได้โดยใช้เมทัลแฮไลด์ ($MX_n$) เช่น $AlEtCl_2$ หรือ $ZnCl_2$ ทำให้เกิดสารเชิงซ้อน

กับมอนอเมอร์ที่มีขั้ว เช่น เอสเทอร์ ไนไทรล์ เกิดสารเชิงซ้อนประเภทรับอิเล็กตรอน ส่วนมอนอเมอร์ที่ไม่มีขั้ว เช่น สไตรีน ไดอีน แอลคีน ก็จะเป็นมอนอเมอร์ที่ให้อิเล็กตรอน การถ่ายโอนประจุสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายโดยการฉายแสง ซึ่งทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน



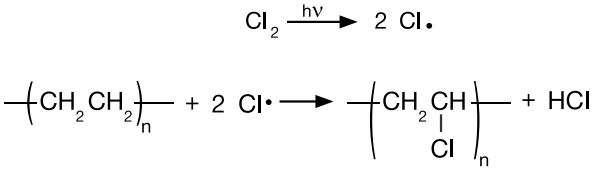

การเกิดพอลิเมอร์แบบถ่ายโอนประจุ

**chlorinated polyether คลอริเนตเทดพอลิอีเทอร์**

เทอร์มอพลาสติกอสัณฐานพอลิเมอร์โซ่ตรง อยู่ในกลุ่มของพอลิอีเทอร์ สังเคราะห์จากการเกิดพอลิเมอร์ของคลอริเนตเทดมอนอเมอร์ เนื่องจากโครงสร้างเป็นผลึก จึงมีความเสถียรต่อสารเคมีและความร้อนสูง ทนสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 121 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า นำไปใช้เพื่อลดต้นทุนในการผลิตท่อ วาล์ว ปั๊ม และปรับปรุงสมบัติความทนสารเคมี

**chlorinated polyethylene (CPE) คลอริเนตเทดพอลิเอทิลีน (ซีพีอี)**

พอลิเอทิลีนที่มีการเติมอะตอมคลอรีนในสายโซ่พอลิเมอร์ สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการแทนที่อะตอมไฮโดรเจน ในสายโซ่หลักของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (ดู high density polyethylene (HDPE)) หรือพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (ดู low density polyethylene (LDPE)) ด้วยอะตอมคลอรีน โดยทั่วไป เกิดด้วยกลไกแบบอนุมูลอิสระ (free radical mechanism) โดยการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet light) หรือสารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างสมบัติของพอลิเอทิลีน (ดู polyethylene) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride) ต้านทานออกซิเจนและโอโซน (oxygen and ozone resistance) ทนการฉีกขาด (tear strength) คงสมบัติได้แม้เมื่อถูกบ่มด้วยความร้อน (heat aging characteristic) ทนน้ำมันและสารเคมี (oil and chemical resistance) นิยมใช้ผลิตฉนวนเคเบิล (cable insulation) และนำไปผสมกับพอลิไวนิลคลอไรด์เพื่อปรับปรุงความยืดหยุ่นและเสถียรภาพทางความร้อน สำหรับขั้นตอนการขึ้นรูป



ปฏิกิริยาการเติมคลอรีนของคลอริเนตเทดพอลิเอทิลีน



ปลอกหุ้มสายไฟฟ้าที่ผลิตจากคลอริเนตเทดพอลิเอทิลีน

**chlorinated polyvinyl chloride (CPVC) คลอริเนตเทดพอลิไวนิลคลอไรด์ (ซีพีวีซี)**

พีวีซีที่ถูกเติมคลอรีน โดยผ่านคลอรีนเข้าไปในสารละลายพีวีซี ในทางการค้ามีปริมาณคลอรีนประมาณร้อยละ 66-67 เพื่อปรับปรุงสมบัติให้ดีกว่าพีวีซีทั่วไป เช่น การทนสารเคมี ค่ามอดุลัสการดึงและความต้านทานแรงดึงสูง มีความต้านทานการเผาไหม้และการเกิดควัน ใช้ผลิตท่อส่งน้ำ ท่อส่งสารเคมีในโรงงาน และชิ้นส่วนภายในรถยนต์





ท่อซีพีวีซี

**chlorination การเติมคลอรีน**

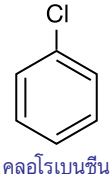
การเติมคลอรีน (chlorine) เข้าไปในโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เกิดเป็นพันธะระหว่างคาร์บอนกับคลอรีนแทนไฮโดรเจน เช่น แอลคีน (ดู alkene) หรือแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ได้สารใหม่ที่มีอะตอมของคลอรีนในโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น การเติมคลอรีน (chlorine) ลงในเอทิลีน (ethylene) เพื่อสังเคราะห์เอทิลีนไดคลอไรด์ (ดู ethylene dichloride) ซึ่งเป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) ที่ใช้สังเคราะห์ไวนิลคลอไรด์ (ดู vinyl chloride) หรือการเติมคลอรีนในวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) เพื่อสังเคราะห์คลอโรเบนซีน (ดู chlorobenzene) เป็นต้น

$$CH_2{=}CH_2 + Cl_2 \longrightarrow ClCH_2CH_2Cl$$

เอทิลีน คลอรีน เอทิลีนไดคลอไรด์

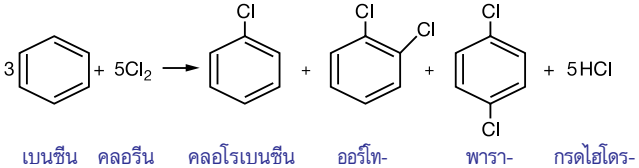
**chlorobenzene คลอโรเบนซีน**

สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) มีคลอรีน (ดู chlorine) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีน สูตรโมเลกุล $C_6H_5Cl$




คลอโรเบนซีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวใส ไม่มีสี ไวไฟ ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ สังเคราะห์จากสารตั้งต้นเบนซีนโดยการเติมคลอรีน (ดู chlorination) โดยมีเฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา




เบนซีน คลอรีน คลอโรเบนซีน ออร์โท-ไดคลอโรเบนซีน พารา-ไดคลอโรเบนซีน กรดไฮโดร-คลอริก

คลอโรเบนซีนเป็นตัวทำละลาย สารตั้งต้นในการผลิตฟีนอล (ดู phenol) ที่ใช้ผลิตบิสฟีนอลเอ (ดู bisphenol-A) ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ (monomer) สำหรับผลิตพอลิคาร์บอเนต (ดู polycarbonate) โดยทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) และใช้ผลิตไนโตรเบนซีน (ดู nitrobenzene) สารตั้งต้นในการผลิตแอนิลีน (ดู aniline)

**chlorohydrin process กระบวนการคลอโรไฮดริน**

การสังเคราะห์สารประกอบคลอโรไฮดริน (chlorohydrin) ที่มีคลอรีน (ดู chlorine) และแอลกอฮอล์ (alcohol) เป็นหมู่แทนที่ในโครงสร้าง เช่น เอทิลีนคลอโรไฮดริน (ethylene chlorohydrin) และโพรพิลีนคลอโรไฮดริน (propylene chlorohydrin) สังเคราะห์โดยนำสารตั้งต้นมาทำปฏิกิริยากับคลอโรไฮดริน ใช้สำหรับผลิตเอทิลีนออกไซด์ (ดู ethylene oxide) และโพรพิลีนออกไซด์ (ดู propylene oxide) ตามลำดับ

$$CH_2{=}CH_2 + HOCl \longrightarrow HOCH_2CH_2Cl$$

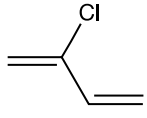
เอทิลีน คลอโรไฮดริน เอทิลีนคลอโรไฮดริน

$$CH_3CH{=}CH_2 + HOCl \longrightarrow CH_3CHOHCH_2Cl$$

โพรพิลีน คลอโรไฮดริน โพรพิลีนคลอโรไฮดริน

**chloroprene, 2-chlorobuta-1,3-butadiene คลอโรพรีน, 2-คลอโรบิวทา-1,3-บิวทาไดอีน**

สารประกอบอินทรีย์ไม่อิ่มตัวที่มีโครงสร้างแอลคีน (ดู alkene) มีอะตอมคลอรีน (ดู chlorine) แทนที่อะตอมไฮโดรเจนที่เกาะกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ในโครงสร้างของ 1,3-บิวทาไดอีน (1,3-butadiene) สูตรโมเลกุล $C_4H_5Cl$




คลอโรพรีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวใส ไม่มีสี สังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้นอะเซทิลีน (ดู acetylene) 2 โมเลกุล ด้วยกระบวนการอะเซทิลีน (acetylene process)

$$HC{\equiv}C\text{-}CH{=}CH_2 + HCl \longrightarrow H_2C{=}C{=}CH\text{-}CH_2Cl$$

ไวนิลอะเซทิลีน กรดไฮโดรคลอริก 4-คลอโร-1,2-บิวทาไดอีน

$$H_2C{=}C{=}CH\text{-}CH_2Cl \longrightarrow H_2C{=}CCl\text{-}CH{=}CH_2$$

4-คลอโร-1,2-บิวทาไดอีน คลอโรพรีน

คลอโรพรีนใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตยางคลอโรพรีน (ดู chloroprene rubber) มีชื่อทางการค้าว่า ยางนีโอพรีน (ดู neoprene rubber)

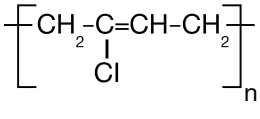





ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยางนีโอพรีน

**chloroprene rubber (CR), neoprene rubber ยางคลอโรพรีน (ยางซีอาร์), ยางนีโอพรีน**

ยางสังเคราะห์ที่ได้จากมอนอเมอร์ของคลอโรพรีนภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ชื่อเคมี 2-คลอโร-1,3-บิวทาไดอีน (2-chloro-1,3-butadiene) โมเลกุลจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ การเกิดตกผลึกได้เมื่อถูกแรงดึงกระทำ สมบัติของยางชนิดนี้คล้ายกับยางธรรมชาติ มีความต้านทานแรงดึง (tensile strength) ความต้านทานการฉีกขาด (tear resistance) และความต้านทานการขัดถูสูง (abrasion resistance) เป็นยางที่มีขั้ว (polarity) เนื่องจากอะตอมของคลอรีน ทำให้มีความต้านทานน้ำมัน (oil resistance) ได้เพียงระดับปานกลางถึงดี ทนความร้อน แสงแดด และโอโซนได้ดี และยังเป็นสารหน่วงเปลวไฟ (flame retardant) นิยมนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ในงานภายนอกอาคาร เช่น ยางขอบหน้าต่าง ยางรองคอสะพาน ยางปลอกสายเคเบิล ทำกาวยาง ยางใช้เคลือบ และวัสดุอุดรอยรั่ว เป็นต้น




สูตรโครงสร้างของยางคลอโรพรีน



ยางรองแบบต่างๆ



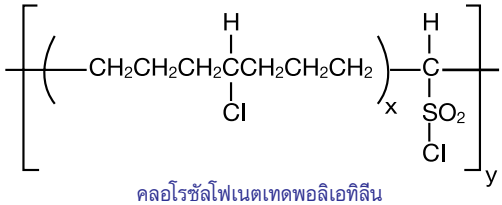

กาวยาง



ยางแบบต่างๆ

**chlorosulfonated polyethylene (CSPE) คลอโร-ซัลโฟเนตเทดพอลิเอทิลีน (ซีเอสพีอี)**

พอลิเอทิลีนที่มีการเติมการคลอรีน ($Cl_2$) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ($SO_2$) ในสายโซ่พอลิเมอร์ เพื่อเพิ่มความเป็นขั้ว (polarity) และทำให้เกิดการเชื่อมขวางของหมู่ซัลโฟนิลคลอไรด์ (sulfonyl chloride) ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ เพื่อให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น (elastomeric) ทนโอโซน (ozone) ทนความร้อนและภาวะอากาศ ไม่ติดไฟ ใช้ทำสารเคลือบสำหรับปกป้อง เช่น ใช้เคลือบถุงมือที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม ปลอกหุ้มสายเคเบิล (cable jacketing) ฉนวนสายไฟ ใช้ทำวัสดุสำหรับบุรองเครื่องมือที่ใช้สำหรับกระบวนการเคมี วัสดุบุรองและฝาคลุมบ่อเก็บกักของเสีย




คลอโรซัลโฟเนตเทดพอลิเอทิลีน



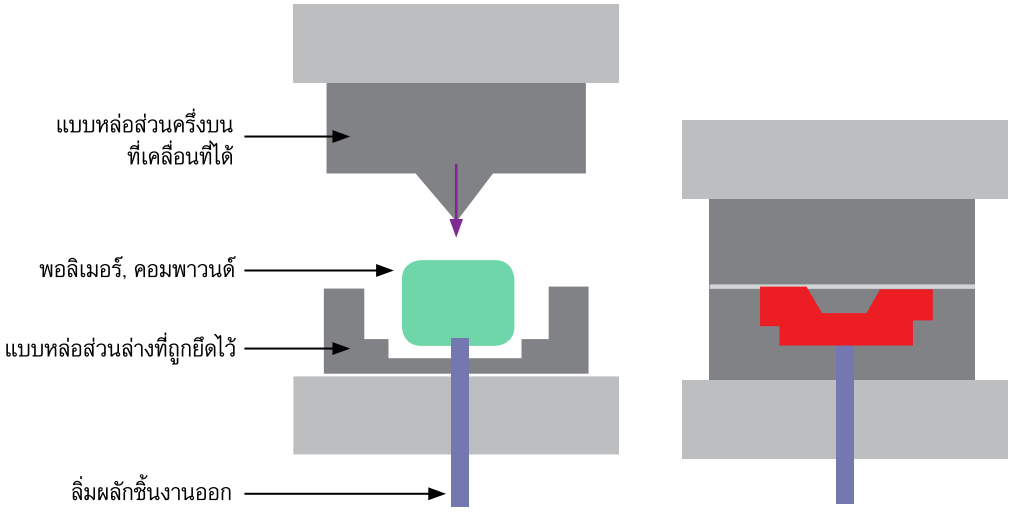




ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากคลอโรซัลโฟเนตเทดพอลิเอทิลีน

**compression moulding การขึ้นรูปแบบอัด**

การขึ้นรูปโดยการอัดด้วยความดันภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด มักใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างง่าย (simple shape) ไม่ซับซ้อนมากนัก ใช้เครื่องขึ้นรูปแบบอัดซึ่งมีส่วนประกอบคือ แผ่นเหล็กอัด 2 ชุด (platens) แผ่นบนสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ แผ่นล่างถูกตรึงอยู่กับที่ ส่วนประกอบอื่นๆ คือ อุปกรณ์ให้ความร้อน ระบบไฮดรอลิก และอาจมีอุปกรณ์หล่อเย็น ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์จากการขึ้นรูปแบบอัดถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำสวิทช์ไฟฟ้า กล่องบรรจุสวิตช์ และส่วนของโคมไฟ เป็นต้น






กระบวนการขึ้นรูปแบบอัด



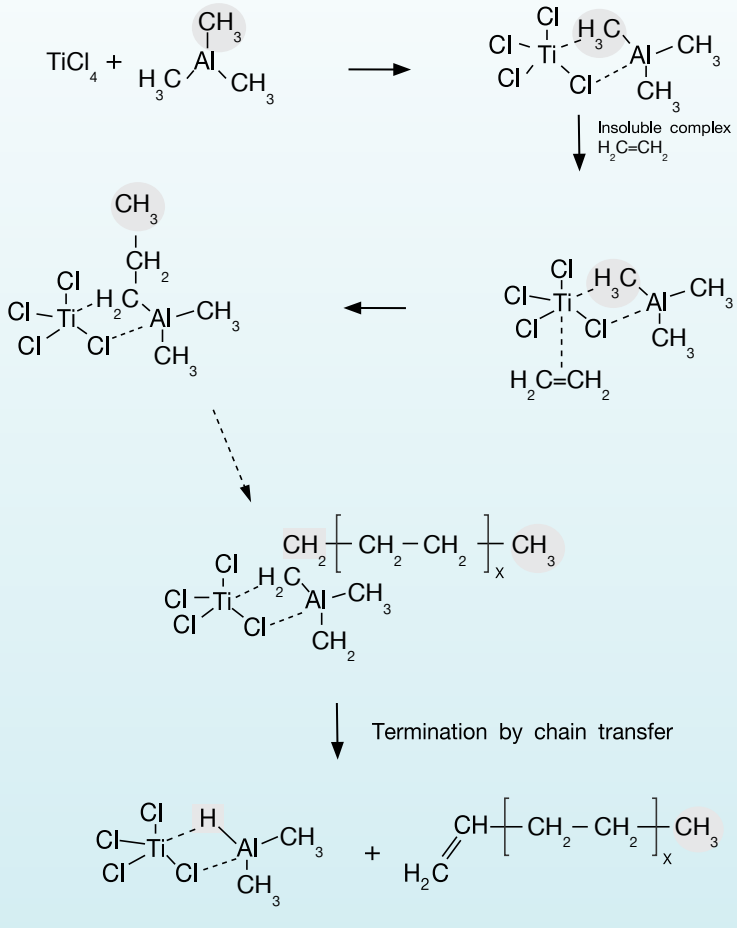
ผลิตภัณฑ์ที่ใช้วิธีการกระบวนการขึ้นรูปแบบอัด

**condensation polymer พอลิเมอร์แบบควบแน่น**

พอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น (condensation polymerization) ระหว่างหมู่ฟังก์ชันของมอนอเมอร์ 2 ชนิด และได้โมเลกุลเล็กๆ จากปฏิกิริยาด้วย เช่น น้ำ กรดไฮโดรคลอริก ซึ่งจะถูกกำจัดออกไป ส่วนพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจะมีหมู่ฟังก์ชันเป็นเอกลักษณ์ของพอลิเมอร์นั้น ตัวอย่างเช่น พอลิเอไมด์ (ดู polyamide) พอลิแอซีทัล (ดู polyacetal) และพอลิเอสเทอร์ (ดู polyester)

**coordination polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบโคออร์ดิเนต**

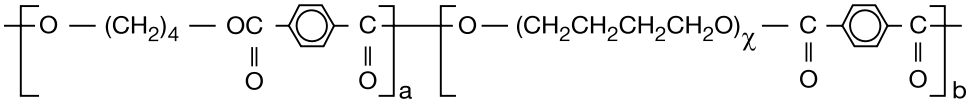
การเกิดพอลิเมอร์ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเกลือของโลหะแทรนซิชัน (transition metal) และโลหะแอลคิล (alkyl metal) เกิดเป็นพอลิเมอร์ของไวนิลมอนอเมอร์ (มีพันธะคู่) เกิดพันธะโคออร์ดิเนตกับอะตอม หรือไอออนของโลหะ ตัวอย่างเช่น การเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลมอนอเมอร์ของเอทิลีนมอนอเมอร์ (ethylene monomer) เพื่อสังเคราะห์พอลิเอทิลีน (ดู polyethylene) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกลือของโลหะแทรนซิชันและโลหะแอลคิล การเกิดพอลิเมอร์ของเอทิลีนได้เป็นพอลิเอทิลีน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา (Ziegler-Natta catalyst)




กลไกการเกิดพอลิเมอร์แบบโคออร์ดิเนชันของพอลิเอทิลีน

**copolyester พอลิเมอร์ร่วมพอลิเอสเทอร์**

วัสดุยืดหยุ่นประเภทเทอร์มอพลาสติก (ดู thermoplastic elastomers) เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่มแยกส่วน (segment block copolymer) ประกอบด้วยส่วนของพอลิเอสเทอร์ที่เป็นผลึกแข็ง (polyester hard crystalline segment) และส่วนที่เป็นอสัณฐานอ่อนตัวยืดหยุ่นดัดงอได้ (flexible soft amorphous segment) โดยทั่วไปส่วนที่เป็นผลึกแข็งประกอบด้วยกลุ่มเอสเทอร์สายโซ่สั้น (short chain ester blocks) เช่น เททระเมทิลีน เทเรฟแทเลต (tetramethylene terephthalate) และส่วนอสัณฐาน ประกอบด้วยพอลิเอสเทอร์แอลิเฟทิก (aliphatic polyester) หรือพอลิเอสเทอร์ไกลคอลแอลิเฟทิก (aliphatic polyester glycol) และอนุพันธ์ (derivatives) หรือพอลิอีเทอร์เอสเทอร์ไกลคอล (polyether ester glycol) ใช้ทำวัสดุตกแต่งภายนอกรถยนต์ (automotive exterior trim) ส่วนประกอบของแผงหน้าปัดด้านหน้ารถ (fascia component) สปอยเลอร์ (spoiler) แถบกาวหน้าต่าง (window tract tape) รองเท้าบูท (boots) เครื่องสูบลม (bellow) ปลอกหุ้มสายไฟ (underhood wire covering) ตัวเชื่อมต่อ (connector) สายยางและสายพาน (hose and belt) สารผนึกอุปกรณ์ (appliance seal) ส่วนประกอบเครื่องมือ (power tool component) รองเท้าเล่นสกี (ski boots) และส่วนประกอบกระโจมพักแรม (camping component)




โครงสร้างของวัสดุยืดหยุ่นเทอร์มอพลาสติกพอลิอีเทอร์เอสเทอร์ทางการค้า





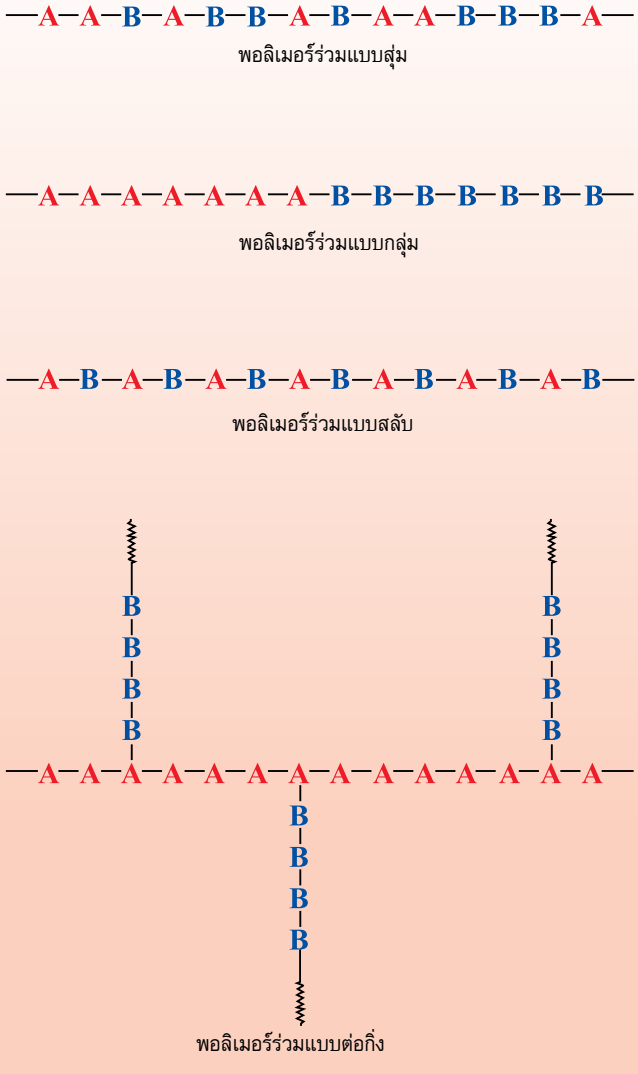




รองเท้าสกี

**copolymer พอลิเมอร์ร่วม**

พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ หรือหน่วยซ้ำตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป มาทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ พอลิเมอร์ร่วมแต่ละชนิดจำแนกได้ตามการเรียงตัวของหน่วยซ้ำในพอลิเมอร์ เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (random copolymer) พอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่ม (block copolymer) พอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ (alternating copolymer) พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง (graft copolymer) คุณสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมจะมาจากคุณสมบัติของมอนอเมอร์ เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่มของอะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer) สามารถทนแรงกระแทก ซึ่งสมบัติดังกล่าวได้มาจากบิวทาไดอีนมอนอเมอร์ เป็นต้น



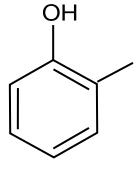

ลักษณะของพอลิเมอร์ร่วมชนิดต่างๆ

**copolymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบร่วม**
การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วม (ดู copolymer) ซึ่งประกอบด้วยมอนอเมอร์ (monomer) หรือหน่วยซ้ำ (repeating unit) มากกว่า 1 ชนิดมาทำปฏิกิริยากัน ชนิดของพอลิเมอร์แบบร่วมนั้นเรียกตามการเรียงตัวของหน่วยซ้ำในพอลิเมอร์ เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (random copolymer) พอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่ม (block copolymer) พอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ (alternating copolymer) พอลิเมอร์ร่วมแบบกิ่ง (graft copolymer) การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมกระทำโดยการเกิดพอลิเมอร์แบบโซ่ (ดู chain polymerization) หรือการเกิดพอลิเมอร์แบบเติม (addition polymerization) เท่านั้น

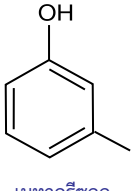
**cracking การแตกตัว**
การทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนักที่มีโมเลกุลใหญ่แตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดเบาที่มีโมเลกุลเล็กลง แบ่งออกเป็น 4 ประเภทด้วยกันคือ การแตกตัวโดยใช้ไอน้ำร่วมด้วย (ดู steam cracking) การแตกตัวด้วยความร้อน (ดู thermal cracking) การแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking) และการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน (ดู hydrocracking)

**cresol, tricresol, methyl phenol ครีซอล, ไทรครีซอล, เมทิลฟีนอล**
สารประกอบอินทรีย์ประเภทแอลคิลฟีนอล (ดู alkylphenol) ที่มีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) เป็นหมู่แทนที่บนวงแหวนเบนซีนของโมเลกุลฟีนอล (ดู phenol) สูตรโมเลกุล $C_7H_8O$ จัดโครงสร้างโมเลกุลได้เป็น 3 ไอโซเมอร์ (isomer) ตามตำแหน่งของหมู่เมทิลที่เกาะบนวงแหวนฟีนอล

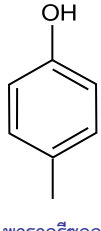
1) ออร์โทครีซอล (ortho-cresol, o-cresol) หรือ 2-เมทิลครีซอล (2-methyl cresol) ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ผลึกของแข็ง ไม่มีสี
2) เมทาครีซอล (meta-cresol, m-cresol) หรือ 3-เมทิลครีซอล (3-methyl cresol) ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวข้น
3) พาราครีซอล (para-cresol, p-cresol) หรือ 4-เมทิลครีซอล (4-methyl cresol) ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ



ออร์โทครีซอล



เมทาครีซอล



พาราครีซอล

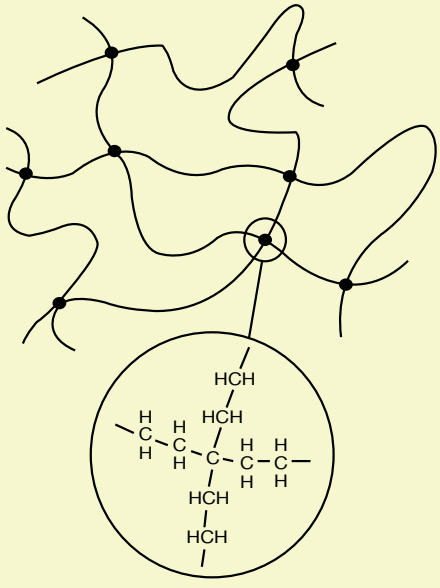
สารประกอบครีซอลเป็นสารที่พบได้ในน้ำมันดิน (coal tar) และปิโตรเลียม หรือสังเคราะห์จากสารตั้งต้นทอลิวอีน (ดู toluene) ทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน (sulfonation) หรือออกซิเดชัน (oxidation) ในภาวะที่มีก๊าซไนตรัสออกไซด์ (nitrous oxide) เป็นตัวทำละลายสำหรับน้ำยาฆ่าเชื้อโรค น้ำยาดับกลิ่น และใช้สังเคราะห์สารเคมีต่างๆ เช่น เรซิน ไทรครีซิลฟอสเฟต (tricresyl phosphate) ที่ใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) และซาลิซิลแอลดีไฮด์ (salicyl aldehyde) ที่เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารคีเลต (chelating agent) เป็นต้น



น้ำยาทำความสะอาดฆ่าเชื้อโรค

**crosslinked polyethylene (PEX, XLPE) พอลิเอทิลีนเชื่อมขวาง (พีอีเอ็กซ์, เอ็กซ์แอลพีอี)**

พอลิเอทิลีนที่มีการเชื่อมขวาง (crosslinking) ระหว่างสายโซ่ เพื่อเปลี่ยนสมบัติจากเทอร์มอพลาสติก (thermoplastic) เป็นเทอร์มอเซต (thermoset) การเชื่อมขวางทำได้โดยวิธีทางเคมีและวิธีฉายรังสีพลังงานสูง (chemical means and ionizing radiation) วิธีทางเคมีคือ การเติมเพอร์ออกไซด์เพื่อให้เกิดอนุมูลอิสระบนสายโซ่พอลิเอทิลีน และเกิดการเชื่อมขวางของอนุมูลอิสระ ส่วนวิธีฉายรังสีพลังงานสูง (ionizing radiation) เป็นการฉายรังสีลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงแก่วัสดุ ในขณะที่ให้ความร้อนแก่วัสดุที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวผลึกจนอยู่ในภาวะคล้ายยาง การเชื่อมขวางทำให้พอลิเอทิลีนมีสมบัติคล้ายเทอร์มอเซตพลาสติก มีการคงสภาพเชิงมิติ (dimensional stability) ทนสารเคมีและอุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น อีกทั้งยังปรับปรุงสมบัติที่อุณหภูมิต่ำได้ ทนแรงกระแทกและทนการยืดดึงได้ดีขึ้น (impact and tensile strength) ทนการแตกเปราะดีขึ้น (brittle fracture resistance) ใช้ทำรองเท้าบูท สายไฟ และปลอกหุ้มสายเคเบิล



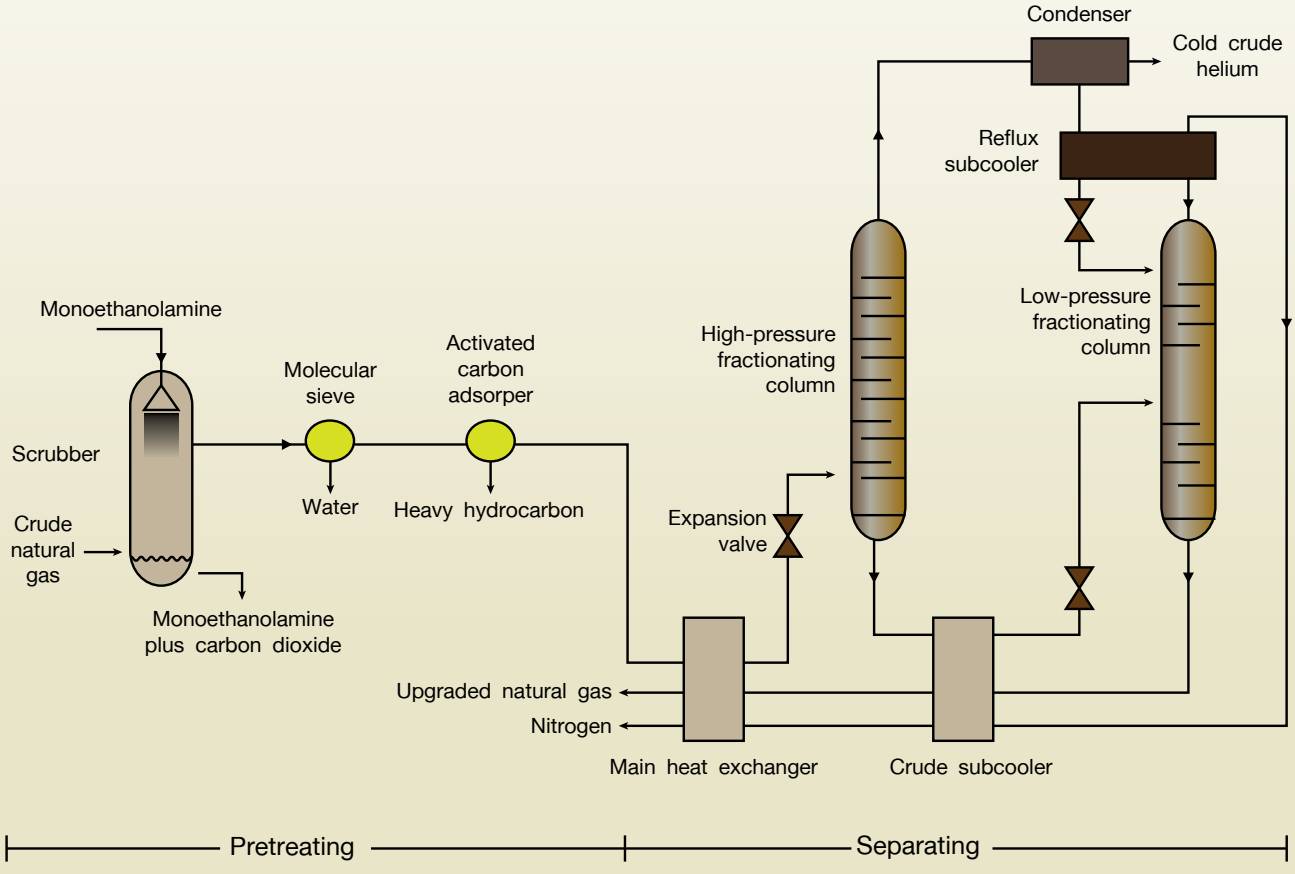

พอลิเอทิลีนเชื่อมขวาง





ผลิตภัณฑ์ที่ใช้พอลิเอทิลีนเชื่อมขวางเป็นส่วนประกอบ

**cryogenic process กระบวนการทำความเย็นยวดยิ่ง**
กระบวนการทำความเย็นจนถึงอุณหภูมิต่ำกว่า -150 องศาเซลเซียส กระบวนการสำคัญที่ใช้เปลี่ยนสภาวะก๊าซธรรมชาติให้เป็นของเหลว (liquefaction) โดยลดอุณหภูมิของระบบจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของก๊าซมีเทน (ดู methane) ที่ -162 องศาเซลเซียส ก๊าซธรรมชาติในสภาวะของเหลวถูกขนส่งโดยใช้เรือบรรทุกขนาดใหญ่ และกักเก็บในถังใต้ดินเพื่อสำรองใช้ เมื่อมีความต้องการเพิ่ม

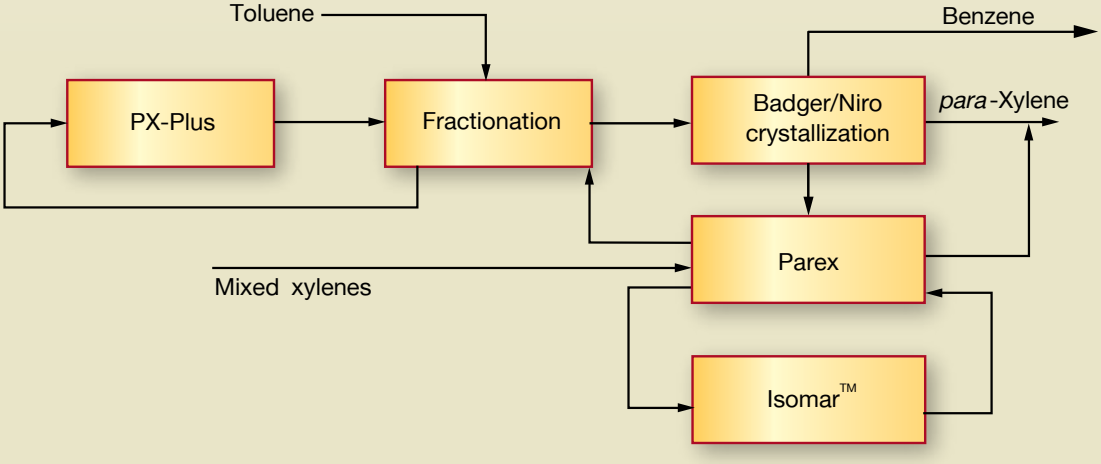



กระบวนการทำความเย็นยวดยิ่ง

**crystallization process กระบวนการตกผลึก**

กระบวนการตกผลึกของแข็งออกจากสารละลาย (solution) หรือของแข็งหลอมเหลว (melted solid) เป็นวิธีทำให้ของผสมประเภทของแข็ง-ของเหลวบริสุทธิ์วิธีหนึ่ง ใช้การเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกละลาย (solute) ออกจากสารละลายและรวมตัวเป็นผลึกของแข็งบริสุทธิ์ กระบวนการตกผลึกประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเกิดนิวเคลียสผลึก (nucleation) และการเติบโตของผลึก (crystal growth) ในขั้นการเกิดนิวเคลียสผลึก โมเลกุลของตัวถูกละลายในตัวทำละลายเริ่มรวมตัวกันเป็นกลุ่ม (cluster) ที่มีขนาดเล็กระดับนาโน และขยายขนาดขึ้นจนเป็นนิวเคลียสที่มีขนาดเท่ากับขนาดวิกฤต (critical cluster size) และมีการจัดเรียงอะตอมที่เป็นระเบียบตามโครงสร้างผลึก (crystal structure) ในขั้นการเติบโตของผลึก นิวเคลียสขยายขนาดเพิ่มขึ้นจากขนาดวิกฤต โดยมีความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายหรือความอิ่มตัวของสารละลายเป็นแรงขับ กระบวนการตกผลึกมีประโยชน์ในการผลิตผลึกของแข็งที่มีขนาดต่างๆ และการทำให้สารบริสุทธิ์ สามารถแยกโมเลกุลของสารที่ต้องการออกจากของเหลวได้โดยการลดอุณหภูมิและการเติมสารจับกลุ่ม (participant) ที่ช่วยลดความสามารถในการละลายของสารที่ต้องการ เพื่อเร่งให้เกิดการตกผลึก ผลึกของแข็งที่มีรูปร่างสมบูรณ์ถือว่ามีความบริสุทธิ์ เนื่องจากโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวอย่างสมบูรณ์ ไม่มีสิ่งเจือปนเข้ามาแทรกอยู่ในโครงสร้างผลึก ตัวอย่างกระบวนการตกผลึกในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้แก่ กระบวนการแยกพาราไซลีน และการทำให้บริสุทธิ์ที่มีชื่อทางการค้าว่า กระบวนการตกผลึกแบดเจอร์/ไนโร พาราไซลีน (Badger/Niro para-xylene crystallization process) ของบริษัท ยูโอพี (UOP-Universal Oil Products)

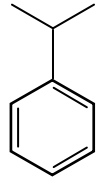
**PX-Plus Process with Badger/Niro crystallization**




กระบวนการตกผลึกแบดเจอร์/ไนโร พาราไซลีน

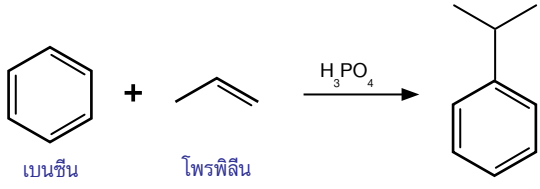
**cumene, isopropyl benzene คิวมีน, ไอโซโพรพิลเบนซีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอลคิลเบนซีน (alkyl benzene) ที่มีหมู่ไอโซโพรพิล (isopropyl, $-CH(CH_3)_2$) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) สูตรโมเลกุล $C_9H_{12}$



คิวมีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลว ไม่มีสี ไวไฟ ไม่ละลายน้ำ สังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้นเบนซีนทำปฏิกิริยาการเติมหมู่แอลคิล (ดู alkylation) กับโพรพิลีน (ดู propylene) ทำได้ทั้งในสภาวะที่เป็นของเหลวและก๊าซ

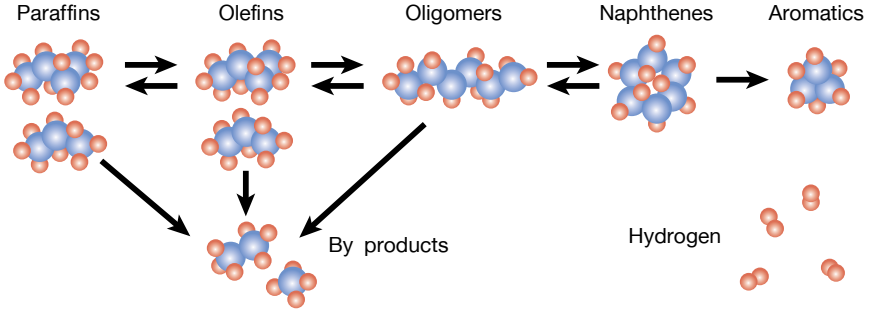



เบนซีน โพรพิลีน คิวมีน

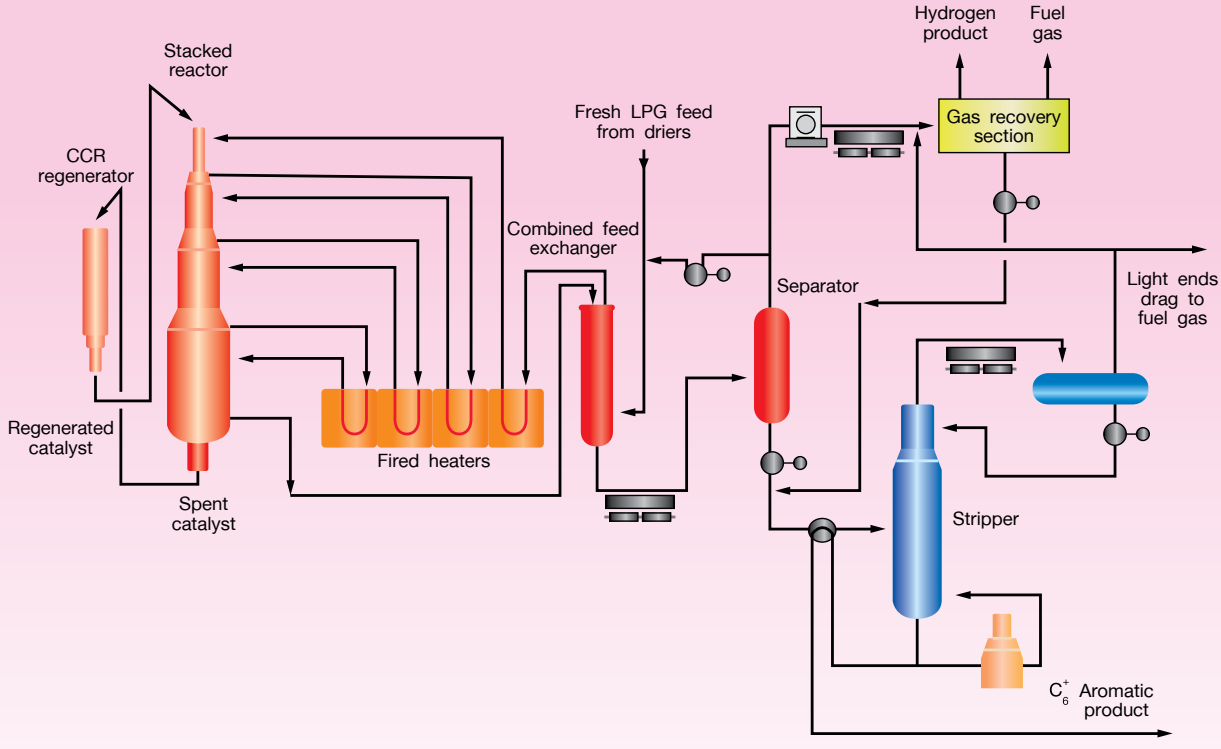
ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตฟีนอล (ดู phenol) และแอซีโทน (ดู acetone) เป็นหลัก โดยผลผลิตทั้ง 2 ชนิดจะทำปฏิกิริยากันเพื่อผลิตบิสฟีนอลเอ (ดู bisphenol-A) สำหรับผลิตพอลิคาร์บอเนต (polycarbonate) คิวมีนที่เหลือบางส่วนใช้ผลิตแอลฟาเมทิลสไตรีน (ดู α-methylstyrene)

**Cyclar process กระบวนการไซคลาร์**

กระบวนการเชิงพาณิชย์ของบริษัท ยูโอพี (UOP) ที่ใช้สังเคราะห์สารแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ได้แก่ เบนซีน (ดู benzene) ทอลิวอีน (ดู toluene) และไซลีน (ดู xylene) โดยใช้สารตั้งต้นก๊าซปิโตรเลียมเหลวทำปฏิกิริยาการเกิดไดเมอร์ ร่วมกับการดึงไฮโดรเจนและการปิดวง (dehydrocyclodimerization) ที่ภาวะอุณหภูมิสูงกว่า 425 องศาเซลเซียส โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและมีก๊าซไฮโดรเจนเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้



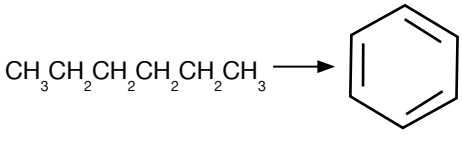

แผนภาพการเกิดปฏิกิริยา




ผังกระบวนการไซคลาร์

**cyclization การปิดวง**

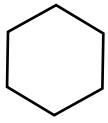
การเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่ตรงให้เป็นวงแหวน เพื่อให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนนอร์มัลเฮกเซน (n-hexane) ให้เป็นวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) เพื่อให้ได้โครงสร้างโมเลกุลที่มีเลขออกเทน (octane number) สูงขึ้น สำหรับใช้ในน้ำมันเบนซิน และเป็นวัตถุดิบตั้งต้นปิโตรเคมี โดยใช้กระบวนการรีฟอร์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reforming)




นอร์มัลเฮกเซน เบนซีน

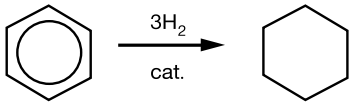
**cyclohexane ไซโคลเฮกเซน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวประเภทไซโคลแอลเคน (cycloalkane) ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนคาร์บอนหกเหลี่ยม สูตรโมเลกุล $C_6H_{12}$



ไซโคลเฮกเซน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลว ไม่มีสี ไวไฟ ไม่ละลายน้ำ สังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้นเบนซีน (ดู benzene) ทำปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนที่ภาวะอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส และความดัน 1.5-2.5 บาร์ โดยมีโลหะนิกเกิลหรือแพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

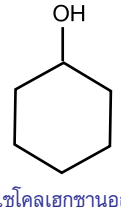



เบนซีน ไซโคลเฮกเซน

เป็นตัวทำละลายชนิดไม่มีขั้ว และสารตั้งต้นสำหรับผลิตกรดแอดิพิก (adipic acid) และคาโพรแลกแทม (ดู carpolactam)

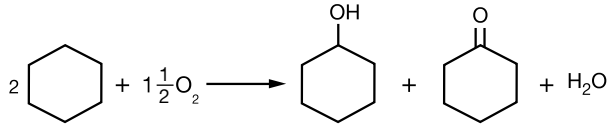
**cyclohexanol ไซโคลเฮกซานอล**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทแอลกอฮอล์ (alcohol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนคาร์บอนหกเหลี่ยมของไซโคลเฮกเซน (ดู cyclohexane) สูตรโมเลกุล $C_6H_{12}O$




ไซโคลเฮกซานอล

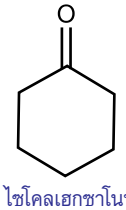
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวข้นเหนียว ไม่มีสี ดูดความชื้นได้ดี สังเคราะห์จากสารตั้งต้นไซโคลเฮกเซนทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) กับก๊าซออกซิเจนในอากาศ ที่อุณหภูมิ 95-120 องศาเซลเซียส ความดัน 10.13 บาร์ โดยมีโคบอลต์แอซีเทต (cobalt acetate) และกรดออร์โทบอริก (orthoboric acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลผลิตที่ได้เป็นของผสมระหว่างไซโคลเฮกซานอลและไซโคลเฮกซาโนน (ดู cyclohexanone) เรียกของผสมนี้ว่า เคเอออยล์ (ketone-alcohol oil, KA oil)




ไซโคลเฮกเซน ออกซิเจน ไซโคลเฮกซานอล ไซโคลเฮกซาโนน น้ำ

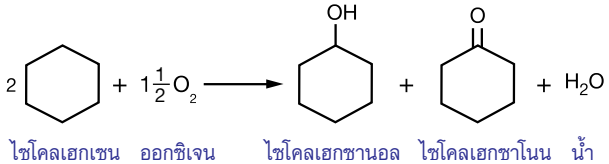
**cyclohexanone ไซโคลเฮกซาโนน**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทคีโทน (ketone) ที่มีหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group, -CO-) อยู่ในวงแหวนของคาร์บอนหกเหลี่ยม สูตรโมเลกุล $C_6H_{10}O$




ไซโคลเฮกซาโนน

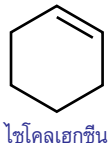
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวหนืดคล้ายน้ำมัน ไม่มีสี กลิ่นคล้ายแอซีโทน (ดู acetone) ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ สังเคราะห์จากสารตั้งต้นไซโคลเฮกเซน (cyclohexane) ทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) กับก๊าซออกซิเจนในอากาศที่อุณหภูมิ 95-120 องศาเซลเซียส ความดัน 10.13 บาร์ โดยมีโคบอลต์แอซีเทต (cobalt acetate) และกรดออร์โทบอริก (orthoboric acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลผลิตที่ได้เป็นของผสมระหว่างไซโคลเฮกซาโนนและไซโคลเฮกซานอล (ดู cyclohexanol) เรียกของผสมนี้ว่า เคเอออยล์ (ketone-alcohol oil, KA oil)




ไซโคลเฮกเซน ออกซิเจน ไซโคลเฮกซานอล ไซโคลเฮกซาโนน น้ำ

**cyclohexene ไซโคลเฮกซีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ประเภทแอลคีน (ดู alkene) ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนคาร์บอนหกเหลี่ยม และพันธะคู่ 1 พันธะอยู่ในวงแหวน สูตรโมเลกุล $C_6H_{10}$



ไซโคลเฮกซีน

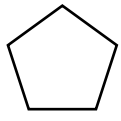
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวใส ไม่มีสี กลิ่นฉุน ไม่เสถียรเนื่องจากไวต่อปฏิกิริยากับแสงและอากาศ เกิดเป็นสารประกอบเพอร์ออกไซด์ (peroxide) สังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้นเบนซีน (benzene) ทำปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจนบางส่วน (partial hydrogenation) เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น ไซโคลเฮกซานอล (ดู cyclohexanol) กรดอะดิพิก (ดู adipic acid) กรดมาเลอิก (maleic acid) ไดไซโคลเฮกซิลแอดิเพต (dicyclohexyladipate) และไซโคลเฮกซีนออกไซด์ (cyclohexene oxide) รวมถึงใช้เป็นตัวทำละลาย

**cycloparaffin, cycloalkane ไซโคลพาราฟิน, ไซโคลแอลเคน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัวประเภทแอลเคน (ดู alkane) ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นวงแหวน ในวงแหวนประกอบด้วยพันธะเดี่ยวของอะตอมคาร์บอนต่อกันเท่านั้น สูตรโมเลกุลทั่วไป $C_nH_{2n}$ เมื่อ n คือ จำนวนอะตอมคาร์บอนทั้งหมดในโมเลกุล โดยเริ่มตั้งแต่คาร์บอน 3 อะตอมขึ้นไป ตัวอย่างของสารประกอบในกลุ่มนี้ ได้แก่ ไซโคลโพรเพน (cyclopropane) ไซโคลบิวเทน (cyclobutane) ไซโคลเพนเทน (ดู cyclopentane) ไซโคลเฮกเซน (ดู cyclohexane) และเมทิลไซโคลเพนเทน (methylcyclopentane) เป็นต้น

**cyclopentane ไซโคลเพนเทน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นวงแหวนอะตอมคาร์บอนห้าเหลี่ยม สูตรโมเลกุล $C_5H_{10}$



ไซโคลเพนเทน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวใส ไม่มีสี กลิ่นคล้ายน้ำมันแก๊โซลีน ไวไฟ สังเคราะห์ได้โดยตรงจากปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (ดู hydrogenation) โดยมีไซโคลเพนทีน (cyclopentene) หรือไซโคลเพนทาโนน (cyclopentanone) เป็นตัวทำปฏิกิริยา ใช้ประโยชน์ในการผลิตเรซิน กาวยาง และสารฟู (blowing agent) ในการผลิตพอลิยูริเทน (ดู polyurethane)



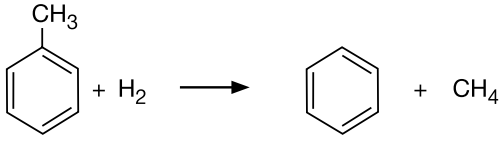

กาวยาง



ท่อสำหรับพ่นไซโคลเพนเทนในการผลิตพอลิยูริเทน

**dealkylation การดึงหมู่แอลคิล**

การดึงหมู่แอลคิล (alkyl group) ออกจากโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาการดึงหมู่เมทิล (demethylation) ออกจากโมเลกุลของสารแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) บางชนิด เพื่อให้ได้สารแอโรแมติกส์ชนิดที่ต้องการ เช่น การดึงหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) ออกจากโมเลกุลของทอลิวอีน (toluene) เพื่อผลิตเบนซีน (benzene)



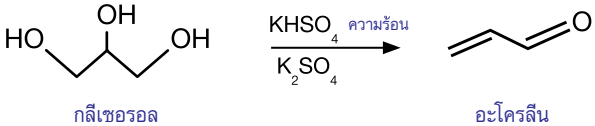

ทอลิวอีน ไฮโดรเจน เบนซีน มีเทน

**degree of polymerization (DP) ระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (ดีพี)**

ค่าที่แสดงการเกิดพอลิเมอร์ โดยระบุเป็นจำนวนหน่วยมอนอเมอร์ (ดู monomer) ที่ซ้ำกันโดยเฉลี่ยต่อโมเลกุลของพอลิเมอร์ ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีนชนิดหนึ่งมีระดับการเกิดพอลิเมอร์เท่ากับ 6,000 หมายความว่าโมเลกุลของพอลิเอทิลีนประกอบด้วยมอนอเมอร์เอทิลีน จำนวน 6,000 หน่วย

**dehydration การดึงน้ำ**

การดึงโมเลกุลของน้ำออกจากโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาการดึงน้ำออกจากโมเลกุลของแอลกอฮอล์เพื่อสังเคราะห์อีเทอร์ หรือแอลคีน (ดู alkene) ตัวอย่างเช่น การดึงโมเลกุลน้ำออกจากกลีเซอรอล (glycerol) เพื่อผลิตอะโครลีน (ดู acrolein) โดยใช้โพแทสเซียมไบซัลเฟต (potassium bisulfate, $KHSO_4$) และโพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate, $K_2SO_4$) และความร้อน




กลีเซอรอล อะโครลีน

**dehydrochlorination การดึงไฮโดรเจนคลอไรด์, ดีไฮโดรคลอริเนชัน**

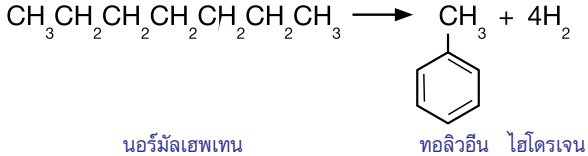
การดึงไฮโดรเจนคลอไรด์ (hydrogen chloride) ออกจากโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ ตัวอย่างเช่น การดึงไฮโดรเจนคลอไรด์ออกจากเอทิลีนไดคลอไรด์ (ethylene dichloride) เพื่อผลิตไวนิลคลอไรด์ (vinyl chloride)




เอทิลีนไดคลอไรด์ ไวนิลคลอไรด์ กรดไฮโดรคลอริก

**dehydrocyclization การดึงไฮโดรเจนออกและปิดวง**

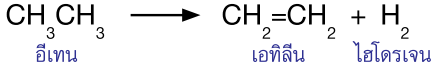
การดึงไฮโดรเจนออกจากโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่โมเลกุลเป็นสายโซ่ตรง และปิดวงเพื่อเปลี่ยนเป็นสารแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ตัวอย่างเช่น การดึงไฮโดรเจน 4 โมลออกจากโมเลกุลของนอร์มัลเฮพเทน (heptane) และปิดวงเพื่อผลิตทอลิวอีน (ดู toluene)



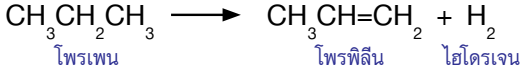

นอร์มัลเฮพเทน ทอลิวอีน ไฮโดรเจน

**dehydrogenation การดึงไฮโดรเจน**

การดึงไฮโดรเจนออกจากโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว เพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ตัวอย่างเช่น การผลิตเอทิลีน (ดู ethylene) จากอีเทน (ดู ethane) หรือการผลิตโพรพิลีน (ดู propylene) จากโพรเพน (ดู propane) ทั้งเอทิลีนและโพรพิลีนเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี




อีเทน เอทิลีน ไฮโดรเจน

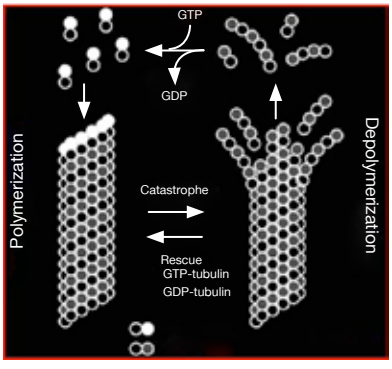


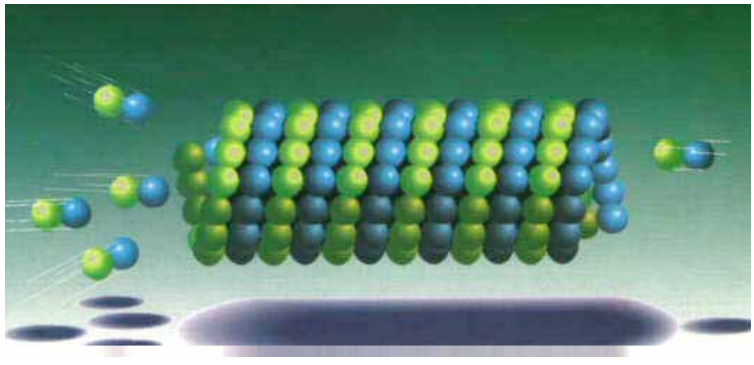

โพรเพน โพรพิลีน ไฮโดรเจน

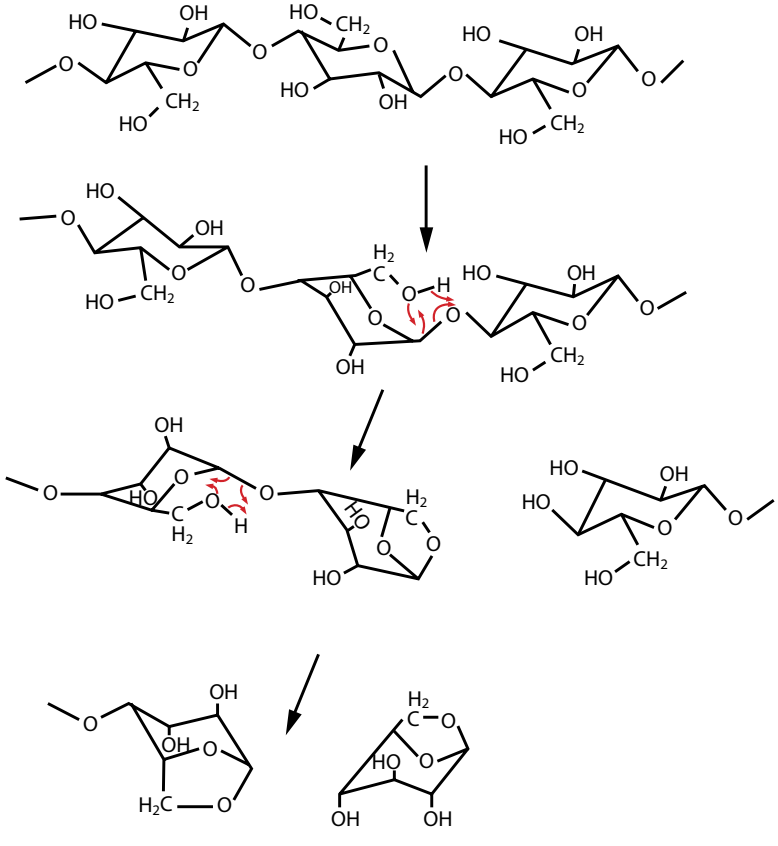
**denier ดีเนียร์**

หน่วยพื้นฐานสำหรับแสดงค่าความหนาแน่นเชิงเส้น (linear mass density) ของวัสดุในกลุ่มสิ่งทอ หนึ่งดีเนียร์เทียบได้กับมวลเป็นกรัมต่อเส้นใยหรือใยสิ่งทออื่นๆ ยาว 9,000 เมตร ในระบบสากล (ระบบเอสไอ) ใช้หน่วยเท็กซ์ (tex) ซึ่งเทียบได้กับมวลเป็นกรัมต่อเส้นใย 10,000 เมตร เส้นใยที่มีค่าดีเนียร์ต่ำมีความละเอียดมากกว่าเส้นใยที่มีค่าดีเนียร์สูง เพราะมีน้ำหนักน้อยกว่าเมื่อเทียบความยาวเท่ากัน

**depolymerization, depropagation การหลุดจากสายโซ่พอลิเมอร์, ดีพรอพาเกชัน** การแตกสลายของพอลิเมอร์ที่กำลังเติบโตออกเป็นโมเลกุลเล็กๆ หรือมอนอเมอร์แล้วหลุดออกจากสายโซ่พอลิเมอร์ เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วยความร้อน (อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเพดาน (ceiling temperature) หรืออุณหภูมิที่อัตราของการเกิดพอลิเมอร์มีค่าเท่ากับอัตราการสลายตัวของพอลิเมอร์) อนุมูลอิสระ โฟตอน สารเคมี แสง หรือรังสีต่างๆ พอลิเมอร์บางชนิดเท่านั้นที่แตกสลายอย่างสมบูรณ์จนได้มอนอเมอร์ร้อยละ 100 เช่น พอลิเมทิลเมทาคริเลต พอลิเอทิลเททระฟลูออโรเอทิลีน พอลิแอลฟาเมทิลสไตรีน พอลิออกซิเมทิลีน ส่วนพอลิเมอร์อื่นๆ นั้น การหลุดจากสายโซ่พอลิเมอร์จะให้มอนอเมอร์จำนวนน้อยมาก



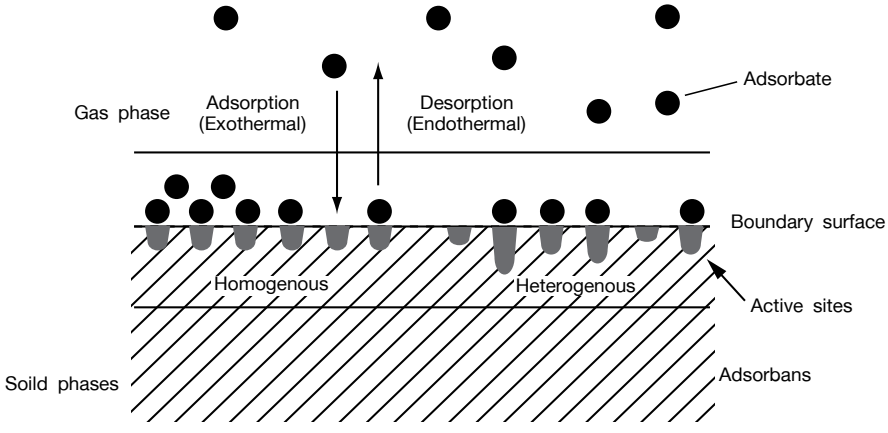





การหลุดจากสายโซ่พอลิเมอร์

**desorbent สารคายซับ**

สารที่ดึงสารที่ถูกดูดซับแล้วออกมาจากสารดูดซับ (adsorbent) ตัวอย่างเช่น ในกระบวนการพาเร็กซ์ (parex) ของบริษัท ยูโอพี (UOP) ที่พาราไซลีน (ดู p-xylene) ถูกแยกออกจากสารผสมของไซลีน โดยการดูดซับด้วยตัวกรองระดับโมเลกุล (molecular sieve) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารดูดซับ แล้วใช้สารพาราไดเอทิลเบนซีน (p-diethylbenzene) เป็นสารคายซับดึงพาราไซลีนออกจากสารดูดซับ

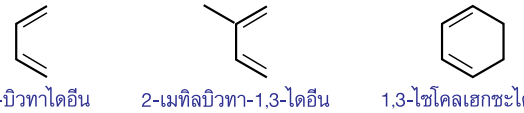



การดูดซับ-คายซับ

**Diels-Alder reaction ปฏิกิริยาดีลส์-แอลเดอร์**

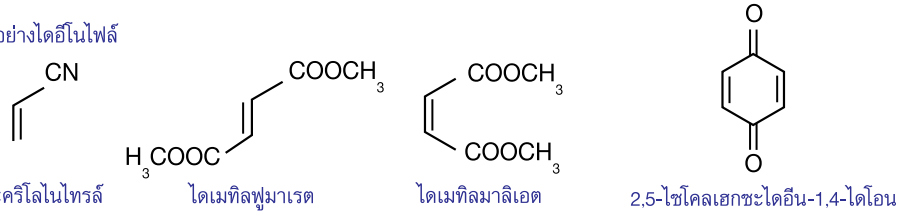
ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นวงแหวนของไซโคลเฮกซีน (ดู cyclohexene) โดยมีสารตั้งต้นไดอีนที่มีตำแหน่งของพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว (conjugated diene) ในโครงสร้าง เช่น 1,3-บิวทาไดอีน (1,3-butadiene) 2-เมทิลบิวทา-1,3-ไดอีน (2-methylbuta-1,3-diene) และ 1,3-ไซโคลเฮกซะไดอีน (1,3-cyclohexadiene) เป็นต้น ทำปฏิกิริยากับสารประกอบแอลคีน (ดู alkene) หรือที่เรียกว่า ไดอีโนไฟล์ (dienophile) ได้แก่ อะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile) ไดเมทิลฟูมาเรต (dimethylfumarate) ไดเมทิลมาลิเอต (dimethylmaleate) และ 2,5-ไซโคลเฮกซะ-ไดอีน-1,4-ไดโอน (2,5-cyclohexadiene-1,4-dione) เป็นต้น

ตัวอย่างสารตั้งต้นไดอีน



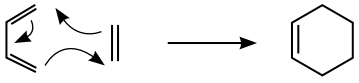
1,3-บิวทาไดอีน 2-เมทิลบิวทา-1,3-ไดอีน 1,3-ไซโคลเฮกซะไดอีน

ตัวอย่างไดอีโนไฟล์




อะคริโลไนไทรล์ ไดเมทิลฟูมาเรต ไดเมทิลมาลิเอต 2,5-ไซโคลเฮกซะไดอีน-1,4-ไดโอน

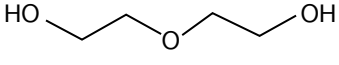
ตัวอย่างของปฏิกิริยาดีลส์-แอลเดอร์ ได้แก่ การสังเคราะห์ไซโคลเฮกซีน (cyclohexene) จากตัวทำปฏิกิริยา และเอทิลีน (ดู ethylene) โดยใช้ความร้อน



1,3-บิวทาไดอีน เอทิลีน ไซโคลเฮกซีน

**diethylene glycol (DEG) ไดเอทิลีนไกลคอล (ดีอีจี)**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทไดออล (ดู diol) หรือไกลคอล (ดู glycol) ที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรงสมมาตร มีอะตอมออกซิเจนแทรกอยู่ตรงกลางสายโซ่ พันธะของอะตอมออกซิเจนเชื่อมต่อกับอะตอมคาร์บอน 2 อะตอม และหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) เป็นหมู่ปลายสายโซ่ สูตรโมเลกุล $C_4H_{10}O_3$



ไดเอทิลีนไกลคอล

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้อง ไกลคอลขึ้นกับสภาวะที่ใช้ในกระบวนการ และสัดส่วนระหว่างเอทิลีนออกไซด์ (ดู ethylene oxide) และน้ำ เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น มอร์โฟลีน (morpholine) และ 1,4-ไดออกเซน (1,4-dioxane) ซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับไนโตรเซลลูโลส (nitrocellulose) สี เรซิน เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนประกอบในน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันเบรก รวมถึงใช้เป็นสารทำความเย็น (refrigerant)



น้ำมันเบรก



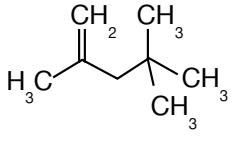

น้ำยาต้านการเยือกแข็ง

**differential microemulsion polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบไมโครอิมัลชันด้วยความแตกต่าง**

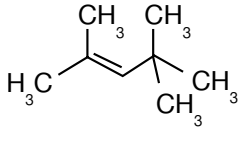
การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยอาศัยความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างหยดมอนอเมอร์กับวัฏภาคต่อเนื่อง ที่ประกอบด้วยน้ำ สารลดแรงตึงผิว (surfactant) และสารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) โดยหยดมอนอเมอร์อย่างช้าๆ ลงในวัฏภาคต่อเนื่องพร้อมกับกวนสารตลอดเวลา หยดมอนอเมอร์จะกระจายในวัฏภาคต่อเนื่องและถูกล้อมรอบด้วยสารลดแรงตึงผิว จากนั้นสารเริ่มปฏิกิริยาจะทำให้มอนอเมอร์เริ่มเกิดปฏิกิริยาเป็นพอลิเมอร์ขนาดระดับนาโนเมตร (nanometer level) จุดเด่นของกระบวนการนี้คือ สัดส่วนระหว่างมอนอเมอร์ต่อสารตึงผิวมีค่าสูง (ไม่น้อยกว่า 10:1) และความแตกต่างของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ในระบบคงที่ทำให้การควบคุมปฏิกิริยาง่าย ตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์อนุภาคในระดับนาโนเมตรของพอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethyl methacrylate)

**diisobutene, 2,2,4-trimethylpentene ไดไอโซบิวทีน, 2,2,4-ไทรเมทิลเพนทีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัวประเภทแอลคีน (ดู alkene) ที่มีโครงสร้างหลักเป็นสายโซ่คาร์บอน 5 อะตอม มีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) เป็นหมู่แทนที่บนสายโซ่ของอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 4 จำนวน 2 หมู่ และ 1 หมู่ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีพันธะคู่ 1 พันธะอยู่ในโครงสร้าง ซึ่งอาจอยู่ได้ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 หรือตำแหน่งที่ 2 จึงมีได้ 2 ไอโซเมอร์ (isomer) คือ 2,2,4-ไทรเมทิล-1-เพนทีน (2,2,4-trimethyl-1-pentene) และ 2,2,4-ไทรเมทิล-2-เพนทีน (2,2,4-trimethyl-2-pentene) ในสัดส่วนร้อยละ 75 และ 25 ตามลำดับ สูตรโมเลกุล $C_8H_{16}$

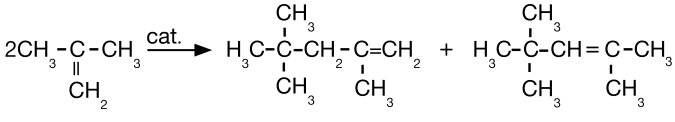


2,2,4-ไทรเมทิล-1-เพนทีน



2,2,4-ไทรเมทิล-2-เพนทีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ทั้ง 2 ไอโซเมอร์เป็นของเหลวใส มีกลิ่น มีความเป็นพิษไวไฟ ไม่ละลายน้ำ ทั้ง 2 ไอโซเมอร์สังเคราะห์โดยใช้ไอโซบิวทีน (isobutene) 2 โมเลกุลเป็นสารตั้งต้นผ่านการเกิดไดเมอร์ (dimerization) หรือการเกิดโอลิโกเมอร์ (oligomerization) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด คือ กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) หรือกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) ใช้ผลิต ออกทิลฟีนอล (octylphenol) โดยทำปฏิกิริยากับฟีนอล (phenol) ซึ่งใช้ผลิตสารลดแรงตึงผิวอิทอกซิเลตเทด ชนิดไม่มีประจุ (ethoxylated nonionic surfactant)



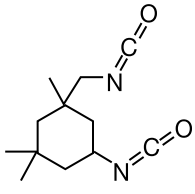
ไอโซบิวทีน 2,2,4-ไทรเมทิล-1-เพนทีน 2,2,4-ไทรเมทิล-2-เพนทีน

**diisocyanate ไดไอโซไซยาเนต**

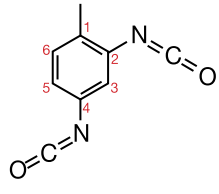
กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไอโซไซยาเนต (isocyanate, -N=C=O) 2 หมู่ เป็นหมู่แทนที่ในโครงสร้างหลักของไฮโดรคาร์บอนชนิดแอลิเฟทิกส์ (ดู aliphatics) แอลิไซคลิกส์ (ดู alicyclics) หรือแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ตัวอย่างเช่น เฮกซาเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (hexamethylene diisocyanate) ที่มีสายโซ่คาร์บอน 6 อะตอมเป็นโครงสร้างหลัก ไอโซโพรนไดไอโซไซยาเนต (isoprone diisocyanate) ที่มีวงแหวนคาร์บอน 6 อะตอมเป็นโครงสร้างหลัก และทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนต (ดู toluene diisocyanate) ที่มีทอลิวอีน (ดู toluene) เป็นโครงสร้างหลัก



เฮกซาเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต



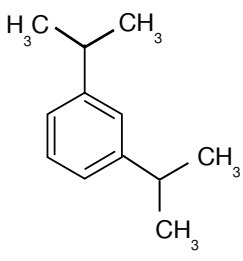
ไอโซโพรนไดไอโซไซยาเนต



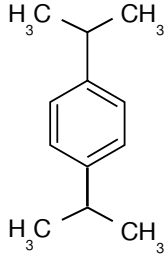
ทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนต

**diisopropylbenzene ไดไอโซโพรพิลเบนซีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) มีหมู่ไอโซโพรพิล (isopropyl, $-CH(CH_3)_2$) 2 หมู่ เป็นหมู่แทนที่บนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) มี 2 ไอโซเมอร์ (isomer) ตามตำแหน่งแทนที่ของหมู่ไอโซโพรพิล คือ เมทาไดไอโซโพรพิลเบนซีน (m-diisopropylbenzene) และพาราไดไอโซโพรพิลเบนซีน (p-diisopropylbenzene) โดยปกติอยู่ในรูปของผสมที่มีเมทาไดไอโซโพรพิลเบนซีนและพาราไดไอโซโพรพิลเบนซีน ร้อยละ 60 ต่อ 40 ตามลำดับ ทั้ง 2 ไอโซเมอร์มีสูตรโมเลกุล $C_{12}H_{18}$



เมทาไดไอโซโพรพิลเบนซีน



พาราไดไอโซโพรพิลเบนซีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลวใสไม่มีสี กลิ่นฉุน ไวไฟ ไม่ละลายน้ำ สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่างคิวมีน (ดู cumene) กับโพรพิลีน (ดู propylene) ที่อุณหภูมิ 50-150 องศาเซลเซียส โดยใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminium chloride) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือได้จากคิวมีน 2 โมเลกุลทำปฏิกิริยาดิสพรอพอร์ชันเนชัน (ดู disproportionation) มีซีโอไลต์ (ดู zeolite) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นส่วนผสมในน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล และเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ นอกจากนี้ยังใช้สังเคราะห์ไดไอโซโพรพิลเบนซีนเพอร์ออกไซด์ (diisopropyl benzene peroxide) ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมขึ้นรูปพลาสติก และยาง



พลาสติกขึ้นรูปเป็นของใช้



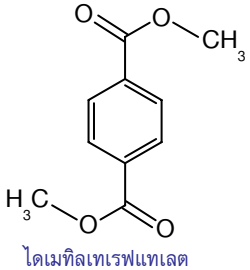
พลาสติกขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ



พลาสติกขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายแบบ

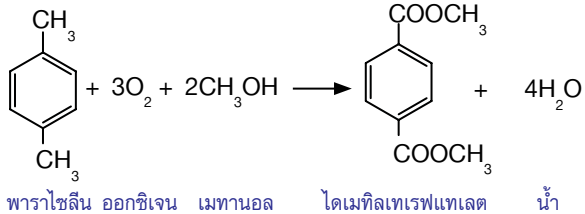
**dimethyl terephthalate (DMT) ไดเมทิลเทเรฟแทเลต (ดีเอ็มที)**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทเอสเทอร์ (ester) ที่ในโครงสร้างมีหมู่เมทอกซี (methoxy group, $-OCH_3$) 2 หมู่ แทนที่หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) ของกรดเทเรฟแทลิก (ดู terephthalic acid) สูตรโมเลกุล $C_{10}H_{10}O_4$



ไดเมทิลเทเรฟแทเลต

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ผลึกของแข็งสีขาว สังเคราะห์โดยการออกซิไดซ์ (oxidation) พาราไซลีน (ดู p-xylene) และเมทานอล (methanol) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และความดัน 15.2 บาร์ โดยใช้โคบอลต์แอซีเทต-โซเดียมโบรไมด์ (cobalt acetate-sodium bromide) หรือโคบอลต์แอซีเทต–กรดไฮโดรโบรมิก (cobalt acetate-hydrobromic acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



พาราไซลีน ออกซิเจน เมทานอล ไดเมทิลเทเรฟแทเลต น้ำ

ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพอลิเอสเทอร์ (ดู polyester) เช่น พอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลต (ดู polyethylene terephthalate) ที่เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตขวดน้ำดื่ม ฟิล์ม เส้นใย




ขวดน้ำ




ฟิล์ม

**dimethylacetamide ไดเมทิลแอซีทาไมด์**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทเอไมด์ทุติยภูมิ (secondary amide) ที่มีหมู่เมทิล (methyl group) 2 หมู่ แทนที่อะตอมไฮโดรเจนที่เกาะกับอะตอมไนโตรเจนของโมเลกุลแอซีทาไมด์ (acetamide) สูตรโมเลกุล $C_4H_9NO$

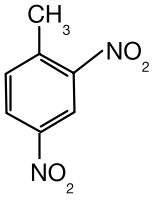


ไดเมทิลแอซีทาไมด์

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลว ไม่มีสี กลิ่นคล้ายแอมโมเนีย ไม่ละลายน้ำ สังเคราะห์จากการทำปฏิกิริยาระหว่างไดเมทิลามีน (dimethylamine) และกรด อาทิ กรดแอซีติก (ดู acetic acid) กรดแอซีติกแอนไฮไดรด์ (ดู acetic anhydride) และแอซิทิลคลอไรด์ (acetyl chloride) ใช้เป็นตัวทำละลายชนิดมีขั้ว (polar solvent) สำหรับละลายเส้นใย และตัวทำละลายในอุตสาหกรรมกาว รวมถึงใช้เป็นตัวกลาง (reaction medium) ในการสังเคราะห์เวชภัณฑ์ และสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer)

**dinitrotoluene (DNT) ไดไนโตรทอลิวอีน (ดีเอ็นที)**

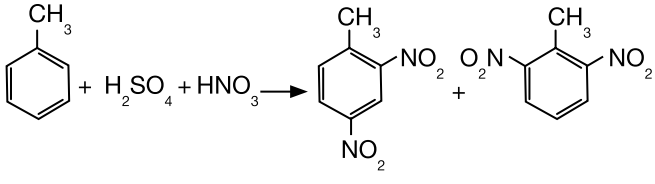
สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างวงแหวนแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) มีหมู่ไนโตร (nitro group, $-NO_2$) จำนวน 2 หมู่ แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนทอลิวอีน (toluene) ในตำแหน่งต่างๆ ทำให้จัดโครงสร้างโมเลกุลได้ 6 ไอโซเมอร์ (isomer) คือ 2,4-ไดไนโตรทอลิวอีน (2,4-dinitrotoluene) 2,6-ไดไนโตรทอลิวอีน (2,6-dinitrotoluene) 3,4-ไดไนโตรทอลิวอีน (3,4-dinitrotoluene) 2,3-ไดไนโตรทอลิวอีน (2,3-dinitrotoluene) 2,5-ไดไนโตรทอลิวอีน (2,5-dinitrotoluene) และ 3,5-ไดไนโตรทอลิวอีน (3,5-dinitrotoluene) ไอโซเมอร์ 2,4-ไดไนโตรทอลิวอีนมีสัดส่วนมากที่สุด คือ ร้อยละ 74-76 รองลงมา คือ 2,6-ไดไนโตรทอลิวอีน ร้อยละ 19-21 และ 3,4-ไดไนโตรทอลิวอีน ร้อยละ 2.4-2.6 ส่วนไอโซเมอร์ที่เหลือมีปริมาณรวมกันไม่เกินร้อยละ 1.7 ดังนั้น เมื่อกล่าวถึงไดโนโตรทอลิวอีน จึงหมายถึง 2,4-ไดไนโตรทอลิวอีนที่มีหมู่ไนโตรเกาะกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 4 หรือที่ตำแหน่งออร์โท (ortho) และพารา (para) ของวงแหวนทอลิวอีนเป็นหลัก สูตรโมเลกุล $C_7H_6N_2O_4$



2,4-ไดไนโตรทอลิวอีน



ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ 2,4-ไดไนโตรทอลิวอีนเป็นผลึกของแข็งสีเหลืองอ่อนจนถึงสีส้ม สังเคราะห์โดยให้ทอลิวอีนทำปฏิกิริยากับของผสมระหว่างกรดไนตริก (nitric acid) และกรดซัลฟิวริก (sulfuric) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ผลผลิตที่ได้มี 2 ไอโซเมอร์ คือ 2,4-ไดไนโตรทอลิวอีน และ 2,6-ไดไนโตรทอลิวอีน



ทอลิวอีน กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก 2,4-ไดไนโตรทอลิวอีน 2,6-ไดไนโตรทอลิวอีน

2,4-ไดไนโตรทอลิวอีนใช้ผลิตทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนต (ดู toluene diisocyanate) สารตั้งต้นในการผลิตโฟมพอลิยูริเทนชนิดยืดหยุ่น (flexible polyurethane foam) และใช้ผลิตไทรไนโตรทอลิวอีน (ดู trinitrotoluene (TNT)) เป็นวัตถุระเบิด ทั้งการทหารและอุตสาหกรรมเหมืองแร่

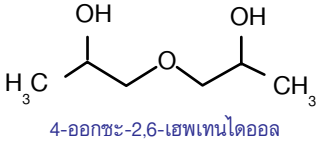


การระเบิดหินในอุตสาหกรรมเหมืองแร่

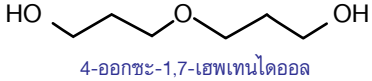


**dipropylene glycol ไดโพรพิลีนไกลคอล**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทไดออล (ดู diol) หรือไกลคอล (ดู glycol) ที่มีโครงสร้างเป็นโซ่ตรงลักษณะสมมาตร โดยมีอะตอมออกซิเจนแทรกอยู่ตรงกลางของสายโซ่ แต่ละด้านเชื่อมต่อกับอะตอมคาร์บอน 3 อะตอม หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) เกาะอยู่บนสายโซ่ได้ 2 แบบจึงมี 2 ไอโซเมอร์ (isomer) คือ 4-ออกซะ-2,6-เฮพเทนไดออล (4-oxa-2,6-heptandiol) และ 4-ออกซะ-1,7-เฮพเทนไดออล (4-oxa-1,7-heptandiol) ตามลำดับ ทั้ง 2 ไอโซเมอร์มีสูตรโมเลกุล $C_6H_{14}O_3$




4-ออกซะ-2,6-เฮพเทนไดออล




4-ออกซะ-1,7-เฮพเทนไดออล



ไดโพรพิลีนไกลคอล

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลวไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ละลายน้ำ และดูดความชื้นได้ดี ความเป็นพิษต่ำ เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตโพรพิลีนไกลคอล (ดู propylene glycol) โดยใช้โพรพิลีนออกไซด์ (ดู propylene oxide) ทำปฏิกิริยากับน้ำ สารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) สารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) และตัวทำละลาย นอกจากนี้ ยังใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำหอม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว และเส้นผม



สารเติมแต่งในน้ำหอม



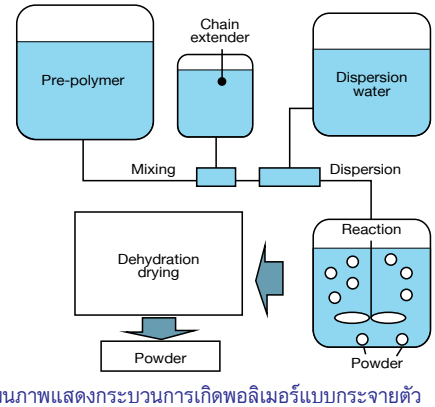
สารเติมแต่งในน้ำหอม



ผลิตภัณฑ์บำรุงเส้นผม

**dispersion polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบกระจายตัว**

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีลักษณะเดียวกับการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอย (ดู suspension polymerization) แต่มีการเติมสารทำให้เสถียร (stabilizer) เพื่อป้องกันการรวมตัวของพอลิเมอร์ที่ได้ ในช่วงแรกมอนอเมอร์ (monomer) ตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) สารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) และอนุภาคของสาร ทำให้เสถียรมีความเป็นเนื้อเดียวกัน แต่หลังจากเกิดพอลิเมอร์จะมีลักษณะเป็นเนื้อผสมที่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) อนุภาคพอลิเมอร์จึงไม่รวมตัวกัน และเกิดการดูดซับอนุภาคของสารทำให้เสถียร อนุภาคพอลิเมอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-10 ไมโครเมตร ตัวอย่างเช่น การเกิดพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีน (ดู polystyrene)



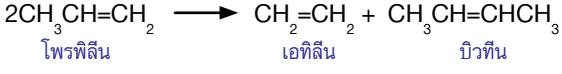

แผนภาพแสดงกระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบกระจายตัว

**dispersion polyvinyl chloride พอลิไวนิลคลอไรด์แบบกระจายตัว**

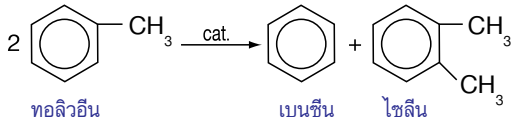
พลาสทิซอลหรือออร์แกโนซอลที่สังเคราะห์จากพีวีซี โดยการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (ดู emulsion polymerization) ได้เลเทกซ์ที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.1-1 ไมครอน เป็นของไหลใสไม่มีสี มีความละเอียด อากาศผ่านได้ และมีความเสถียรต่อความร้อน ใช้เป็นสีทาต่างๆ และสารเคลือบผิว

**disproportionation ดิสพรอพอร์ชันเนชัน**

การทำปฏิกิริยาของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 2 โมเลกุล แตกตัวแล้วจัดโครงสร้างใหม่ในเวลาเดียวกัน ได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอน 2 โมเลกุล ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าหรือใหญ่กว่าเดิม ตัวอย่างเช่น การผลิตเอทิลีน (ดู ethylene) และบิวทีน (ดู butene) จากโพรพิลีน (ดู propylene) 2 โมเลกุล




และการผลิตเบนซีน (ดู benzene) และไซลีน (ดู xylene) จากทอลิวอีน (ดู toluene) 2 โมเลกุล




**distillation การกลั่น**

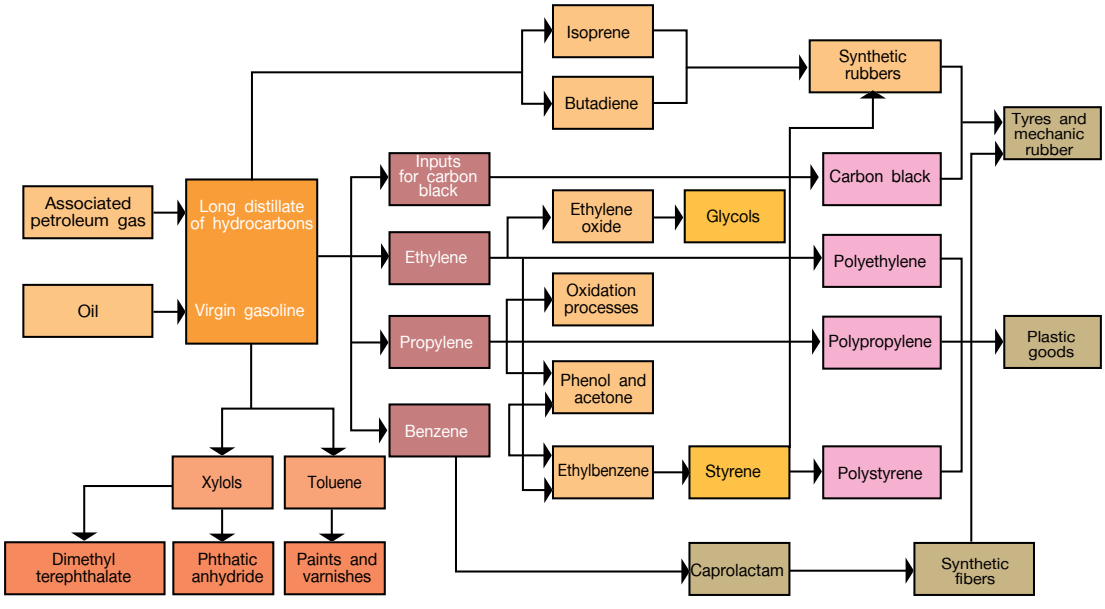
การทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น การแยกองค์ประกอบแต่ละชนิดที่อยู่ในของเหลวผสมออกจากกันด้วยวิธีทางกายภาพ โดยใช้หลักความแตกต่างของความดันไอ (vapor pressure) ขององค์ประกอบ เมื่อของเหลวได้รับความร้อนจนเดือด ไอขององค์ประกอบแต่ละชนิดจะลอยขึ้นสู่ด้านบนของคอลัมน์และกลั่นตัวลงมาเป็นของเหลวที่มีความบริสุทธิ์ขึ้น กระบวนการนี้ใช้ได้ดีสำหรับการแยกองค์ประกอบในของเหลวผสมที่มีจุดเดือดแตกต่างกัน ปัจจัยที่มีผลต่อการกลั่น ได้แก่ จุดเดือดหรือค่าความดันไอขององค์ประกอบแต่ละชนิด ชนิดของคอลัมน์กลั่นที่ใช้ รวมถึงระดับความดันในคอลัมน์ กระบวนการที่พบได้ทั่วไปในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี เช่น การกลั่นแยกน้ำมันดิบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติเหลว แนฟทา และก๊าซออยล์ เป็นต้น การกลั่นแยกก๊าซธรรมชาติหรือการกลั่นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น เช่น การกลั่นแยกเอทิลีนไกลคอลออกจากน้ำ เป็นต้น

ประเภทของหน่วยกลั่นที่พบได้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

1) การกลั่นลำดับส่วน (fractionation distillation) เหมาะสำหรับใช้กลั่นของเหลว ที่เป็นองค์ประกอบของสารละลายที่จุดเดือดต่างกันน้อยๆ เช่น การกลั่นแยก 1-บิวทีน (ดู 1-butene) และ 2-บิวทีน (ดู 2-butene) ออกจากกัน

2) การกลั่นร่วมกับตัวทำละลาย (extractive distillation) เช่น การกลั่นบิวทาไดอีน (ดู butadiene) ออกจากซี 4 ผสม (ดู mixed C4) โดยใช้แอซีโทไนไทรล์ (ดู acetonitrile) ร่วมด้วย

3) การกลั่นเอซีโอโทรป (azeotropic distillation) เช่น การกลั่นแยกเอทานอล (ethanol) และน้ำ ที่เป็นสารเอซีโอโทรป (azeotrope) เป็นต้น




ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นประเภทต่างๆ ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี




ผลิตภัณฑ์หลากประเภทจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

**elasticity สภาพยืดหยุ่น**

สมบัติของวัสดุที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ภายใต้แรงที่มากระทำ และกลับสู่ขนาดและรูปร่างเดิมได้เมื่อถอนแรงกระทำบนวัสดุออกไป โดยเมื่อมีแรงมากระทำต่อวัสดุที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ วัสดุนั้นจะยืดตัวออก โมเลกุลของวัสดุนั้นจะถูกดึงให้ค่อยๆ แยกออกจากกันและเกิดการบิดเบี้ยวขึ้น และสามารถคืนกลับสู่สภาพเดิมได้ แต่ถ้าวัสดุนั้นยังคงบิดเบี้ยวหรือยืด และไม่กลับสู่สภาพเดิมแม้จะไม่มีแรงมากระทำแล้วก็ตาม เรียกว่า สภาพพลาสติก (plasticity) ตัวอย่างวัสดุที่มีสภาพยืดหยุ่น เช่น ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ต่างๆ ที่นำไปผลิตเป็นยางรถยนต์ ยางรัด (หนังยางวง) สายรัดข้อมือยาง และด้ายยางที่ใช้ผลิตเชือกสำหรับกีฬากระโดดบันจี้จัมพ์ เป็นต้น



สภาพยืดหยุ่น



สายรัดข้อมือยาง



ยางรถยนต์





เชือกกระโดดบันจี้จัมพ์

หนังยางวง



กระโดดบันจี้จัมพ์

**elastomer วัสดุยืดหยุ่น**

วัสดุแมโครโมเลกุลที่สามารถยืดได้สูงมาก (ยืดได้ร้อยละ 200-1000) เมื่อให้แรงยืดดึงเพียงเล็กน้อย และเมื่อแรงยืดดึงถูกปล่อย ทั้งรูปร่างและทิศทางจะกลับคืนสภาพเดิมได้อย่างรวดเร็วทันที เมื่อยืดเต็มที่จะมีความทนแรงดึงสูงและมอดุลัสการยืดดึงสูง เป็นพอลิเมอร์อสัณฐานทั้งหมด เป็นกลุ่มของพอลิเมอร์สำคัญที่เป็นได้ทั้งเทอร์มอเซต (ดู thermoset) และเทอร์มอพลาสติก (thermoplastic) ซึ่งรวมไปถึงวัสดุยืดหยุ่นเทอร์มอพลาสติก (ดู thermoplastic elastomer) ยางสังเคราะห์ ยางบิวทิล (ดู butyl rubber) ยางนีโอพรีน (neoprene rubber) ยางไนไทรล์ (nitrile rubber)) และยางธรรมชาติ วัสดุยืดหยุ่นและยางสังเคราะห์สามารถทำให้นิ่มและแข็งได้ โดยให้ความร้อนและความเย็นซ้ำๆ หลายครั้งโดยสมบัติไม่เปลี่ยนแปลง ตัวอย่างวัสดุยืดหยุ่น เช่น ยางรัด เส้นด้ายยาง สายยางยืด ถุงยางอนามัย



สายนาฬิกาทำจากยางไนไทรล์



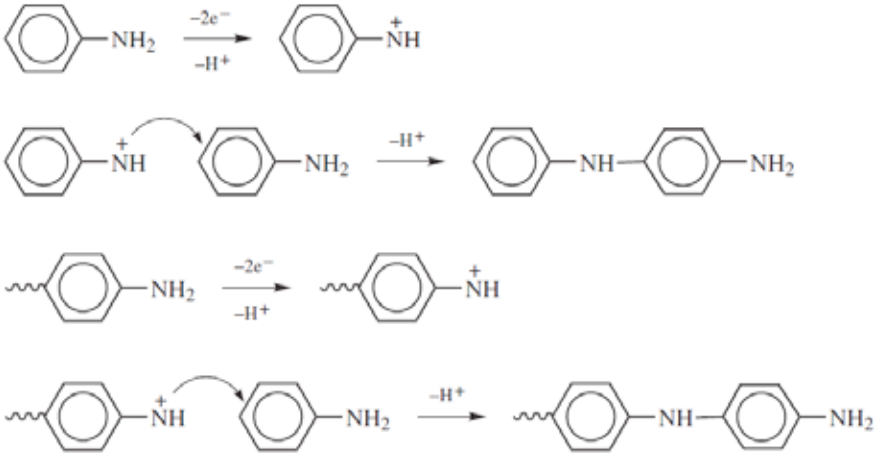
กระเป๋าใส่คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กทำจากยางไนไทรล์



พรมกันลื่นทำจากยางไนไทรล์

**electrochemical polymerization, electro-initiated polymerization, electrolytic polymerization, electropolymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบเคมีไฟฟ้า, การเกิดพอลิเมอร์โดยใช้ไฟฟ้า**

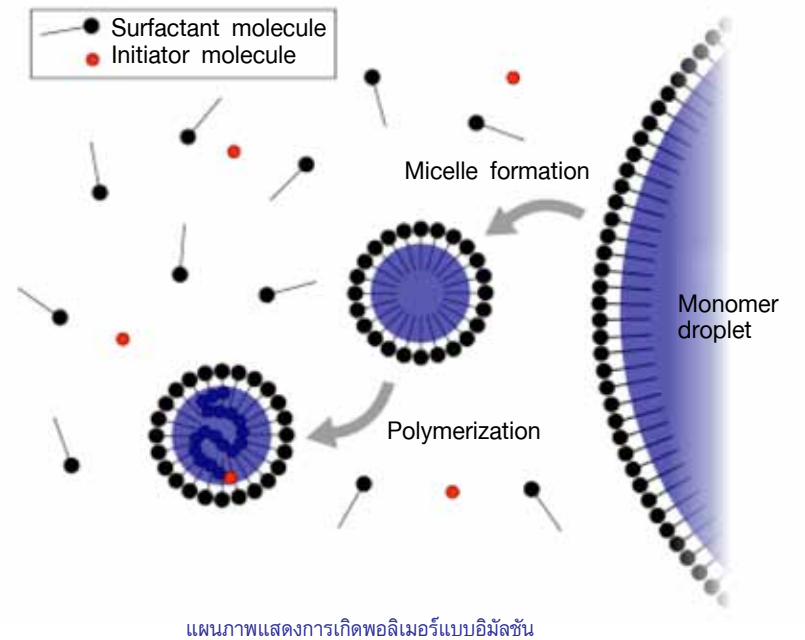
การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบโซ่แบบหนึ่ง (ดู chain polymerization) โดยให้กระแสไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นมอนอเมอร์ (monomer) ในระบบที่อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte solution) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (radical) หรืออนุมูลอิสระแบบประจุบวก (cation) ที่ว่องไว เพื่อให้สารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ต่อไป โดยผ่านกลไกการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระหรือแบบไอออนิก ข้อดีของการสังเคราะห์แบบนี้คือ สามารถควบคุมปฏิกิริยาได้โดยหยุดป้อนกระแสไฟฟ้า ปฏิกิริยาก็จะหยุดทันที ตัวอย่างเช่น การเกิดพอลิเมอร์ของพอลิแอนิลีน (polyaniline)




ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของพอลิแอนิลีน

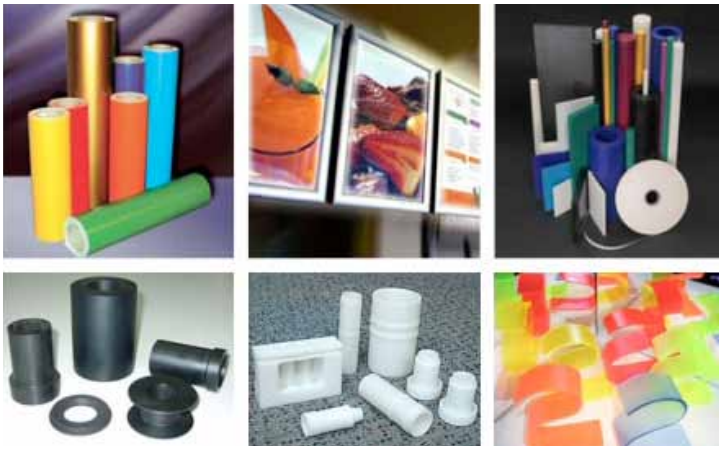
**emulsion polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน**

การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบหนึ่งที่ทำให้เกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระจากมอนอเมอร์ (monomer) ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น บิวทาไดอีน (ดู butadiene) ไอโซพรีน สไตรีน (ดู styrene) ไวนิลคลอไรด์ (ดู vinyl chloride) โดยทำให้เป็นอิมัลชันในน้ำหรือคอลลอยด์ด้วยสารลดแรงตึงผิว (surfactant) มอนอเมอร์เกาะอยู่ส่วนหางของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ในลักษณะที่เรียกว่า ไมเซลล์ (micelle) และเกิดเป็นพอลิเมอร์ด้วยสารเริ่มปฏิกิริยาที่ละลายได้ในน้ำ เช่น $K_2S_2O_8$ หรือสารเริ่มปฏิกิริยารีดอกซ์ ผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอิมัลชันมีขนาดเล็กกว่าพอลิเมอร์ที่ได้จากการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอยประมาณ 1/10 และพอลิเมอร์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลสูง




แผนภาพแสดงการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน

**engineering polymer, engineering plastic พอลิเมอร์เชิงวิศวกรรม, พลาสติกเชิงวิศวกรรม** พอลิเมอร์ที่มีสมบัติดีและทนภาวะต่างๆ ได้มากกว่าพอลิเมอร์ทั่วไป ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเทอร์มอพลาสติก (thermoplastic) มากกว่าเทอร์มอเซต (ดู thermoset) ออกแบบและผลิตให้มีเสถียรภาพสูง มีประสิทธิภาพสูงกว่าพลาสติกทั่วไป ใช้งานเชิงวิศวกรรม เช่น เกียร์ ชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ นิยมใช้ทดแทนโลหะเพื่อลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์บางชนิด สามารถทนความร้อนได้มากกว่า 125 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมี สมบัติโดยทั่วไปของพอลิเมอร์เชิงวิศวกรรมคือ มีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง คงสมบัติเชิงกลที่ดีแม้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น การคืบต่ำ (creep) สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำ (coefficient of thermal expansion) สมบัติทางไฟฟ้าดี และทนสารเคมีต่างๆ ดี



พลาสติกเชิงวิศวกรรม



พลาสติกเชิงวิศวกรรม



พลาสติกเชิงวิศวกรรมนำมาผลิตชิ้นงานได้หลายแบบ

ตัวอย่างพอลิเมอร์เชิงวิศวกรรม

| | |
|---|---|
| อะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (เอบีเอส) acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) | พอลิอีเทอร์ซัลโฟน (polyether sulfone) |
| พอลิแอซีทัล (polyacetal) | พอลิเฟนิลีนออกไซด์ (polyphenylene oxide) |
| พอลิอะคริลิก (polyacrylic) | พอลิซัลโฟน (polysulfone) |
| ฟลูออโรพอลิเมอร์ (fluoropolymer) | พอลิอิไมด์ (polyimide) |
| ไนลอน (nylon) | พอลิเฟนิลีนซัลไฟด์ (polyphenylene sulfide) |
| พอลิบิวทิลีน (polybutylene) | พอลิบิวทิลีนเทเรฟแทเลต (polybutylene terephthalate) |
| พอลิเอริล อีเทอร์ (polyaryl ether) | พอลิคาร์บอเนต (polycarbonate) |

**engineering thermoplastic elastomer, engineering TPEs, (ETES) อิลาสโตเมอร์เทอร์มอพลาสติกเชิงวิศวกรรม (อีทีอีเอส)**

วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก (ดู thermoplastic elastomer) ประเภทหนึ่งที่มีสมบัติอยู่ระหว่างพลาสติกวิศวกรรมแบบแข็งเกร็ง (rigid engineering plastic) กับยาง (rubber) ความแข็งแรงสูง สมรรถนะสูง (high performance) ความทนของไดอิเล็กทริกดี (dielectric strength) สามารถทนความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ถึง 600 โวลต์ มีความต้านทานสารเคมี ความร้อน และสิ่งแวดล้อมดี ทนน้ำมันร้อน (hot oil) น้ำมันเชื้อเพลิง และน้ำมันไฮดรอลิก นิยมนำไปผลิตชิ้นงานที่ต้องรองรับแรงกระแทก หรือการทำให้โค้งงออย่างต่อเนื่อง เช่น แผงหน้าปัด กันชนด้านหน้าของรถ บานพับ สปริง ลูกบอลสำหรับเล่นกีฬา ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน และกันรั่ว



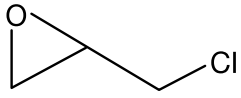

แผงหน้าปัดรถ




ลูกฟุตบอล

**epichlorohydrin เอพิคลอโรไฮดริน**

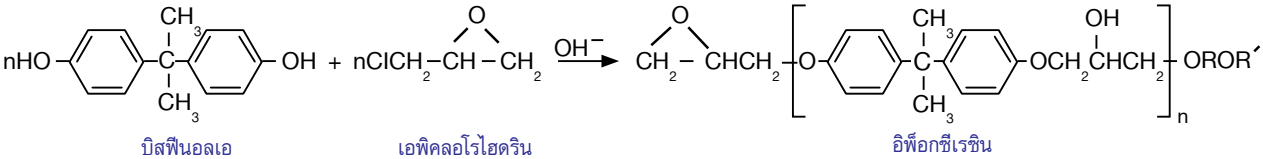
สารประกอบอินทรีย์ประเภทออร์แกโนคลอไรด์ (organochloride) ที่มีหมู่คลอโรเมทิล (chloromethyl, $-CH_2Cl$) เชื่อมต่อกับวงแหวนอิพ็อกไซด์ (ดู epoxide) ในโครงสร้างสูตรโมเลกุล $C_3H_5ClO$




เอพิคลอโรไฮดริน

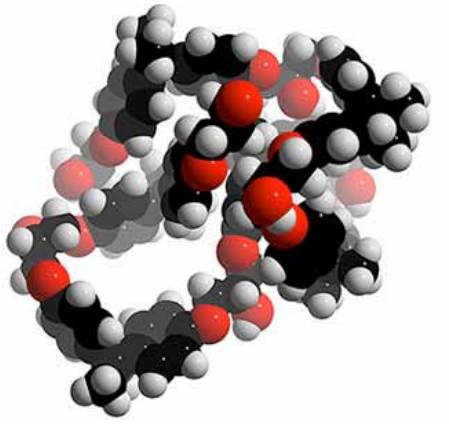
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวไม่มีสี กลิ่นฉุนคล้ายกระเทียม ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้ว สังเคราะห์โดยใช้แอลลิลคลอไรด์ (allyl chloride) เป็นตัวทำปฏิกิริยาผ่านปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน

ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตอิพ็อกซีเรซิน (ดู epoxy resin) โดยทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ชนิดเปิดวงแหวน (ring-opening polymerization) กับบิสฟีนอลเอ (ดู bisphenol-A) โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา




บิสฟีนอลเอ เอพิคลอโรไฮดริน อิพ็อกซีเรซิน

เมื่อ $R = -C_6H_4-C(CH_3)_2-C_6H_4-$ และ $R' = -CH_2-CH(O)CH_2$



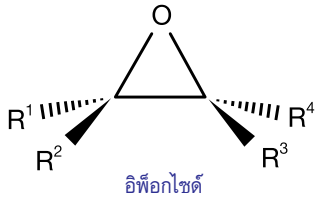
โครงสร้างอิพ็อกซีเรซิน

**epoxidation การสังเคราะห์อิพ็อกไซด์**

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์อีเทอร์ (ether) ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนสามเหลี่ยม (three-membered ether) โดยนำอะตอมออกซิเจนเข้าไปเชื่อมกับพันธะคู่ในโมเลกุลของสารโอเลฟิน (ดู olefin) เรียกผลผลิตนี้ว่า อิพ็อกไซด์หรือออกซิเรน (oxirane)

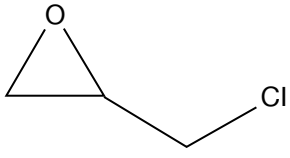
**epoxide อิพ็อกไซด์**

กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ประเภทอีเทอร์ (ether) ที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นวงแหวนสามเหลี่ยมที่ประกอบไปด้วยอะตอมคาร์บอน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความเครียดสูง (strain) จึงเกิดปฏิกิริยาได้ว่องไวมาก สูตรโมเลกุล $C_2R_1R_2R_3R_4O$ เมื่อ R คือ หมู่แอลคิล (alkyl group) หรือหมู่แอริล (aryl group)

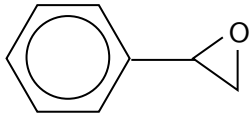


อิพ็อกไซด์

อิพ็อกไซด์ขนาดเล็กที่สุดคือ เอทิลีนออกไซด์ (ดู ethylene oxide) หรือออกซิเรน (ดู oxirane) อะตอมไฮโดรเจนที่เกาะกับอะตอมคาร์บอนอาจถูกแทนที่ด้วยหมู่ต่างๆ ได้แก่ หมู่แอลคิล เช่น คลอโรเมทิล (chloromethyl) ได้ผลผลิตคือ คลอโรเมทิลออกซิเรน (chloromethyl oxirane) หรือแทนที่ด้วยหมู่แอริล เช่น วงแหวนเบนซีน (ดู benzene) ได้ผลผลิตคือ สไตรีนออกไซด์ (styrene oxide) เป็นต้น



คลอโรเมทิลออกซิเรน



สไตรีนออกไซด์

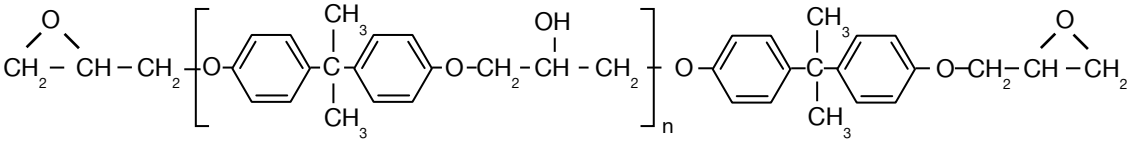
อิพ็อกไซด์ที่สำคัญ ได้แก่ เอทิลีนออกไซด์ ใช้ในการผลิตเอทิลีนไกลคอล (ดู ethylene glycol) และเอทาโนลามีน (ethanolamine) และโพรพิลีนออกไซด์ (ดู propylene oxide) ใช้ในการผลิตพอลิอีเทอร์พอลิออล (polyether polyol) สำหรับผลิตพอลิยูริเทน (ดู polyurethane) ปัจจุบัน นำพอลิยูริเทนมาประยุกต์ทำผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ได้มากมาย


พื้นรองเท้ากีฬาที่ทำด้วยพอลิยูริเทน


ล้อทำจากพอลิยูริเทน

**epoxy, epoxy resin (EP) อิพ็อกซี, อิพ็อกซีเรซิน (อีพี)**

กลุ่มของเทอร์มอเซตเรซินที่บรรจุหมู่ออกซิเรน (ดู oxirane) ในโครงสร้าง สังเคราะห์จากการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่นของอิพิคลอโรไฮดริน (epichlorohydrin) กับบิสฟีนอลเอ (ดู bisphenol-A) ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้คือ ไดไกลซิดิลอีเทอร์ของบิสฟีนอลเอ (diglycidyl ethers of bisphenol-A (DGEBA)) มีลักษณะเป็นของเหลวไปจนถึงของแข็งที่มีจุดหลอมเหลวสูงถึง 175 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล เรซินที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะบ่มได้ง่าย เรซินที่บ่มแล้วจะมีสมบัติคล้ายกัน ต่างกันที่จุดหลอมเหลวสูงกว่าซึ่งจะมีความเหนียวมากกว่า ใช้เรซินที่เป็นของเหลวสำหรับการหล่อ เคลือบผิว และสารยึดติด ซึ่งถูกบ่มด้วยเอมีนพอลิเอไมด์ แอนไฮไดรด์หรือตัวเร่งปฏิกิริยาอื่น ใช้เรซินที่เป็นของแข็งปรับปรุงสมบัติของเรซินอื่นและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรงพลาสติก



อิพ็อกซี (ไดไกลซิดิลอีเทอร์ของบิสฟีนอลเอ)



สารเคลือบผิวอีพี

**epoxy plastic พลาสติกอิพ็อกซี**

พลาสติกประเภทเทอร์มอเซต (ดู thermoset plastic) ที่มีโครงสร้างแบบร่างแห เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอิพ็อกไซด์ (ดู epoxide) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเรซิน (resin) กับพอลิเอมีน (polyamine) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารที่ช่วยทำให้แข็ง (hardener) สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวาง แต่เนื่องจากมีสมบัติพิเศษคือ สามารถติดแนบกับวัตถุอื่นได้ดีและอ่อนตัว ส่วนใหญ่จึงใช้ทำเป็นกาว (adhesive) มีสมบัติทางเคมีที่ทนกรด ด่าง และสารละลายได้ดี นำไปใช้เป็นวัสดุเคลือบผิว เช่น ใช้เคลือบผิวพื้นและผนังในบ้านเรือน เคลือบผิวถนนเพื่อกันลื่น เชื่อมส่วนประกอบโลหะ แก้ว และ เซรามิก หล่ออุปกรณ์ที่ทำจากโลหะและเคลือบผิวอุปกรณ์ ใส่ในส่วนประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้า เส้นใยของท่อ และท่อความดัน ทำโฟมแข็งและไฟเบอร์กลาส ใช้เป็นเรซินผลิตพลาสติกที่เสริมแรงด้วยเส้นใย (fiber-reinforced plastic) และผลิตแผงวงจรไฟฟ้าในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์



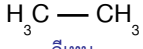

กาวอิพ็อกซี



พลาสติกอิพ็อกซี

**ethane อีเทน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวประเภทแอลเคน (alkane) ที่มีอะตอมคาร์บอน 2 อะตอมอยู่ในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $C_2H_6$

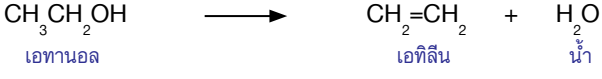


อีเทน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น องค์ประกอบที่พบมากในก๊าซธรรมชาติ รองลงมาจากมีเทน (ดู methane) และละลายอยู่เล็กน้อยในน้ำมันดิบ ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอทิลีน (ดู ethylene) ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้น

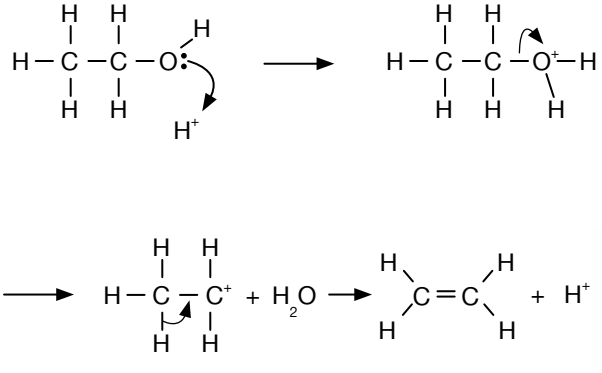
**ethanol dehydration การดึงน้ำออกจากเอทานอล**

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอทิลีน (ดู ethylene) โดยการดึงน้ำ (dehydration) ออกจากสารตั้งต้นเอทานอล (ethanol) ที่ภาวะอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส โดยมีกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) หรือกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



เอทานอล เอทิลีน น้ำ

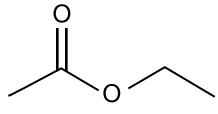
และมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังนี้




โปรตอน (proton) จากตัวเร่งปฏิกิริยากรดเข้าทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone pair electron) ของอะตอมออกซิเจน ทำให้เกิดประจุบวกบนอะตอมของออกซิเจน ซึ่งไม่เสถียร จึงเกิดการเคลื่อนย้ายไปยังอะตอมคาร์บอนข้างเคียงพร้อมกับขจัดโมเลกุลน้ำออก ได้คาร์โบแคตไอออน (carbocation) ที่จะดึงอิเล็กตรอนจากอะตอมคาร์บอนข้างเคียง เกิดเป็นพันธะคู่ในโครงสร้าง ขจัดน้ำและโปรตอนออกจากโมเลกุล พร้อมทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไป

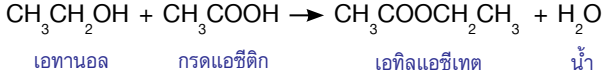
**ethyl acetate (EA) เอทิลแอซีเทต (อีเอ)**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทเอสเทอร์ (ester) สูตรโมเลกุล $C_4H_8O_2$



เอทิลแอซีเทต

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวใส กลิ่นหอมหวาน ไวไฟ สังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้นกรดแอซีติก (ดู acetic acid) ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) กับเอทานอล (ethanol) โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



เอทานอล กรดแอซีติก เอทิลแอซีเทต น้ำ

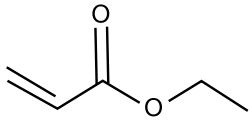
นิยมใช้เป็นตัวทำละลาย เนื่องจากมีราคาถูกและมีความเป็นพิษต่ำ เช่น น้ำยาล้างแผงวงจรไฟฟ้า (circuit board) น้ำยาล้างเล็บ รวมถึงตัวทำละลายที่ใช้ขจัดคาเฟอีนออกจากเมล็ดกาแฟ เป็นต้น



กาแฟ

**ethyl acrylate เอทิลอะคริเลต**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทเอสเทอร์ (ester) ในโครงสร้างมีพันธะคู่ 1 พันธะ สูตรโมเลกุล $C_5H_8O_2$

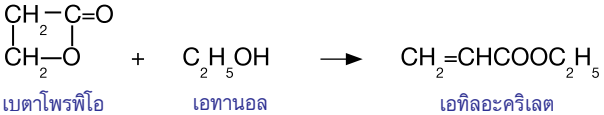


เอทิลอะคริเลต

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวใส กลิ่นฉุน ไวไฟ และไม่ละลายน้ำ สังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้นกรดอะคริลิก (acrylic acid) หรือ เบตาโพรพิโอแลกโทน (β-propiolactone) ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) กับเอทานอล (ethanol) โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$CH_2{=}CHCOOH + C_2H_5OH \longrightarrow CH_2{=}CHCOOC_2H_5$

กรดอะคริลิก เอทานอล เอทิลอะคริเลต




เบตาโพรพิโอแลกโทน เอทานอล เอทิลอะคริเลต

เป็นสารตั้งต้นผลิตพอลิเมอร์ต่างๆ เช่น เรซิน พลาสติก ยาง และอุปกรณ์ทางทันตกรรม เช่น ฟันปลอม เป็นต้น



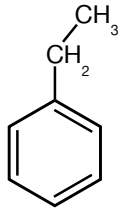
ฟันปลอม

**ethyl aldehyde เอทิลแอลดีไฮด์**

ดู acetaldehyde

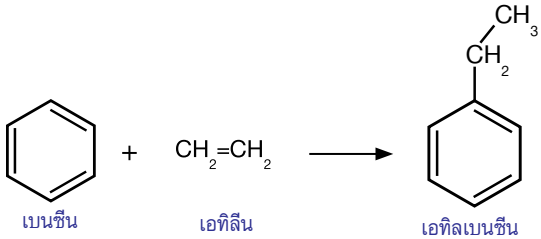
**ethyl benzene เอทิลเบนซีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ที่มีหมู่เอทิล (ethyl group, $-C_2H_5$) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) สูตรโมเลกุล $C_8H_{10}$



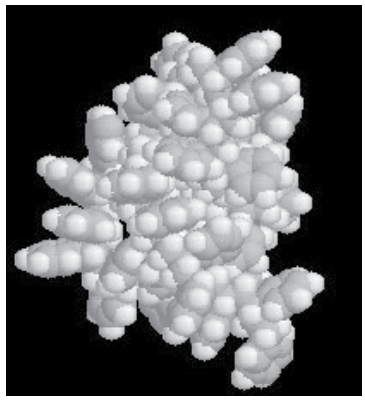

เอทิลเบนซีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลว ไม่มีสี สารที่ได้จากการสกัด (ดู extraction) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอโรแมติกส์ ที่มีคาร์บอน 8 อะตอมที่ได้จากการรีฟอร์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (ดู catalytic reforming) แต่ได้ในปริมาณน้อย จึงนิยมสังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้นเบนซีนมาเติมหมู่แอลคิล (alkylation) กับเอทิลีน (ดู ethylene) ที่ภาวะอุณหภูมิ 40-100 องศาเซลเซียส ความดัน 2-8.1 บาร์ มีอะลูมิเนียมคลอไรด์-กรดไฮโดรคลอริก (aluminium chloride-hydrochloric acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา




เบนซีน เอทิลีน เอทิลเบนซีน

นิยมใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสไตรีน (ดู styrene) ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ (monomer) ที่ใช้ผลิตพอลิสไตรีน (ดู polystyrene) นอกจากนั้นใช้เป็นตัวทำละลาย



โครงสร้างพอลิสไตรีน



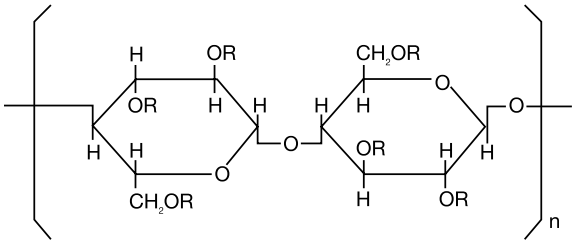
บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพอลิสไตรีน



กล่องโฟมที่ทำจากพอลิสไตรีน

**ethyl cellulose (EC) เอทิลเซลลูโลส (อีซี)**

เทอร์มอพลาสติกสังเคราะห์จากการนำเซลลูโลสละลายในด่าง (alkali) กับเอทิลคลอไรด์ (ethyl chloride) มีความเหนียว และมีสมบัติในการเด้งกลับได้ แม้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส ตลอดจนมีการคงสภาพเชิงมิติในช่วงอุณหภูมิกว้าง และในภาวะที่มีความชื้น ทนด่างหรือกรดอ่อน แต่ไม่ทนของไหลที่ใช้ทำความสะอาด น้ำมัน และตัวทำละลาย ใช้ทำปลอกไฟฉาย (flashlight case) ส่วนประกอบของอุปกรณ์ดับเพลิง และส่วนประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้า




n=polymer degree,
R=-H, $-C_2H_5$

เอทิลเซลลูโลส



กระบอกไฟฉาย

**ethylene เอทิลีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวประเภทแอลคีน (ดู alkene) เป็นแอลคีนที่มีโมเลกุลเล็กที่สุด ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน 2 อะตอมในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $C_2H_4$

$$H_2C=CH_2$$

เอทิลีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ก๊าซไม่มีสี สังเคราะห์ด้วยการแตกตัวด้วยไอน้ำ (ดู steam cracking) และการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking) ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น อีเทน (ดู ethane) โพรเพน (ดู propane) ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (liquefied petroleum gas (LPG)) และแนฟทา (ดู naphtha)



ถังบรรจุก๊าซปิโตรเลียมเหลว

**ethylene-acid copolymer พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีนแอซิด**

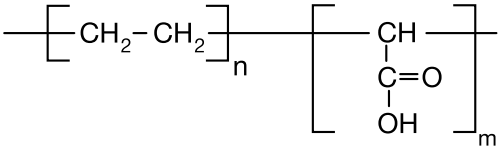
เทอร์มอพลาสติกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีนและกรดเมทาคริลิก (methacrylic acid) หรือกรดอะคริลิก (acrylic acid) ภายใต้ความดันสูง ยืดหยุ่น ดัดงอได้ (flexible) ทนน้ำและสารเคมี และสมบัติต้านการซึมผ่าน คล้ายกับแอลดีพีอี (LDPE) เมื่อมีปริมาณมอนอเมอร์ร่วมมากขึ้น ความเป็นผลึกจะน้อยลง ความแข็งแรงของพอลิเมอร์หลอม ความหนาแน่นและความสามารถในการติดยึดกับพื้นผิวหรือวัสดุที่มีขั้วสูงขึ้น พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-แอซิดที่มีมอนอเมอร์ร่วมประเภทคาร์บอกซิล มีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติในการยึดติด (adhesion) สมบัติเชิงแสง (optic) ความเหนียว (toughness) และมีสมบัติความเหนียวหนืดที่อุณหภูมิสูง (hot tack properties) ใช้ทำฟิล์มสำหรับบรรจุภัณฑ์ยืดหยุ่นได้สำหรับบรรจุเนื้อสัตว์ เนยแข็ง อาหารขบเคี้ยว อุปกรณ์ทางการแพทย์ ใช้เป็นสารยึดติดเพื่อการอัดซ้อน (adhesive laminating) และใช้เป็นสารเคลือบต่างๆ เช่น ในบรรจุภัณฑ์อาหาร กระดาษแข็ง กระป๋องหลอดยาสีฟัน ในรูปของสารกระจายตัว (the dispersion form) ใช้ในการทำสารเคลือบกระดาษและกระดาษแข็ง (paper and paperboard coating) ใช้เป็นชั้นรองพื้นอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil priming) สารเคลือบปิดผนึกด้วยความร้อน (heat-seal coating) สารยึดติดสำหรับผ้าไม่ทอ (binders for nonwovens) และใช้เป็นสารตั้งต้นในสารยึดติดที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (กาวน้ำ)



ฟิล์มสำหรับใช้ในบรรจุภัณฑ์ยืดหยุ่นดัดงอได้

**ethylene-acrylic acid copolymer (EAA) พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-กรดอะคริลิก (อีเอเอ)**

พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (random copolymer) ระหว่างเอทิลีน-มอนอเมอร์และกรดอะคริลิก (acrylic acid) ซึ่งหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) ที่มีสภาพเป็นไอออน มีความสามารถในการยึดติดกับโลหะหรือพื้นผิวชนิดต่างๆ ได้ดี มีความเหนียวและทนแรงกระแทกได้ดี นิยมใช้เป็นสารยึดติดระหว่างชั้นแผ่นโลหะบางกับฟิล์มพลาสติก ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ชนิดฟิล์มหลายชั้น (multilayer packaging film) ส่วนด้านนอกสุดของลูกกอล์ฟ และสารเสริมสภาพเข้ากันได้ (compatibiliser) ของพอลิเมอร์ผสม (polymer blend) และวัสดุเชิงประกอบ (composite material)




โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน-กรดอะคริลิก



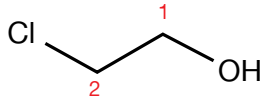

บรรจุภัณฑ์ชนิดฟิล์มหลายชั้น



ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-กรดอะคริลิก

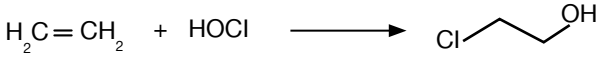
**ethylene chlorohydrin เอทิลีนคลอโรไฮดริน**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทแอลเคน (ดู alkane) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) และอะตอมคลอรีน (chlorine, Cl) เกาะบนอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 2 ในโครงสร้างของเอทิลีน (ดู ethylene) สูตรโมเลกุล $C_2H_5ClO$




เอทิลีนคลอโรไฮดริน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลวไม่มีสี กลิ่นคล้ายอีเทอร์ (ether) ละลายน้ำได้ สังเคราะห์จากปฏิกิริยาไฮโดรคลอริเนชัน (hydrochlorination) สารตั้งต้นเอทิลีนด้วยกรดไฮโพคลอรัส (hypochlorous acid)



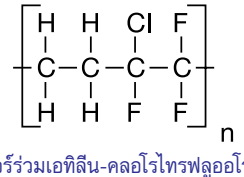

เอทิลีน กรดไฮโพคลอรัส เอทิลีนคลอโรไฮดริน

ใช้ผลิตเอทิลีนออกไซด์ (ดู ethylene oxide) (ไม่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน) เป็นตัวทำละลายสำหรับเซลลูโลสแอซีเทต (ดู cellulose acetate) และเอทิลเซลลูโลส (ดู ethyl cellulose) ใช้เป็นส่วนผสมของสี และหมึกพิมพ์สีผ้า เป็นต้น



หมึกพิมพ์สีผ้า

**ethylene-chlorotrifluoroethylene copolymer (CETPE) พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-คลอโรไทรฟลูออโรเอทิลีน (ซีอีทีพีอี)** พอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีน (ดู ethylene) กับคลอโรไทรฟลูออโรเอทิลีน มีสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี มีความต้านทานต่อการสึกมากกว่าเทฟลอน และความต้านทานต่อการติดไฟที่ดี ใช้ทำสายไฟ ปลอกหุ้มสายเคเบิล (cable jacket) วัสดุบุด้านในแท็งก์ (tank lining) วาล์วในอุตสาหกรรมเคมี ส่วนประกอบของปั๊ม สารเคลือบต้านทานการกัดกร่อน (corrosion-resistant coatings)



พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-คลอโรไทรฟลูออโรเอทิลีน






สายเคเบิลไฟฟ้า

**ethylene dichloride (EDC) เอทิลีนไดคลอไรด์ (อีดีซี)** สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอลเคน (ดู alkane) ที่มีอะตอมคลอรีนเกาะบนอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 2 ในโครงสร้างของเอทิลีน (ดู ethylene) สูตรโมเลกุล $C_2H_4Cl_2$



เอทิลีนไดคลอไรด์

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลว ไม่มีสี กลิ่นคล้ายคลอโรฟอร์ม (chloroform) สังเคราะห์โดยการเติมหมู่คลอรีนโดยตรง (direct chlorination) ในสารตั้งต้นเอทิลีน ที่ภาวะอุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส ความดัน 4.05 บาร์ โดยมีเหล็ก (III) คลอไรด์ (iron (III) chloride) หรือคอปเปอร์ (II) คลอไรด์ (copper (II) chloride) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$CH_2{=}CH_2 + Cl_2 \longrightarrow ClCH_2CH_2Cl$$
เอทิลีน คลอรีน เอทิลีนไดคลอไรด์

นอกจากนี้ยังสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาออกซีคลอริเนชัน (ดู oxychlorination) สารตั้งต้นเอทิลีนด้วยกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) และก๊าซออกซิเจน ที่ภาวะอุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส ความดัน 2-4.05 บาร์ โดยมีคอปเปอร์ (II) คลอไรด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$CH_2{=}CH_2 + 2HCl + \tfrac{1}{2}O_2 \rightarrow ClCH_2CH_2Cl + H_2O$$
เอทิลีน กรดไฮโดรคลอริก ออกซิเจน เอทิลีนไดคลอไรด์ น้ำ

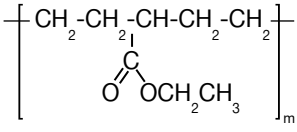
มากกว่าร้อยละ 80 ใช้เป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) ผลิตไวนิลคลอไรด์ (vinyl chloride) สำหรับผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride (PVC)) นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับการชะล้างไขมัน และสี


ท่อพีวีซี


โครงสร้างพีวีซี

**ethylene-ethyl acrylate copolymer (EEA) พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-เอทิลอะคริเลต (อีอีเอ)**

พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (random copolymer) ระหว่างเอทิลีนมอนอเมอร์กับเอทิลอะคริเลต (ethyl acrylate) ที่มีปริมาณเอทิลอะคริเลตร้อยละ 15-30 มีความยืดหยุ่นดัดงอได้ (flexible) มีความต้านทานการแตกหักเนื่องจากความเค้นในสภาพแวดล้อม (environmental stress cracking resistance) มีความต้านทานความล้าดัดโค้งดีเยี่ยม (resistance to flexural fatigue) และคงสมบัติที่ดีแม้ที่อุณหภูมิต่ำ ใช้ผลิตส่วนประกอบเหมือนยาง (mould rubber-like part) ฟิล์มยืดหยุ่นสำหรับทำถุงมือ และแผ่นที่ใช้ในโรงพยาบาลที่ใช้แล้วทิ้ง ท่อยาง ปะเก็น และกันชน



พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน-เอทิลอะคริเลต





ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-เอทิลอะคริเลต

**ethylene glycol (EG), monoethylene glycol (MEG) เอทิลีนไกลคอล (อีจี), มอนอเอทิลีนไกลคอล (เอ็มอีจี)**

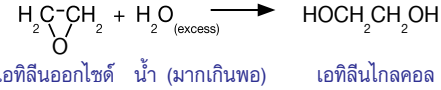
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทไดออล (ดู diol) หรือไกลคอล (ดู glycol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) เกาะบนอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 2 ในโครงสร้างของเอทิลีน (ดู ethylene) สูตรโมเลกุล $C_2H_6O_2$



เอทิลีนไกลคอล

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลวไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ลักษณะคล้ายน้ำเชื่อม รสหวาน ละลายน้ำได้ มีความเป็นพิษ สังเคราะห์โดยการเติมน้ำ (hydration) สารตั้งต้นเอทิลีนออกไซด์ (ดู ethylene oxide) ใช้น้ำปริมาณมากเกินพอเพื่อลดการเกิดผลผลิตพลอยได้ต่างๆ เช่น ไดเอทิลีนไกลคอล (ดู diethylene glycol) ไทรเอทิลีนไกลคอล (ดู triethylene glycol) และพอลิเอทิลีนไกลคอล (ดู polyethylene glycol) โดยมีร้อยละสัดส่วนผลผลิตคือ 91 : 8.6 : 0.4 ตามลำดับ ที่ภาวะอุณหภูมิ 50-100 องศาเซลเซียส โดยมีกรดซัลฟิวริกเจือจาง (diluted sulfuric acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาหลัก

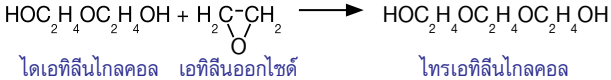


เอทิลีนออกไซด์ น้ำ (มากเกินพอ) เอทิลีนไกลคอล

ปฏิกิริยาข้างเคียง

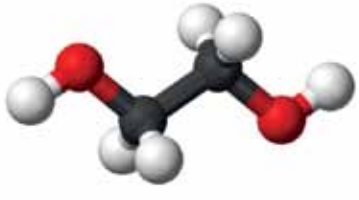


เอทิลีนไกลคอล เอทิลีนออกไซด์ ไดเอทิลีนไกลคอล



ไดเอทิลีนไกลคอล เอทิลีนออกไซด์ ไทรเอทิลีนไกลคอล

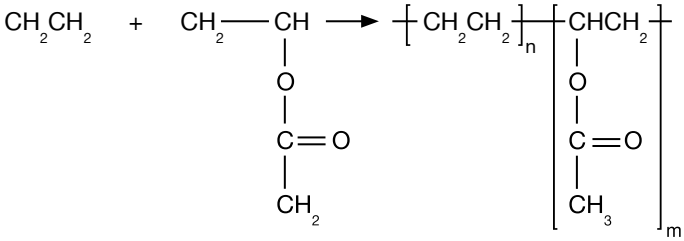
มากกว่าร้อยละ 68 ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิเอทิลีน-เทเรฟแทเลต (ดู polyethylene terephthalate) สำหรับผลิตขวดน้ำดื่ม ฟิล์ม และเส้นใย นอกจากนั้น ใช้เป็นสารกันเยือกแข็ง (antifreeze) ในรถยนต์



เอทิลีนไกลคอล

**ethylene-n-butyl acrylate copolymer (EBA) พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-นอร์มัล-บิวทิลอะคริเลต (อีบีเอ)**

เทอร์มอพลาสติกพอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีนกับนอร์มัลบิวทิลอะคริเลตมอนอเมอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรง ความเหนียว การกันความร้อน และการยึดติด



เอทิลีน นอร์มัลบิวทิลอะคริเลต เอทิลีนบิวทิลอะคริเลต

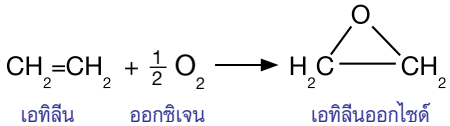
**ethylene oxide (EO), oxirane เอทิลีนออกไซด์ (อีโอ), ออกซิเรน**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทอีเทอร์ (ether) ที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นวงแหวนสามเหลี่ยม ที่ประกอบไปด้วยอะตอมคาร์บอน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม สูตรโครงสร้าง $C_2H_4O$



เอทิลีนออกไซด์

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ก๊าซ ไม่มีสี กลิ่นฉุนเล็กน้อย ไวไฟ ละลายน้ำ ความเป็นพิษสูง และเป็นสารก่อมะเร็ง สังเคราะห์โดยสารตั้งต้นเอทิลีน (ดู ethylene) ทำการออกซิไดซ์โดยตรง (direct oxidation) กับก๊าซออกซิเจน ที่สภาวะอุณหภูมิ 220-280 องศาเซลเซียส ความดัน 10-30 บาร์ โดยมีโลหะเงินบนตัวรองรับซิลิกาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



เอทิลีน ออกซิเจน เอทิลีนออกไซด์

ระหว่างปฏิกิริยาต้องควบคุมอุณหภูมิตลอดเวลา เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำ กัมมันตภาพ (activity) ของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง และที่อุณหภูมิสูงเกินไปจะเกิดออกซิเดชันสมบูรณ์ ได้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลผลิต

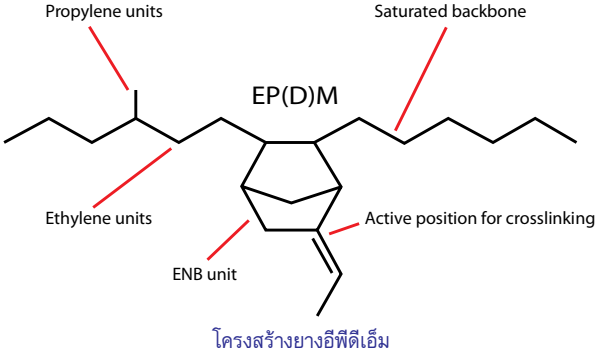


เอทิลีน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ

เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารเคมีต่างๆ ได้แก่ เอทิลีนไกลคอล (ดู ethylene glycol) และเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลต (ดู polyethylene terephthalate) สำหรับผลิตขวดน้ำดื่ม ฟิล์ม และเส้นใย นอกจากนี้ ยังใช้ผลิตเอทานอลามีน (ethanolamine) ซึ่งเป็นสารกำจัดก๊าซกรดในอุตสาหกรรม และใช้ผลิตพอลิเอทิลีนไกลคอล (ดู polyethylene glycol) เป็นต้น

**ethylene propylene diene terpolymer, EPDM rubber**
**เอทิลีนโพรพิลีนไดอีนเทอร์พอลิเมอร์, ยางอีพีดีเอ็ม**

ยางสังเคราะห์ สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเมแทลโลซีน (metallocene catalyzed polymerization) หรือสังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของ 1,4-เฮกซะไดอีน (1,4-hexadiene) ในสถานะก๊าซ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา (Ziegler-Natta catalyst) ทนน้ำ ทนโอโซน การฉายรังสี (radiation) ทนสภาพอากาศ (weather resistance) มีสมบัติในการเด้งกลับได้สูง (resilience) ทนสารละลายเกลือ (salt solution) ตัวทำละลายออกซิเจนเนต (oxygenated solvent) และของไหลไฮดรอลิกสังเคราะห์ (synthetic hydraulic fluid) ใช้เป็นยางผนึกตัวรถยนต์กันรั่ว (automotive body seal) วัสดุมุงหลังคากันน้ำ (waterproof roofing membrane) สายยาง (hose) ท่อ (tubing) ท่อยาง (duct) ยางรถยนต์ และสำหรับห่อหุ้มส่วนประกอบทางไฟฟ้า (encapsulating electrical component)



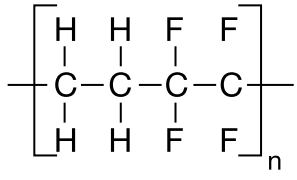
โครงสร้างยางอีพีดีเอ็ม


ยางอีพีดีเอ็ม


วัสดุมุงหลังคากันน้ำ

**ethylene-tetrafluoroethylene copolymer (ETPE)**
**พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-เททระฟลูออโรเอทิลีน (อีทีพีอี)**

พอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีน (ดู ethylene) กับเททระ-ฟลูออโรเอทิลีน มีความต้านทานต่อการขัดถู ความร้อน และสารเคมีดีเยี่ยม รวมทั้งมีความทนแรงกระแทกดี (impact strength) และมีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี แต่ไม่มีความต้านทานการติดไฟเหมือนพอลิเมอร์ร่วมเอทิลีนคลอโรไทรฟลูออโรเอทิลีน ดังนั้น เมื่อสัมผัสเปลวไฟจึงสลายตัวและหลอมเหลวได้ ใช้ทำสายไฟ ฉนวนสายเคเบิล (cable insulation) และใช้ในระบบไฟฟ้าสำหรับคอมพิวเตอร์ เครื่องบิน และระบบการให้ความร้อน



พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีนเททระฟลูออโรเอทิลีน



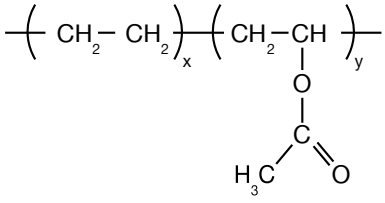



ปลอกต้ามถือ


ฉนวนสายเคเบิล

**ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีนไวนิลแอซีเทต (อีวีเอ)**

พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (random copolymer) ระหว่างเอทิลีนมอนอเมอร์กับไวนิลแอซีเทต (ดู vinly acetate) ที่มีปริมาณไวนิลแอซีเทต ร้อยละ 10-15 มีความสำคัญในอุตสาหกรรมสารเคลือบ สารอัดช้อน (laminate) และฟิล์ม มีความเป็นผลึกต่ำ (crystallinity) ทำให้ยืดหยุ่นดัดงอได้และเด้งกลับได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง และมีความใส (clarity) ใช้ทำกระบอกฉีดยาที่ใช้แล้วทิ้ง (disposable syringe) ปั๊มและหลอดหยดทางการแพทย์ ฟิล์มและแผ่นบางที่ใช้ในงานก่อสร้าง (construction film) ผ้าม่านห้องอาบน้ำ ถุงมือใช้แล้วทิ้ง ของเล่นสูบลม (inflatable toy) พื้นรองเท้า (shoe sole) กันกระแทกอุปกรณ์ขนาดเล็ก (small appliance bumper) ปะเก็นสำหรับกระป๋องโลหะ (canister gasket) และแปรงที่ใช้แล้วทิ้ง




พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีนไวนิลแอซีเทต





ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิเมอร์ร่วมเอทิลีนไวนิลแอซีเทต

**expandable polystyrene (EPS, XPS), styrene foam โฟมพอลิสไตรีน (อีพีเอส, เอ็กซ์พีเอส), โฟมสไตรีน**

พอลิสไตรีน (ดู polystyrene) ที่ผลิตโดยเติมก๊าซเพนเทน (pentane) เป็นสารฟู (blowing agent) ขณะขึ้นรูปด้วยความร้อน (มักเป็นไอน้ำ) ทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุนแบบโฟมในเนื้อพอลิเมอร์ ใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารสำเร็จรูป วัสดุกันกระแทกในบรรจุภัณฑ์ สารบุประตูตู้เย็น และฉนวนกันความร้อน



ภาชนะบรรจุอาหาร



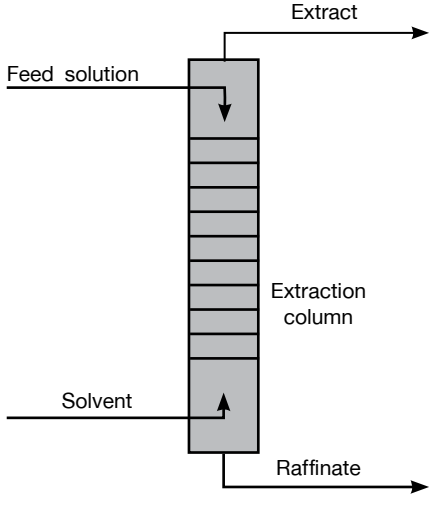
โฟมกันกระแทกแบบต่างๆ

**extract สารสกัด**

สิ่งหรือสารที่ถูกสกัดออกจากของผสม โดยใช้ตัวทำละลายต่างๆ ตัวอย่างเช่น การสกัดบิวทาไดอีน (ดู butadiene) ออกจากซี 4 ผสม (ดู mixed C4) โดยใช้แอซีโทไนไทรล์ (ดู acetonitrile) เป็นตัวทำละลาย

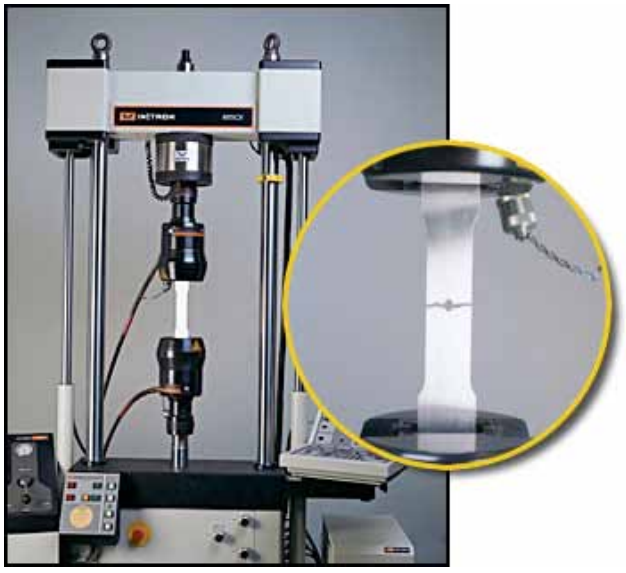
**extraction การสกัด**

การแยกสารออกจากสารผสม โดยใช้ตัวทำละลายที่มีความสามารถในการละลายสารที่ต้องการได้ดี ตัวทำละลายนั้นต้องไม่ละลายสารเจือปน หรือสารที่ไม่ต้องการออกมา ตัวอย่างการใช้กระบวนการสกัดในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น การสกัดบิวทาไดอีน (ดู butadiene) ออกจากซี 4 ผสม (ดู mixed C4) ที่ใช้แอซีโทไนไทรล์ (ดู acetonitrile) เป็นตัวทำละลาย เป็นต้น



**fatigue ความล้า**

สมบัติเชิงกลของวัสดุ เมื่ออยู่ภายใต้ภาวะที่มีแรงกระทำเป็นช่วงๆ ซ้ำๆ กันอยู่เป็นระยะเวลานาน เป็นผลให้วัสดุเกิดการวิบัติในที่สุด ภาระของแรงที่กระทำนั้นมีค่าต่ำกว่าแรงที่กระทำให้วัสดุวิบัติในทันที เช่น แรง ณ จุดคราก (yield point) หรือแรง ณ จุดแตกหัก ดังนั้น ข้อกำหนดสำคัญของความล้า ได้แก่ ระยะเวลาของกลไกที่ใช้เวลานานและภาระของแรงต่ำ ถ้าวัสดุได้รับแรงแปรผัน เรียกว่า ความล้าพลวัต (dynamic fatigue) แตกต่างจากความล้าสถิต (static fatigue) ซึ่งหมายถึง ความล้าที่เกิดจากแรงกระทำคงที่ ในการทดสอบสมบัติเชิงกลโดยทั่วไปหมายถึงความล้าพลวัต เช่น ปีกของเครื่องบิน ถังความดัน สะพาน และชิ้นส่วนต่างๆ ในรถยนต์ เป็นต้น ความล้ายังสามารถเกิดจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปมาได้เช่นกัน มีความสำคัญโดยเฉพาะกับพอลิเมอร์วิศวกรรมเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน เนื่องจากพฤติกรรมเปลี่ยนไปตามเวลา (time-dependent behavior) และอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างของวัสดุที่มีความต้านทานความล้า เช่น ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ต่างๆ ที่มีการนำไปผลิตเป็นยางรถยนต์ ยางรัด (หนังยางวง) สายรัดข้อมือยาง เป็นต้น



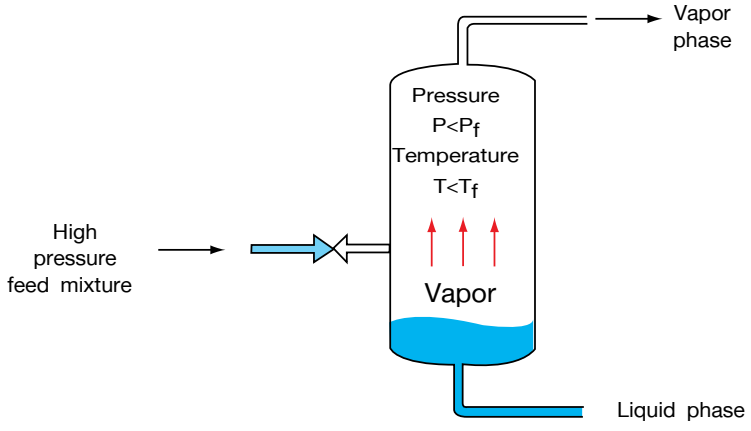
การทดสอบความล้า



สะพานที่ยุบตัวลงเมื่อมีแรงกระทำเป็นช่วงๆ ซ้ำๆ กันอยู่เป็นระยะเวลานาน

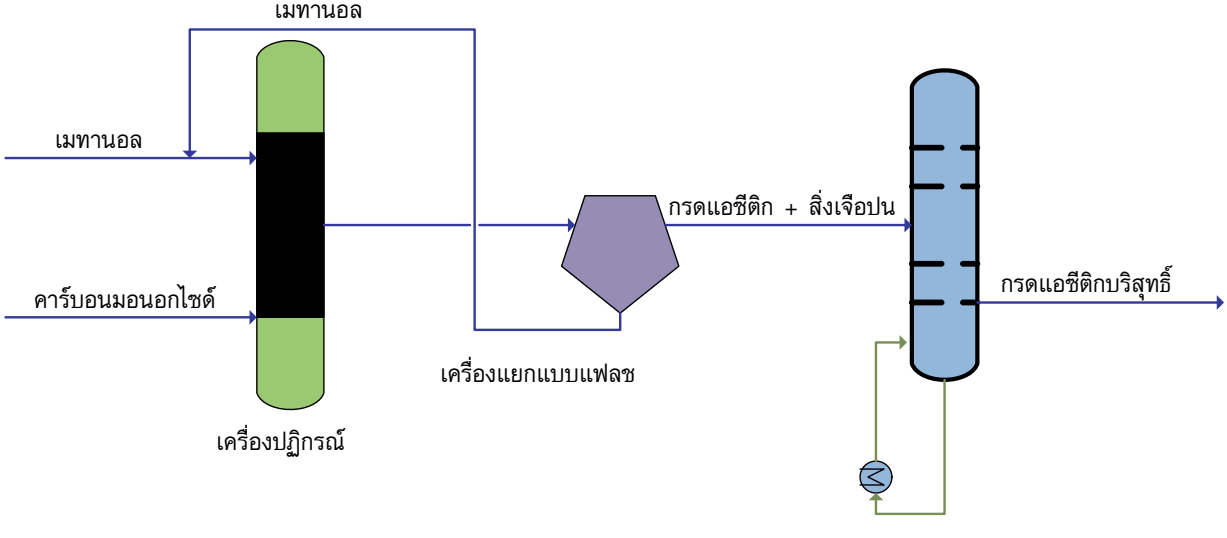
**flash separation การแยกแบบลดความดัน**

การแยกองค์ประกอบที่เป็นก๊าซหรือไอออกจากของเหลวผสม โดยวิธีการทางกายภาพด้วยการลดความดัน ของเหลวผสมที่มีความดันสูงผ่านเข้าไปในถังแยกที่มีความดันต่ำกว่า ทำให้องค์ประกอบส่วนเบาวาบ (flash) ออกไปเป็นก๊าซหรือไอ และลอยออกจากส่วนบนของถังแยก ส่วนองค์ประกอบที่หนักกว่ายังคงอยู่ในสถานะของเหลว และไหลออกทางด้านล่างของถังแยก




กระบวนการแยกแบบลดความดัน

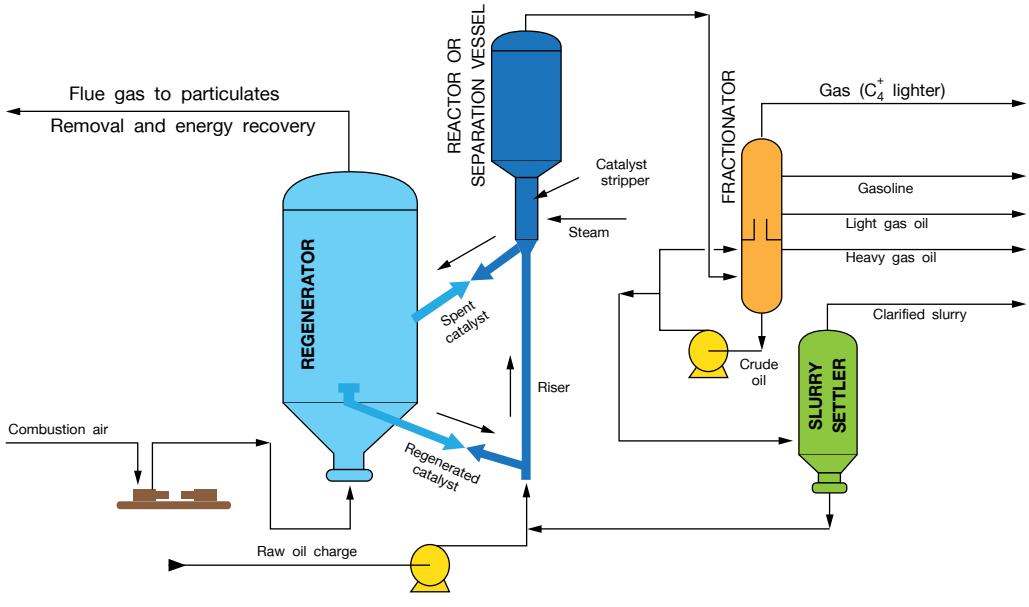
การแยกแบบลดความดันที่พบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้แก่ กระบวนการผลิตกรดแอซีติก (ดู acetic) ที่คิดค้นโดยกลุ่มชิโยดะ (Chiyoda Corp) และบริษัท ยูโอพี (UOP) ซึ่งเป็นการแยกไอของกรดแอซีติกออกจากสารตั้งต้นที่ไม่เกิดปฏิกิริยา ในปฏิกิริยาเติมหมู่คาร์บอนิล (ดู carbonylation) ระหว่างสารตั้งต้นเมทานอล (methanol) กับคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) โดยมีโลหะโรเดียม (rhodium) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภายในเครื่องปฏิกรณ์ชนิดบับเบิล (bubble column reactor) โดยไอของกรดแอซีติกจะถูกส่งไปยังหอกลั่นเพื่อกลั่นแยกน้ำและก๊าซอื่นๆ ออกไป เพื่อทำให้กรดแอซีติกมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ส่วนสารตั้งต้นที่ไม่เกิดปฏิกิริยา จะส่งกลับไปยังเครื่องปฏิกรณ์เพื่อทำปฏิกิริยาต่อไป




กระบวนการผลิตกรดแอซีติก

**fluid catalytic cracking (FCC) การแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะของไหล (เอฟซีซี)**

การแตกตัวสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ในสภาวะของไหล ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ซีโอไลต์ (ดู zeolite) ให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ได้แก่ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอะตอมคาร์บอนในโครงสร้าง 3-5 อะตอม (C3-C5 hydrocarbon) ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี หรือใช้ในการผลิตสารแอลคิเลต (alkylate) นอกจากนี้ ยังใช้ผลิตน้ำมันแก๊โซลีน (gasoline) ที่มีเลขออกเทนสูง (octane number) เนื่องจากมีสัดส่วนของสารประกอบแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) พาราฟินโซ่กิ่ง (branched paraffin) และโอเลฟินมาก (ดู olefin) กระบวนการเริ่มต้นจากไอของสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหนักและตัวเร่งปฏิกิริยาไหลเข้าเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed reactor) จากด้านล่าง ผ่านเครื่องปฏิกรณ์ที่เรียกว่าไรเซอร์ (riser) และเกิดการสัมผัสกันอย่างสมบูรณ์ภายในเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแตกตัวเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง ก่อนที่จะออกจากเครื่องปฏิกรณ์เข้าไปในถังแยก (reactor separation vessel) เพื่อแยกผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นออกจากตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนที่เป็นไอถูกกลั่นแยกในหอกลั่น (fractionator) เป็นผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นที่มีช่วงจุดเดือดต่างๆ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แล้วมีคาร์บอนเกาะสะสมอยู่บนพื้นผิวในรูปถ่านโค้ก (coke) ทำให้ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาหรือกัมมันตภาพ (activity) ลดลง จึงต้องกำจัดถ่านโค้กออกโดยอาศัยการเผาไหม้กับอากาศในเครื่องฟื้นฟูสภาพ (regenerator) แล้วนำเวียนตัวเร่งปฏิกิริยาที่เผาไล่ถ่านโค้กออก แล้วนำกลับมาใช้ในกระบวนการต่อไป



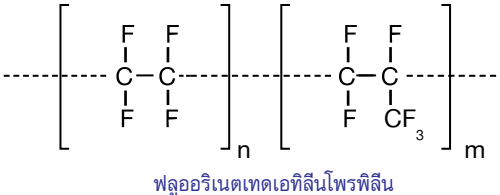

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำมันต่างๆ จากน้ำมันดิบ ด้วยการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะของไหล

| | | |
|---|---|---|
| raw oil charge = น้ำมันหนัก | reactor or separation vessel ถังปฏิกรณ์ หรือ ถังแยก | fractionator = หอแยก |
| riser = เครื่องปฏิกรณ์ไรเซอร์ | regenerator = เครื่องฟื้นฟูสภาพ | gas ($C_{4-}$ lighter) = ก๊าซ |
| steam = ไอน้ำ | flue gas to particulates removal and energy recovery = ฟลูก๊าซถูกส่งไปแยกละออง และดึงความร้อนกลับเข้าระบบ | gasoline = น้ำมันแก๊โซลีน |
| catalyst stripper = อุปกรณ์แยกตัวเร่งปฏิกิริยา | clarified slurry = สเลอร์รีส่วนใส | light gas oil/heavy gas oil = ก๊าซออยล์เบา/ก๊าซออยล์หนัก |
| spent catalyst = ตัวเร่งปฏิกิริยาใช้แล้ว | slurry settler = ถังตกตะกอน | |



**fluorinated ethylene propylene (FEP), perfluoroethylene propylene plastic ฟลูออริเนตเทดเอทิลีนโพรพิลีน (เอฟอีพี), เพอร์ฟลูออโรเอทิลีนโพรพิลีนพลาสติก**

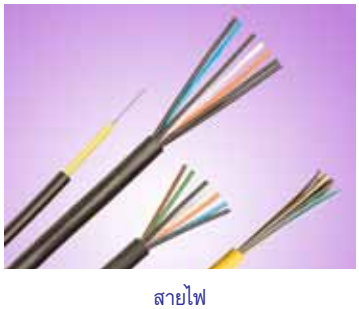
พอลิเมอร์ร่วมของเททระฟลูออโรเอทิลีนและเฮกซะฟลูออโร-โพรพิลีน เป็นพอลิเมอร์สัณฐานที่มีอุณหภูมิหลอมเหลว 290 องศาเซลเซียส สามารถคงสมบัติได้เป็นเวลานานที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีความต้านทานสารเคมีได้ดี มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำ ความเสียดทานต่ำและก๊าซผ่านได้น้อย นำไปใช้ผลิตท่อส่งสารเคมี สายไฟ สายเคเบิล และสารเคลือบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (solar collector glazing)



ฟลูออริเนตเทดเอทิลีนโพรพิลีน



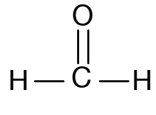
ท่อส่งสารเคมี



สายไฟ

**formaldehyde ฟอร์มัลดีไฮด์**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทแอลดีไฮด์ (aldehyde) ที่มีขนาดเล็กที่สุด เกิดปฏิกิริยาได้ว่องไว สูตรโมเลกุล $CH_2O$



ฟอร์มัลดีไฮด์



ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ก๊าซ ละลายน้ำได้ดี สังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้นเมทานอล (methanol) ทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) กับออกซิเจนในอากาศ ที่สภาวะอุณหภูมิ 400-425 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์ โดยมีเหล็ก-โมลิบดินัมออกไซด์ (iron-molybdenum oxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$2CH_3OH + O_2 \longrightarrow 2CH_2O + 2H_2O$$

เมทานอล ออกซิเจน ฟอร์มัลดีไฮด์ น้ำ

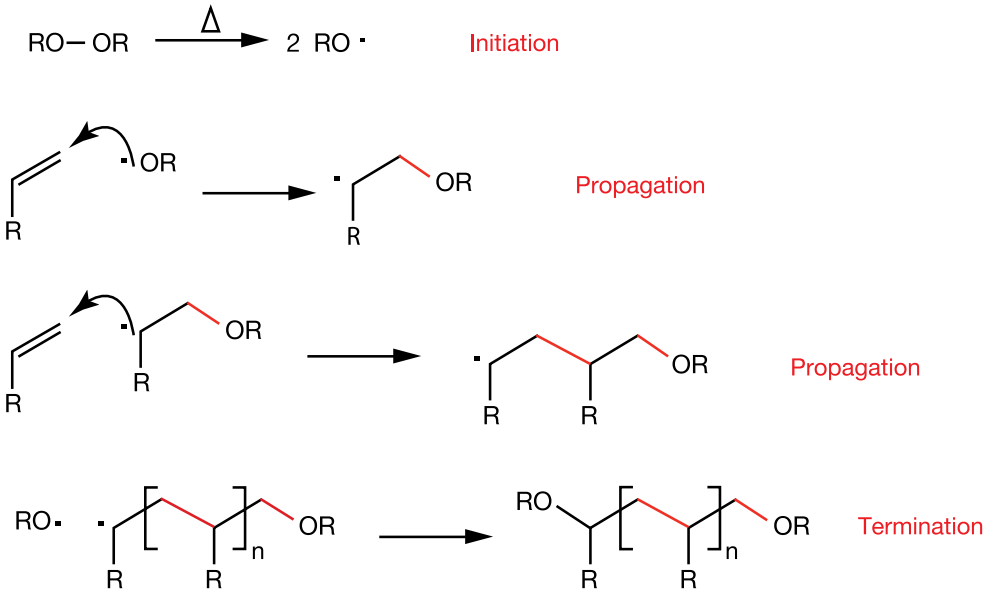
ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid) ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (urea formaldehyde) เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (melamine formaldehyde) ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (phenol-formaldehyde) 1,4-บิวเทน-ไดออล (1,4-butanediol) และเมทิลีนไดเฟนิลไดไอโซไซยาเนต (methylene diphenyl diisocyanate) เป็นต้น



ฟอร์มัลดีไฮด์

**free radical initiator, radical initiator สารเริ่มปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ** สารที่แตกตัวให้อนุมูลอิสระ (free radical) ภายใต้ภาวะที่ไม่รุนแรงนัก มีความว่องไว จะเข้าไปทำปฏิกิริยาแบบลูกโซ่กับมอนอเมอร์อย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปพันธะโมเลกุลมีความแข็งแรงต่ำต้องการพลังงานเพียงเล็กน้อย เช่น พลังงานจากแสงอัลตราไวโอเลต (UV light) ก็ทำให้พันธะแตกได้ ใช้ในอุตสาหกรรมการสังเคราะห์พอลิเมอร์อย่างแพร่หลาย ตัวอย่างสารเริ่มปฏิกิริยาอนุมูลอิสระได้แก่

1) โมเลกุลแฮโลเจน (halogen molecule) เช่น โมเลกุลคลอรีน (chlorine) เกิดเป็นอนุมูลอิสระคลอรีน ($Cl^{\cdot}$) 2 อนุมูล จากการแตกพันธะ
2) สารประกอบเอโซ (azo compounds, R-N=N-R′) เกิดเป็นอนุมูลอิสระที่มีคาร์บอน 2 อนุมูล ($R^{\cdot}$ และ $R'^{\cdot}$) และก๊าซไนโตรเจน ด้วยความร้อนและ/หรือแสง
3) สารอินทรีย์เพอร์ออกไซด์ (organic peroxides) พันธะเพอร์ออกไซด์ (-O-O-) ในโมเลกุล แตกออกได้ง่าย เกิดเป็นอนุมูลอิสระออกซิล (oxyl radical, $O^{\cdot}$) 2 อนุมูล




กลไกการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ

**Friedel-Crafts reaction ปฏิกิริยาฟรีเดล-คราฟท์**

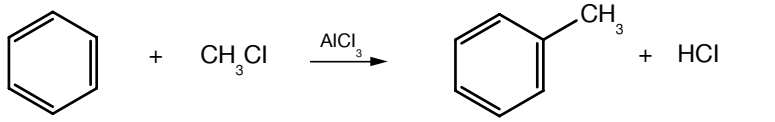


ชาร์ล ฟรีเดล



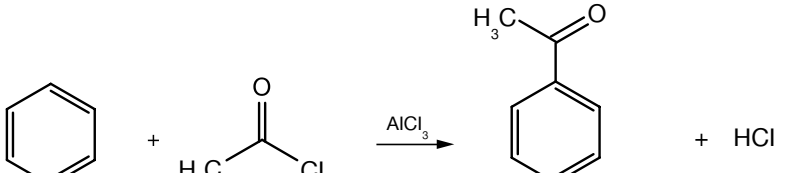
เจมส์ คราฟท์

กลุ่มของปฏิกิริยาที่พัฒนาโดย ชาร์ล ฟรีเดล (Charles Friedel) และ เจมส์ คราฟท์ (James Crafts) เมื่อ พ.ศ. 2420 เป็นปฏิกิริยาการแทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) ด้วยหมู่อิเล็กโทรไฟล์ (electrophile group) ได้แก่ หมู่แอลคิล (alkyl group, -R) และหมู่เอซิล (acyl group, RCO-) ที่มาจากแอซิดแฮไลด์ (acid halide) หรือแอซิดแอนไฮไดรด์ (acid anhydride) โดยมีกรดของลิวอิส (Lewis acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น เฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride) หรืออะลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminium chloride) ตัวอย่างเช่น 1) การสังเคราะห์ทอลิวอีน (ดู toluene) จากเบนซีน (benzene) และคลอโรมีเทน (chloromethane) โดยมีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา




เบนซีน คลอโรมีเทน ทอลิวอีน กรดไฮโดรคลอริก

2) การสังเคราะห์เมทิลเฟนิลคีโทน (methyl phenyl ketone) จากสารตั้งต้นเบนซีนและแอซีติลคลอไรด์ (acetyl chloride) โดยมีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



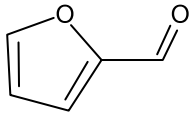

เบนซีน แอซีติลคลอไรด์ เมทิลเฟนิลคีโทน ไฮโดรคลอริก

**furan resin, furan plastic ฟิวแรนเรซิน, ฟิวแรนพลาสติก**

เทอร์มอเซตเรซินที่สังเคราะห์จากการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่นของเฟอร์ฟิวริลแอลกอฮอล์ (furfuryl alcohol) ในกรด บางครั้งใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ หรือเฟอร์ฟิวรัล (2-เฟอร์รัลดีไฮด์) (2-furaldehyde) รวมไปถึงการควบแน่นของฟีนอลกับเฟอร์ฟิวริลแอลกอฮอล์ หรือเฟอร์ฟิวรัลกับเฟอร์ฟิวริลคีโทน (furfuryl-ketone) ฟิวแรนเรซินมีสีดำ มีความแข็งแรง ต้านทานสารเคมีได้ดีโดยเฉพาะกรดและด่าง และสามารถแทรกซึมในพื้นผิวที่มีรูพรุนได้ดี เรซินอยู่ในรูปของของเหลว ตั้งแต่ความหนืดต่ำไปจนถึงความหนืดสูงคล้ายน้ำเชื่อมข้น (heavy syrup) นำไปใช้เป็นวัสดุแบบหล่อ (moulding material) สารยึดติด และน้ำมันวาร์นิชที่ใช้ทาให้ชุ่ม นอกจากนี้ยังใช้ทำซีเมนต์ที่ต้านทานกรดและด่าง โดยสร้างพันธะเป็นตัวเชื่อมกับหินในการทำภาชนะที่ทำจากหิน ใช้ทำสารเคลือบผิวเพื่อป้องกันพื้นผิวถูกทำลายจากสารเคมี และเนื่องจากแทรกซึมสารที่มีรูพรุนได้ดีจึงนำไปใช้ปรับปรุงวัสดุรูพรุน เช่น การหล่อปูนปลาสเตอร์

**furfural เฟอร์ฟิวรัล**

สารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic) ประเภทแอลดีไฮด์ (aldehyde) โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนไม่อิ่มตัวห้าเหลี่ยม มีพันธะคู่ 2 พันธะ และอะตอมออกซิเจนในวงแหวนเชื่อมต่อกับหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group, -CO-) สูตรโมเลกุล $C_5H_4O_2$



เฟอร์ฟิวรัล

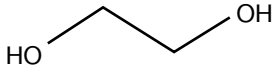
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวคล้ายน้ำมัน ไม่มีสี สังเคราะห์จากพืชที่มีน้ำตาลเพนโทส (pentose) เป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง เช่น เปลือกของต้นข้าวโอ๊ต ซังข้าวโพด ต้นอ้อย เป็นต้น มาดึงน้ำออก (dehydration) โดยใช้ความร้อนและกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) หรือกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันดิบและในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับแยก 1,3-บิวทาไดอีน (1,3-butadiene) ออกจากซี 4 ผสม (ดู mixed C4) ด้วยกระบวนการกลั่นร่วมกับการสกัด (extractive distillation) นอกจากนี้ ยังใช้สำหรับสังเคราะห์ฟีนอลเฟอร์ฟิวรัลดีไฮด์ (phenol furfuraldehyde) และเฟอร์ฟิวรัลแอลกอฮอล์ (furfural alcohol)

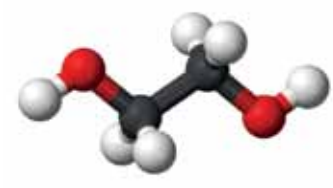


เฟอร์ฟิวรัล

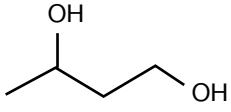
**glycol, diol ไกลคอล, ไดออล**

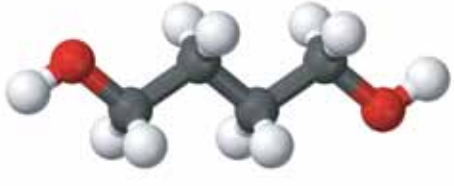
สารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) 2 หมู่ เชื่อมกับโครงสร้างหลักของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ แอลเคน (ดู alkane) ไซโคล-แอลเคน (cycloalkane) และแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ตัวอย่างเช่น เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) 1,3-บิวเทนไดออล (1,3-butanediol) และเบนซีนไดออล (benzenediol) เป็นต้น



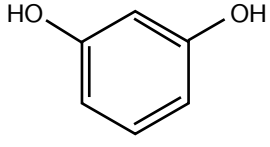



เอทิลีนไกลคอล



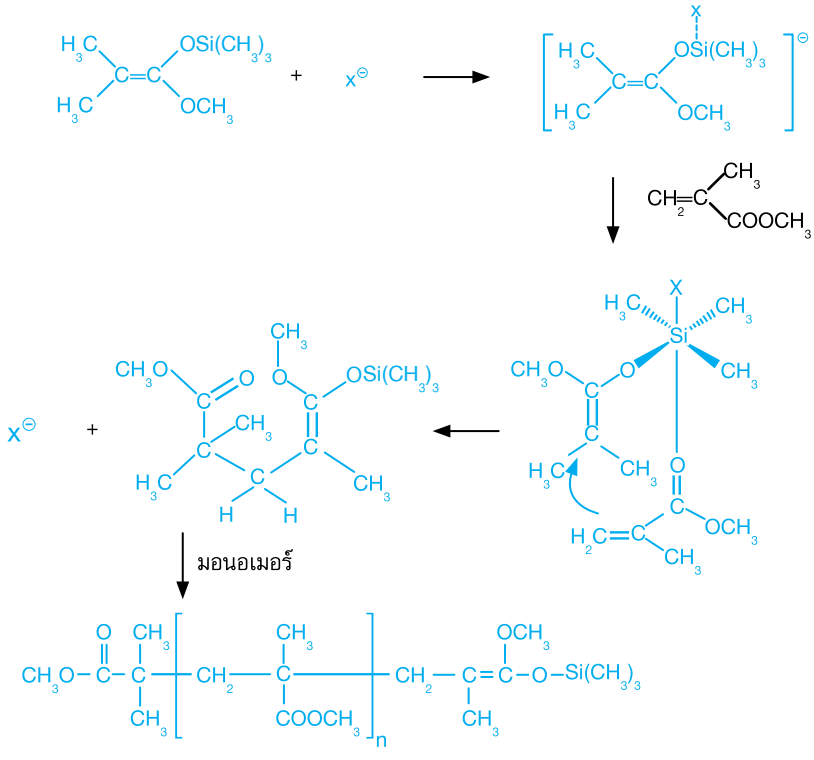
1,3-บิวเทนไดออล



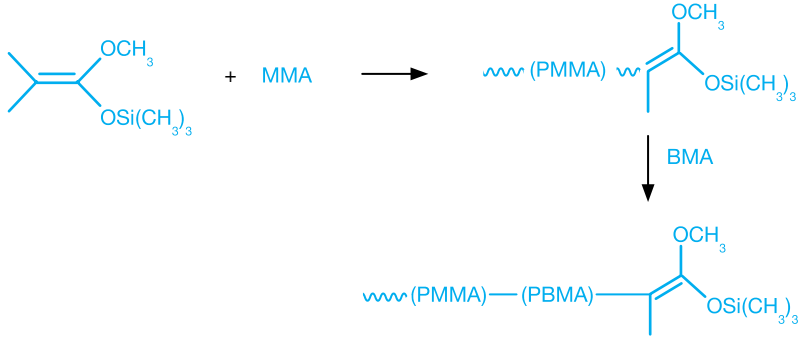

เบนซีนไดออล

**group transfer polymerization (GTP) การเกิดพอลิเมอร์แบบถ่ายโอนกลุ่ม (จีทีพี)**

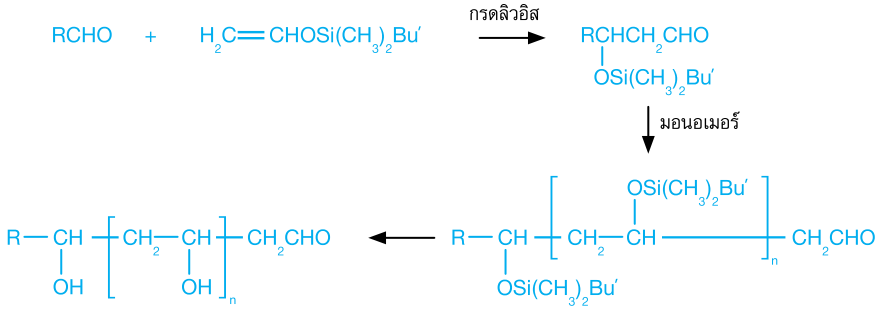
การสังเคราะห์พอลิเมอร์วิธีหนึ่งของการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่ยังโตได้ (ดู living polymerization) ไม่จำเป็นต้องสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำ อาศัยการถ่ายโอนอนุพันธ์ของกรดอะคริลิก (acrylic acid) หรือกรดเมทาคริลิก (methacrylic acid) โดยมอนอเมอร์ทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาสารประเภทไซลิลคีโทนแอซีทัล (silylketone acetal) ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมประเภทแอนไอออนหรือตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมประเภทกรดลิวอิส เช่น ปฏิกิริยาการถ่ายโอนหมู่ไซลิลจากตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังมอนอเมอร์ นอกจากการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่ยังโตได้แล้ว ยังใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่ม (block copolymer) หรือพอลิเมอร์ประเภทเทเลคีลิกด้วย (telechelic polymer)




การเกิดพอลิเมอร์แบบถ่ายโอนกลุ่มของพอลิเมอร์ที่ยังโตได้



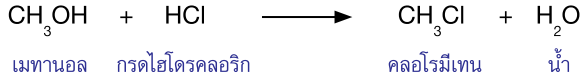

การเกิดพอลิเมอร์แบบถ่ายโอนกลุ่มพอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่ม



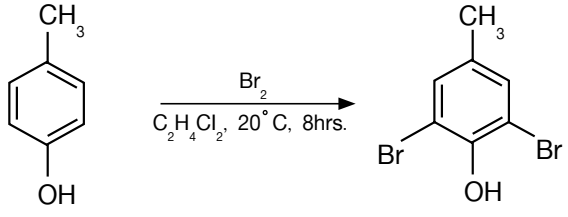

การเกิดพอลิเมอร์แบบถ่ายโอนกลุ่มพอลิเมอร์ประเภทเทเลคีลิก

**halogenation การเติมหมู่แฮโลเจน**

ปฏิกิริยาการเติมหรือแทนที่หมู่ฟังก์ชันหรืออะตอมไฮโดรเจนในโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ด้วยอะตอมของธาตุแฮโลเจน (halogen) ได้แก่ ฟลูออรีน (fluorine) คลอรีน (chlorine) โบรมีน (bromine) และไอโอดีน (iodine) ชนิดของอะตอมที่ทำปฏิกิริยาเป็นตัวกำหนดชื่อเรียกของปฏิกิริยา เช่น การเติมฟลูออรีน (fluorination) การเติมคลอรีน (ดู chlorination) การเติมโบรมีน (ดู bromination) และการเติมไอโอดีน (iodination) เป็นต้น ตัวอย่างของปฏิกิริยา เช่น การแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) ของเมทานอล (methanol) ด้วยอะตอมคลอรีน เพื่อสังเคราะห์คลอโรมีเทน (chloromethane) โดยใช้เมทานอลทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid)

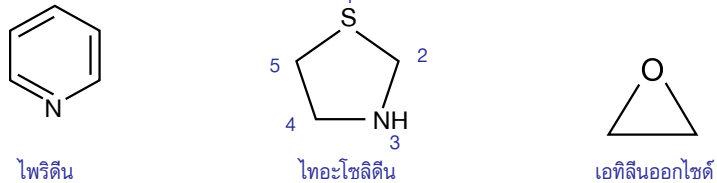



และการเติมหมู่โบรมีนในโครงสร้างของพาราครีซอล (p-cresol) เพื่อสังเคราะห์ 2,6-ไดโบรโมพาราครีซอล (2,6-dibromo-p-cresol) เป็นต้น




**heterocyclics, heterocyclic compound เฮเทอโรไซคลิกส์, สารประกอบประเภทเฮเทอโรไซคลิก**

กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ชนิดวงแหวน ที่มีอะตอมของธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอนและไฮโดรเจนอยู่ในโครงสร้าง เรียกว่า อะตอมวิวิธพันธ์ (heteroatom) ได้แก่ ไนโตรเจน กำมะถัน ออกซิเจน ตัวอย่างสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก ได้แก่ ไพริดีน (pyridine) ที่มีอะตอมไนโตรเจนอยู่ในโครงสร้างวงแหวนหกเหลี่ยม ไทอะโซลิดีน (thiazolidine) ที่มีอะตอมของไนโตรเจนและกำมะถันอยู่ในโครงสร้างวงแหวนห้าเหลี่ยม และเอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) ที่มีอะตอมออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างวงแหวนสามเหลี่ยม เป็นต้น

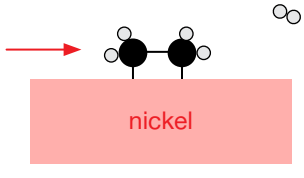


**heterogeneous catalyst ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์**
ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีวัฏภาค (phase) แตกต่างจากตัวทำปฏิกิริยา (reactant) และผลผลิต (product) มักเป็นของแข็ง เช่น โลหะ ซีโอไลต์ (ดู zeolite) เป็นต้น ส่วนตัวทำปฏิกิริยาหรือผลผลิตเป็นก๊าซหรือของเหลว ใช้กลไกการดูดซับ (adsorption) และการคายซับ (desorption) ตัวทำปฏิกิริยาจะถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาบริเวณตำแหน่งกัมมันต์ (active site) และเกิดปฏิกิริยา ผลผลิตที่เกิดขึ้นถูกคายออกจากตำแหน่งกัมมันต์เพื่อให้ตัวทำปฏิกิริยาเข้ามาดูดซับบนพื้นผิวแล้วเกิดปฏิกิริยาต่อไป ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ที่ดีต้องมีความสามารถในการดูดซับสารตั้งต้นได้ดี แต่ดูดซับผลผลิตได้น้อย ตัวอย่างการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ เช่น การเติมไฮโดรเจน (ดู hydrogenation) ในตัวทำปฏิกิริยาโอเลฟิน (ดู olefin) ในวัฏภาคก๊าซเพื่อผลิตพาราฟิน (ดู paraffin) ได้แก่ การเปลี่ยนเอทิลีน (ดู ethylene) เป็นอีเทน (ดู ethane) โดยใช้โลหะนิกเกิล (nikel) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

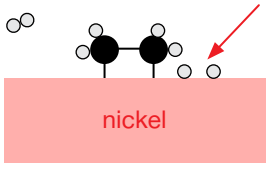
$$CH_2{=}CH_2 + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3\,CH_3$$

เอทิลีน ไฮโดรเจน อีเทน

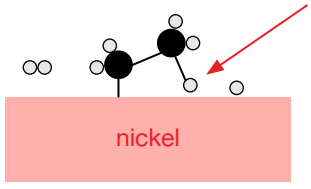
กลไกการเกิดปฏิกิริยาเริ่มจากโมเลกุลเอทิลีนถูกดูดซับที่ตำแหน่งกัมมันต์บนพื้นผิวของโลหะนิกเกิล พันธะคู่ของคาร์บอนในโมเลกุลเอทิลีนแตกออก แล้วสร้างพันธะกับพื้นผิวของโลหะนิกเกิล



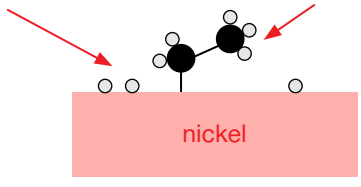

จากนั้นโมเลกุลของไฮโดรเจนจะถูกดูดซับบนพื้นผิวของโลหะนิกเกิล และพันธะไฮโดรเจนแตกออกกลายเป็นอะตอมไฮโดรเจน

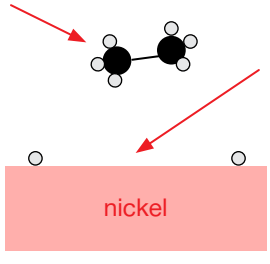



อะตอมไฮโดรเจนสร้างพันธะใหม่กับคาร์บอนของตัวทำปฏิกิริยาเอทิลีน เกิดพันธะใหม่ และพันธะเดิมระหว่างคาร์บอนกับโลหะนิกเกิลแตกออก




ขั้นตอนการเกิดอะตอมไฮโดรเจน การสร้างพันธะระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจน และการสลายพันธะระหว่างคาร์บอนกับโลหะนิกเกิลจะเกิดซ้ำที่คาร์บอนอีกตำแหน่งหนึ่ง ได้ผลผลิตอีเทน ซึ่งจะถูกคายออกจากพื้นผิวโลหะนิกเกิล ทำให้ตำแหน่งกัมมันต์ว่างลงพร้อมทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาต่อไป




**high density polyethylene (HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (เอชดีพีอี)**
พอลิเอทิลีน (ดู polyethylene) ที่มีความหนาแน่นมากกว่า 0.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาฟิลลิปส์ (Phillips catalyst) ที่เป็นโครเมียมออกไซด์ (chromium oxide) หรือตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา (Ziegler-Natta catalyst) พอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูง (highly crystalline) ไม่มีขั้ว ในกรณีที่ผลิตเป็นฟิล์มบางจะมีความโปร่งแสงสูง (translucent) ความต้านทานสารเคมีดี รวมถึงกรดและด่างเข้มข้น ไม่ดูดความชื้น มีสมบัติกั้นการซึมผ่านของไอน้ำดี (water vapor barrier) ความต้านทานแรงกระแทกดี (impact resistance) และมีความเหนียว (toughness) ใช้ผลิตขวดสำหรับบรรจุสารเคมีที่ใช้ภายในบ้าน ของเล่น ถังน้ำ ลังใส่ขวดภาชนะ เครื่องใช้ภายในบ้าน บรรจุภัณฑ์อาหาร ถังขยะ ถุงหิ้ว และถุงขยะ









ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

**high impact polystyrene (HIPS), impact polystyrene พอลิสไตรีนทนแรงกระแทกสูง (เอชไอพีเอส)**

พอลิสไตรีน (ดู polystyrene) ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยยาง สังเคราะห์โดยละลายยางบิวทาไดอีน (ดู butadiene) ในสไตรีนมอนอเมอร์ก่อนทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ การเพิ่มยางเข้าไปในพอลิสไตรีนทำให้มีความมันวาวสูง (gloss) มีความเหนียว (toughness) และความต้านทานแรงกระแทกดี (impact resistance) การใช้งานหลากหลาย เช่น บรรจุภัณฑ์ วัสดุใช้แล้วทิ้ง กล่องแผ่นซีดี ของเล่น ส่วนประกอบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น



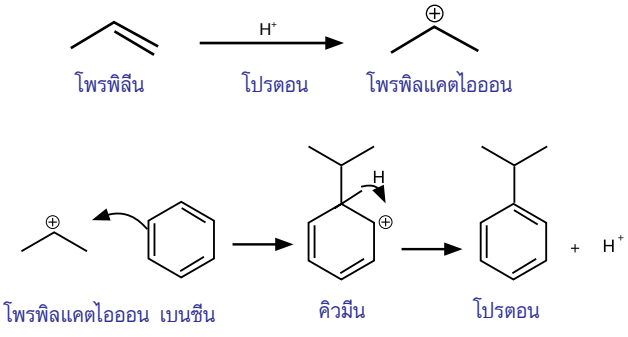
แป้นพิมพ์



กล่องใส่แผ่นซีดี

**homogeneous catalyst ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์**

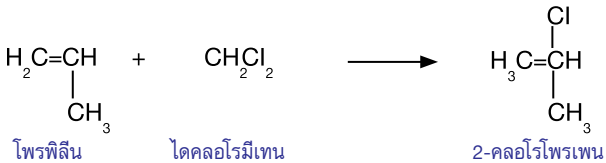
ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีวัฏภาค (phase) เดียวกับสารตั้งต้น (reactant) และผลิตภัณฑ์ (product) เป็นเนื้อเดียวกันละลายอยู่ด้วยกัน ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยากรด (acid catalyst) และเบส (base catalyst) ในสารละลายน้ำ เช่น กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) เป็นต้น ตัวอย่างการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ เช่น การสังเคราะห์คิวมีน (ดู cumene) จากสารตั้งต้นเบนซีน (ดู benzene) และโพรพิลีน (ดู propylene) ในวัฏภาคของเหลวโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กลไกการเกิดปฏิกิริยาเริ่มจากโปรตอน (proton, $H^+$) จากกรดซัลฟิวริกเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของโพรพิลีน ได้โพรพิลแคตไอออน (propyl cation) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับวงแหวนเบนซีน ได้ผลผลิตคิวมีนและขจัดหมู่ไฮโดรเจนออกจากวงแหวนกลับมาเป็นโปรตอน ซึ่งจะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาต่อไป




ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์คือ สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (ดู heterogeneous catalyst) มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ และลดปัญหาการสลายตัวของผลผลิต เนื่องจากปฏิกิริยาอยู่ในภาวะปกติ เช่น ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง และตัวเร่งปฏิกิริยามีราคาไม่แพง ข้อเสียคือ แยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารตั้งต้นและผลผลิตได้ยากเนื่องจากอยู่ในวัฏภาคเดียวกัน และหลังขั้นตอนการแยกอาจต้องจัดการกับของเสีย

**hydrochlorination ไฮโดรคลอริเนชัน**

ปฏิกิริยาการเติมอะตอมไฮโดรเจนและคลอรีนในโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว เช่น โอเลฟิน (ดู olefin) หรืออะเซทิลีน (ดู acetylene) ตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์ 2-คลอโรโพรเพน (2-chloropentane) จากสารตั้งต้นโพรพิลีน (ดู propylene) ทำปฏิกิริยากับไดคลอโรมีเทน (dichloromethane) โดยมีโลหะโรเดียม (rhodium) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

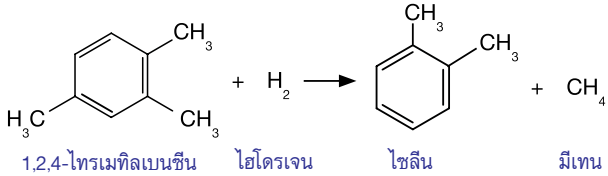



**hydrocracking การแตกตัวด้วยไฮโดรเจน**

การแตกตัวของโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ให้เป็นสารประกอบอิ่มตัวที่มีขนาดเล็กลงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและก๊าซไฮโดรเจน ในสภาวะความดันและอุณหภูมิสูง นิยมใช้ผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวหรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตสารโอเลฟินและเบนซีนในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

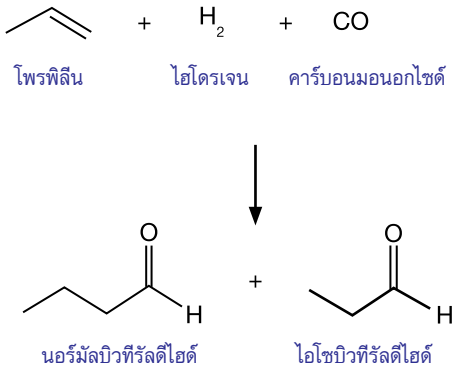
**hydrodealkylation การดึงหมู่แอลคิลด้วยไฮโดรเจน, ไฮโดรดีแอลคิเลชัน**

การดึงหมู่แอลคิล (alkyl group) ออกจากสารแอลคิลแอโรแมติก (alkyl aromatic) เช่น ทอลิวอีน (ดู toluene) โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจน ตัวอย่างเช่น การดึงหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) หนึ่งหมู่ออกจาก 1,2,4-ไทรเมทิลเบนซีน (1,2,4-trimethyl benzene) เพื่อผลิตไซลีน (ดู xylene) ที่สภาวะอุณหภูมิและความดันสูง โดยใช้โลหะโครเมียม (chromium) หรือโมลิบดินัม (molybdenum) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

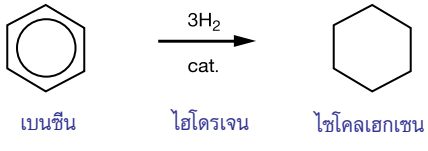



**hydroformylation, oxo synthesis ไฮโดรฟอร์มิลเลชัน, การสังเคราะห์ออกโซ**

การเติมหมู่ฟอร์มิล (formyl group, -CHO) และไฮโดรเจนที่ตำแหน่งพันธะคู่ของสารตั้งต้นแอลคีน (ดู alkene) เพื่อสังเคราะห์สารประกอบแอลดีไฮด์ (aldehyde) โดยใช้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) และไฮโดรเจนเป็นตัวทำปฏิกิริยา ที่สภาวะอุณหภูมิ 40-200 องศาเซลเซียส ความดัน 10-100 บาร์ โดยมีโลหะโรเดียม (rhodium) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวอย่างของปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ การสังเคราะห์นอร์มัลบิวทีรัลดีไฮด์ (n-butyraldehyde) และไอโซบิวทีรัลดีไฮด์ (isobutyraldehyde) จากสารตั้งต้นโพรพิลีน (ดู propylene)

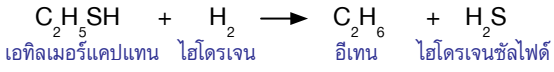



**hydrogenation การเติมไฮโดรเจน, ไฮโดรจีเนชัน**
การเติมไฮโดรเจนเข้าไปที่พันธะคู่ของอะตอมคาร์บอน ทำให้พันธะคู่แตกออก และเกิดพันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน ในภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น แพลทินัม (platinum) แพลลาเดียม (palladium) และโรเดียม (rhodium) เป็นต้น ใช้ในการเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (ดู alkene) ให้เป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (ดู alkane) เช่น การเปลี่ยนสารตั้งต้นเบนซีน (ดู benzene) เป็นผลผลิตไซโคลเฮกเซน (ดู cyclohexane) ที่สภาวะอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส ความดัน 1.5-2.5 บาร์ โดยมีโลหะแพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

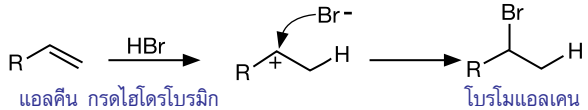



นอกจากนี้ ยังใช้การเติมไฮโดรเจนเพื่อสลายพันธะอะตอมคาร์บอนกับอะตอมวิวิธพันธ์ (heteroatom) ได้แก่ ออกซิเจน ไนโตรเจนหรือกำมะถัน เพื่อให้ได้โมเลกุลใหม่ 2 โมเลกุล เรียกการเติมนี้ว่า การแตกตัวด้วยไฮโดรเจน (ดู hydrogenolysis)

**hydrogenolysis การแตกตัวด้วยไฮโดรเจน, ไฮโดรจิโนไลซิส**
ปฏิกิริยาสลายพันธะเดี่ยวระหว่างอะตอมคาร์บอน หรืออะตอมคาร์บอนกับอะตอมวิวิธพันธ์ (heteroatom) ได้แก่ ออกซิเจน ไนโตรเจน หรือกำมะถัน ด้วยไฮโดรเจน ได้โมเลกุลใหม่ 2 โมเลกุล นิยมใช้ในการกำจัดอะตอมวิวิธพันธ์ออกจากโมเลกุลสารตั้งต้น เช่น ปฏิกิริยาการขจัดกำมะถันโดยใช้ไฮโดรเจน (hydrodesulfurization) ได้ผลผลิตใหม่ที่ไม่มีอะตอมกำมะถัน และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) ตัวอย่างปฏิกิริยาเคมี เช่น การขจัดกำมะถันออกจากเอทิลเมอร์แคปแทน (ethyl mercaptan) ซึ่งเป็นสารเจือปนในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ได้อีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์




**hydrohalogenation ไฮโดรแฮโลจีเนชัน**
การเติมกรดไฮโดรแฮลิก (hydrohalic acid) ซึ่งเป็นกรดที่เกิดจากการรวมตัวระหว่างอะตอมไฮโดรเจน กับอะตอมของธาตุแฮโลเจน (halogen) ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) หรือกรดไฮโดรโบรมิก (hydrobromic acid) ในโมเลกุลแอลคีน (ดู alkene) ได้ผลผลิตเป็นสารแฮโลแอลเคน (haloalkane)




ในกรณีที่อะตอมคาร์บอน 2 อะตอม ที่ตำแหน่งพันธะคู่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนที่เกาะอยู่ต่างกัน อะตอมของธาตุแฮโลเจนจะเลือกสร้างพันธะกับอะตอมคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนเกาะอยู่น้อยที่สุด และอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไฮโดรแฮลิกจะสร้างพันธะกับอะตอมคาร์บอนที่มีอะตอมไฮโดรเจนเกาะอยู่มากที่สุด เนื่องจากคาร์โบแคตไอออน (carbocation) ที่ได้มีความเสถียรมากที่สุด ซึ่งเป็นไปตามกฎของมาร์คอฟนิคอฟ (Markovnikov's rule) ซึ่งค้นพบโดย วลาดิเมียร์ มาร์คอฟนิคอฟ (Vladimir Markovnikov) นักวิทยาศาสตร์เคมีชาวรัสเซีย เมื่อ พ.ศ. 2412 ตัวอย่างของปฏิกิริยาเคมี เช่น การสังเคราะห์ 2-โบรโมโพรเพน (2-bromopropane) จากสารตั้งต้นโพรพิลีน (ดู propylene) โดยการเติมกรดไฮโดรโบรมิก

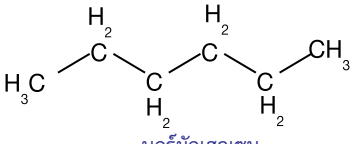


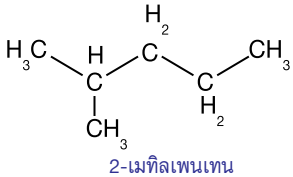


วลาดิเมียร์ มาร์คอฟนิคอฟ

**hydroisomerization การเปลี่ยนไอโซเมอร์ด้วยไฮโดรเจน, ไฮโดรไอโซเมอไรเซชัน**

การเปลี่ยนโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนให้มีโซ่กิ่งมากขึ้น ในภาวะที่มีไฮโดรเจนและตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนนอร์มัลเฮกเซน (n-hexane) ให้เป็นไอโซเมอร์ต่างๆ เช่น 2-เมทิลเพนเทน (2-methylpentane) 3-เมทิลเพนเทน (3-methylpentane) 2,2-ไดเมทิลบิวเทน (2,2-dimethylbutane) และ 2,3-ไดเมทิลบิวเทน (2,3-dimethylbutane) โดยใช้แพลทินัม-อะลูมินา (platinum-alumina) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา


นอร์มัลเฮกเซน


2-เมทิลเพนเทน


3-เมทิลเพนเทน


2,2-ไดเมทิลเพนเทน


2,3-ไดเมทิลบิวเทน

**hydrolysis การแยกสลายด้วยน้ำ, ไฮดรอไลซิส**

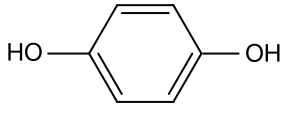
การสลายโมเลกุลของสารตั้งต้นให้เป็นโมเลกุลใหม่ 2 โมเลกุล ด้วยน้ำที่แตกตัวเป็นไฮโดรเจนไอออน (hydrogen ion, $H^+$) และไฮดรอกไซด์ไอออน (hydroxide ion, $OH^-$)

$$AB + HOH \longrightarrow AH + BOH$$

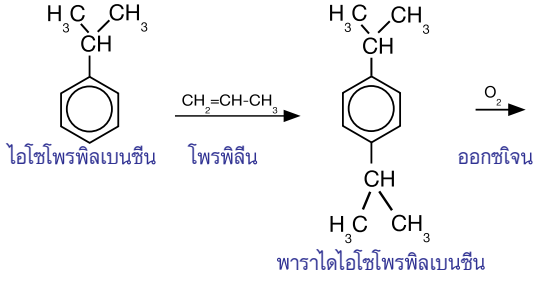
จากสารตั้งต้น AB ผลผลิตที่ได้คือ AH และ BOH ซึ่งเป็นผลผลิตที่เป็นกลาง ตัวอย่างเช่น การแยกสารประกอบเอสเทอร์ (ester) ให้เป็นผลผลิตกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) และแอลกอฮอล์ (alcohol) และการแยกสารประกอบเอไมด์ (amide) ให้เป็นกรดคาร์บอกซิลิกและเอมีน (ดู amine) เป็นต้น

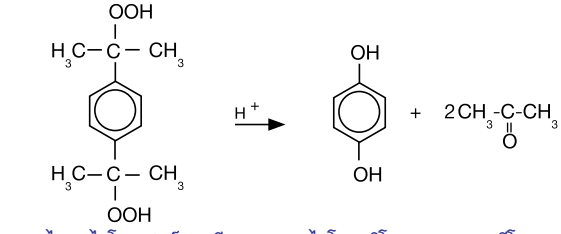
**hydroquinone ไฮโดรควิโนน**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทไดออล (ดู diol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) 2 หมู่ เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) ในตำแหน่งพารา (para position) สูตรโมเลกุล $C_6H_6O_2$


ไฮโดรควิโนน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของแข็งสีขาว สังเคราะห์จากสารตั้งต้นโพรพิลีน (ดู propylene) ทำปฏิกิริยากับไอโซโพรพิลเบนซีน (isopropyl benzene)


ไอโซโพรพิลเบนซีน โพรพิลีน ออกซิเจน พาราไดไอโซโพรพิลเบนซีน


พาราได(2-ไฮโดรเปอร์ออกซี-2-โพรพิล)เบนซีน ไฮโดรควิโนน แอซีโทน

ใช้เป็นตัวต้านออกซิเดชัน (antioxidant) และตัวต้านโอโซน (antiozonant) ในการผลิตยาง นอกจากนี้ ยังใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization inhibitor) ในช่วงการผลิตและการเก็บรักษามอนอเมอร์ (ดู monomer) ชนิดต่างๆ เช่น อะคริโลไนไทรล์ (acrylonitrile) ไวนิลแอซีเทต (ดู vinyl acetate) อะคริลิกเอสเทอร์ (acrylic ester) และเมทาคริลิกเอสเทอร์ (methacrylic ester) เป็นต้น



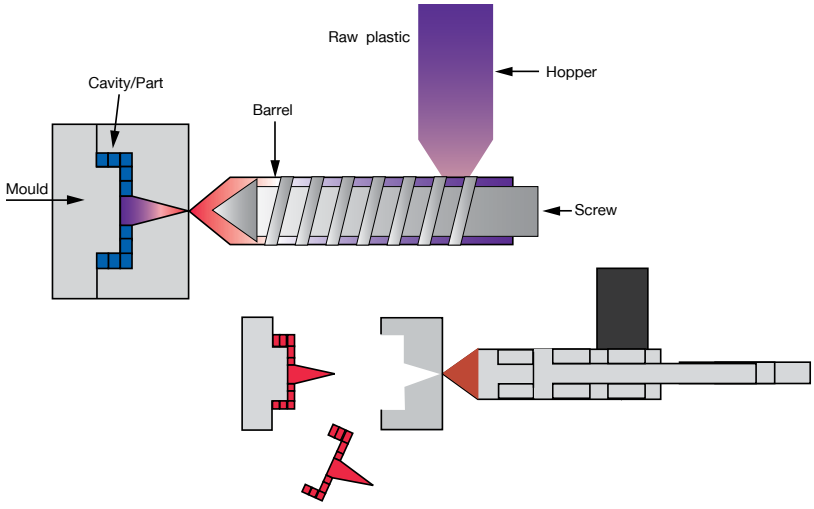
ไฮโดรควิโนน

**injection moulding การขึ้นรูปแบบฉีด**

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยฉีดพลาสติกหลอมเหลวภายใต้แรงดันสูงผ่านหัวฉีดเข้าสู่แบบหล่อที่มีลักษณะเป็นรูปร่างสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ หลังจากที่พลาสติกหลอมเหลวเย็นตัวลงและแข็งตัวในแบบหล่อ จะได้รูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการในที่สุด สามารถใช้ได้กับทั้งเทอร์มอพลาสติกและเทอร์มอเซต (ดู thermoset) เป็นเทคโนโลยีการขึ้นรูปที่ได้เปรียบการขึ้นรูปแบบอื่นๆ เพราะสามารถควบคุมอัตราการฉีดหรือความดันในการขึ้นรูป ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างรวดเร็ว ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์พลาสติกสม่ำเสมอ และสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ เช่น ของเล่น ตัวเครื่องโทรศัพท์มือถือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือนและอุตสาหกรรม ชิ้นส่วนต่างๆ ของรถยนต์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เป็นต้น




เครื่องฉีดพลาสติก




แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก

| | | |
|---|---|---|
| raw plastic | = | เม็ดพลาสติก |
| hopper | = | ที่พักเม็ดพลาสติก |
| barrel | = | กระบอกฉีด |
| screw | = | สกรู |
| mould | = | แบบหล่อ |
| cavity/part | = | ช่องว่างในแบบหล่อ/ชิ้นงาน |





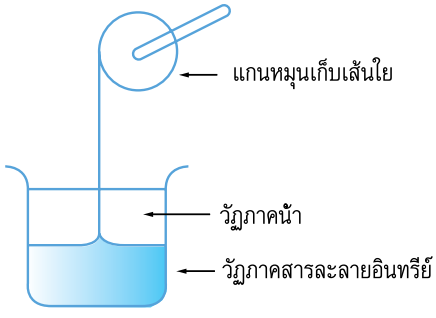


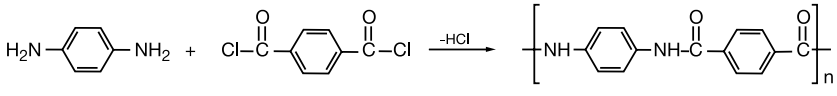


ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปแบบฉีด

**interfacial polymerization การเกิดพอลิเมอร์ระหว่างผิวสัมผัส**

การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบขั้น (step polymerization) หรือแบบควบแน่น (condensation polymerization) จากมอนอเมอร์ (ดู monomer) 2 ชนิด ที่มีหมู่ฟังก์ชันต่างกันและมีความสามารถในการเกิดพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาเกิดที่บริเวณรอยต่อและใกล้เคียงระหว่างผิวสัมผัสของชั้นสารละลายทั้งสองที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน (immiscible solution) โดยมอนอเมอร์ชนิดหนึ่งละลายในน้ำ อีกชนิดหนึ่งละลายในตัวทำละลายสารอินทรีย์ (organic solvent) ตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์เส้นใยของพอลิเอไมด์ 6 (polyamide 6) จากไดแอซิดคลอไรด์ (diacid chloride) เริ่มจากใช้ปากคีบจุ่มลงในวัฏภาคอินทรีย์และลากผ่านวัฏภาคน้ำ จะได้เส้นใยต่อเนื่อง (continuous strand) ของพอลิเอไมด์ 6 พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีนี้เกิดได้อย่างรวดเร็วในภาวะปกติ เช่น ที่อุณหภูมิห้อง



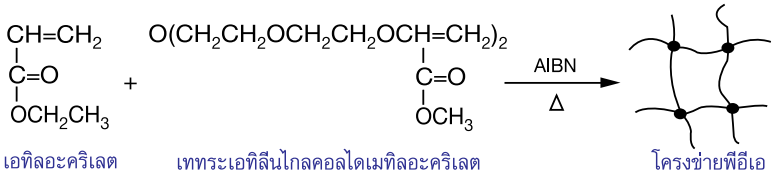




แผนภาพแสดงการเกิดพอลิเมอร์ระหว่างผิวสัมผัส

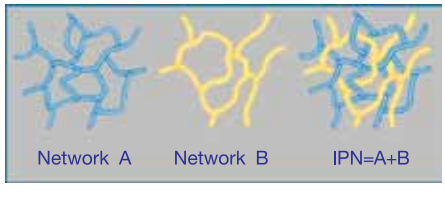
**interpenetrating polymer network (IPN) โครงข่ายพอลิเมอร์แบบสอดไขว้ (ไอพีเอ็น)**

โครงสร้างของพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์สองชนิดขึ้นไป ซึ่งสายโซ่สอดไขว้กันอย่างแนบชิดโดยไม่เกิดพันธะโคเวเลนต์ การสอดไขว้เกิดจากการเติมมอนอเมอร์และสารเชื่อมขวางเข้าไปในพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นตาข่าย เกิดเป็นพอลิเมอร์ชนิดที่สองเชื่อมขวางกับชนิดแรกแบบสอดไขว้ ตัวอย่างการเกิดโครงข่ายพอลิเมอร์แบบสอดไขว้ เช่น พอลิเอทิลอะคริเลต (พีอีเอ) สอดไขว้กับพอลิสไตรีน (ดู polystyrene) โดยมีไดไวนิลเบนซีนเป็นสารเชื่อมขวาง

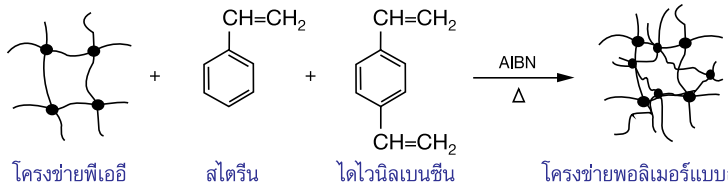
การสังเคราะห์โครงข่ายพอลิเอทิลอะคริเลต



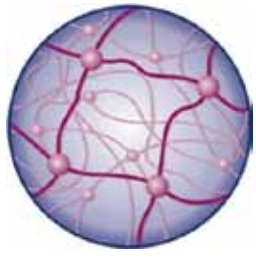

เอทิลอะคริเลต เททระเอทิลีนไกลคอลไดเมทิลอะคริเลต โครงข่ายพีอีเอ




การสังเคราะห์โครงข่ายพอลิเมอร์แบบสอดไขว้ระหว่างพีเออีกับพีเอส

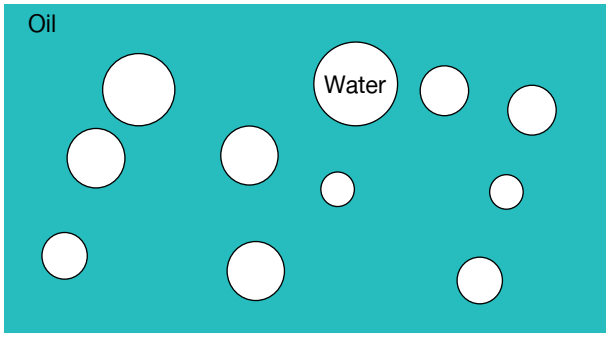



โครงข่ายพีเออี สไตรีน ไดไวนิลเบนซีน โครงข่ายพอลิเมอร์แบบสอดไขว้



**inverse emulsion polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันผกผัน**

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีกลไกปฏิกิริยาเช่นเดียวกับการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (ดู emulsion polymerization) จากมอนอเมอร์ที่ละลายน้ำ (water-soluble monomer) เช่น อะคริลาไมด์ (ดู acrylamide) กรดอะคริลิก (acrylic acid) เป็นต้น ต่างกับการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันซึ่งสังเคราะห์จากมอนอเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เฮกเซน (hexane) สารลดแรงตึงผิว (surfactant) น้ำ สารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) ที่ละลายน้ำได้ หรือตัวทำละลายอินทรีย์และมอนอเมอร์ (monomer) จากนั้นกวนสารละลายของมอนอเมอร์ในน้ำให้กระจายตัวเป็นอิมัลชัน เกิดพอลิเมอร์ที่ผิวของหยดมอนอเมอร์ ซึ่งกระจายตัวในตัวทำละลายอินทรีย์ ข้อดีของกระบวนการนี้คือ ถ้าใช้สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ (nonionic surfactants) จะทำให้ได้ผลผลิตมากกว่าการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน แต่ข้อเสียคือ อนุภาคอิมัลชันมีเสถียรภาพน้อยกว่าการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากวิธีนี้คือ พอลิอะคริลิก พอลิอะคริลาไมด์ (ดู poly(acrylamide)) และพอลิเมอร์ร่วมของพอลิอะคริลาไมด์




ลักษณะของอิมัลชันแบบผกผัน

**inverse suspension polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอยผกผัน**

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีกลไกปฏิกิริยาเช่นเดียวกับการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอย (ดู suspension polymerization) แต่วัฏภาคกลับกันคือ ตัวทำละลายอินทรีย์เป็นวัฏภาคต่อเนื่องและมีหยดมอนอเมอร์ที่ละลายน้ำได้แขวนลอยอยู่ ข้อแตกต่างจากการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอยคือ ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์จากมอนอเมอร์ที่ละลายน้ำ (water-soluble monomers) เช่น อะคริลาไมด์ (ดู acrylamide) และกรดอะคริลิกมอนอเมอร์ ต่างกับการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอยซึ่งสังเคราะห์จากมอนอเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ ตัวอย่างเช่น การเกิดพอลิเมอร์ของพอลิอะคริลาไมด์ (ดู poly(acrylamide)) และพอลิเมอร์ร่วมของพอลิอะคริลาไมด์ เป็นต้น

**ionomer ไอออนอเมอร์**

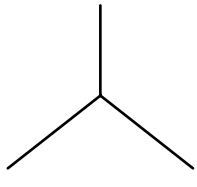
เทอร์มอพลาสติกที่มีหน่วยเอทิลีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและสามารถเกิดพันธะได้ทั้งโคเวเลนต์และไอออนิก มีลักษณะคล้ายพอลิเอทิลีนคือ ความโปร่งแสง (transparency) ความเหนียวหนืด (tenacity) สมบัติในการเด้งกลับได้ (resilience) และความต้านทานน้ำมัน ไขมันและตัวทำละลาย สมบัติเด่นคือ ความยืดหยุ่นดัดงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำ (low-temperature flexibility) สามารถเด้งกลับได้ (resilience) มีความยืดสูง (elongation) มีสมบัติในการทนแรงกระแทกดีเยี่ยม (impact strength) มีความเป็นไดอิเล็กทริกที่ดีครอบคลุมช่วงความถี่กว้าง ความแข็งแรงของพอลิเมอร์หลอมสูง (melt strength) และมีความต้านทานการขัดถู (abrasion resistance) แต่มีข้อเสียบางประการคือ มีความแข็งตึงต่ำ (stiffness) เกิดการคืบได้ง่าย (susceptibility to creep) มีอุณหภูมิการโก่งตัวด้วยความร้อนต่ำ (heat distortion temperature) มีความต้านทานรังสีอัลตราไวโอเลตต่ำ (ultraviolet resistance) นิยมนำมาใช้ทำฉนวน ปลอกหุ้มสายไฟและสายเคเบิล และเปลือกหุ้มลูกกอล์ฟ (golf ball cover) สารเคลือบสำหรับพินโบว์ลิ่ง (bowling pin coating) และผลิตบรรจุภัณฑ์ (packaging application) นอกจากนี้ ยังใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุเชิงประกอบ เช่น ส้นรองเท้าที่ต้องผนึกด้วยความร้อนในอุตสาหกรรมรองเท้า เป็นต้น



พินโบว์ลิ่ง

**iso-butane ไอโซบิวเทน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวประเภทแอลเคน (ดู alkane) ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน 4 อะตอม เป็นไอโซเมอร์ (isomer) หนึ่งของบิวเทนที่มีโครงสร้างเป็นโซ่กิ่ง สูตรโมเลกุล $C_4H_{10}$



ไอโซบิวเทน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ก๊าซไม่มีสี ไม่ละลายน้ำ ไวไฟ สังเคราะห์จากสารตั้งต้นนอร์มัลบิวเทน (n-butane) ที่เป็นไอโซเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นโซ่ตรง ทำปฏิกิริยาการเปลี่ยนไอไซเมอร์ (isomerization) ที่ภาวะอุณหภูมิและความดันปานกลาง โดยมีอะลูมินาที่เติมคลอไรด์ (chlorided alumina catalyst) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$CH_3CH_2CH_2CH_3 \longrightarrow CH_3CH(CH_3)_2$$

นอร์มัลบิวเทน ไอโซบิวเทน

ใช้เป็นสารทำความเย็น (refrigerant) ในอุปกรณ์ทำความเย็นต่างๆ ชื่อเรียกทางการค้าคือ อาร์-600เอ (R-600a) นอกจากนี้ ยังใช้เป็นส่วนประกอบของเชื้อเพลิงปิโตรเลียมเหลวอัดกระป๋อง ที่มีไอโซบิวเทนกับโพรเพน (ดู propane) ในสัดส่วน 80:20



อาร์-600เอ








อุปกรณ์ทำความเย็น

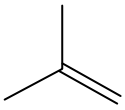







เชื้อเพลิงปิโตรเลียมอัดเหลว

**iso-butene, iso-butylene ไอโซบิวทีน, ไอโซบิวทิลีน**
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ประเภทแอลคีน (ดู alkene) ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน 4 อะตอม มีโครงสร้างเป็นโซ่กิ่ง และมีพันธะคู่ของคาร์บอน 1 พันธะในโครงสร้าง เป็นไอโซเมอร์หนึ่งของบิวทีน (ดู butene) สูตรโมเลกุล $C_4H_8$



ไอโซบิวทีน




น้ำมันหล่อลื่น

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ก๊าซไม่มีสี ไม่ละลายน้ำ ไวไฟ ผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการแตกตัวของน้ำมันดิบ หรือได้จากการสังเคราะห์โดยตรงจากปฏิกิริยาการดึงไฮโดรเจนออก (ดู dehydrogenation) โดยใช้ไอโซบิวเทน (ดู iso-butane) เป็นสารตั้งต้น และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตเมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์หรือเอ็มทีบีอี (ดู methyl tertiary butyl ether) ที่ใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทน (octane booster) ในน้ำมันเบนซิน นอกจากนี้ ยังใช้ผลิตยางสังเคราะห์ชนิดยางบิวทิล (ดู butyl rubber) และเป็นสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น



เอ็มทีบีอี

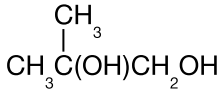



สารเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน



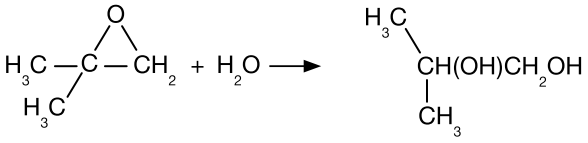

ถุงมือยางทำด้วยยางบิวทิล

**iso-butylene glycol ไอโซบิวทิลีนไกลคอล**
สารประกอบอินทรีย์ประเภทไดออล (ดู diol) หรือไกลคอล (ดู glycol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) 2 หมู่ เป็นหมู่แทนที่อะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 2 ในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $C_4H_{10}O_2$



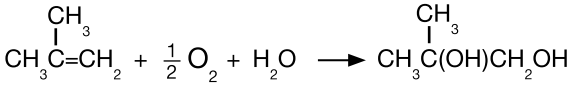
ไอโซบิวทีลีนไกลคอล

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวหนืด ไม่มีสี ละลายน้ำ สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเติมน้ำ (hydration) โดยใช้ไอโซบิวทิลีนออกไซด์ (ดู iso-butylene oxide) เป็นสารตั้งต้น และมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



ไอโซบิวทิลีนออกไซด์ น้ำ ไอโซบิวทิลีนไกลคอล

นอกจากนี้ยังสังเคราะห์จากไอโซบิวทิลีนออกไซด์ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรง (direct oxidation) กับออกซิเจนและน้ำ โดยมีไทเทเนียม (III) คลอไรด์ (titanium (III) chloride) และคอปเปอร์ (II) คลอไรด์ (copper (II) chloride) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



ไอโซบิวทิลีนออกไซด์ ออกซิเจน น้ำ ไอโซบิวทิลีนไกลคอล

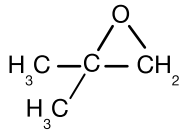
เป็นสารตั้งต้นในการผลิตกรดแอลฟาไฮดรอกซีไอโซบิวทิริก ($\alpha$-hydroxyisobutyric acid) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตกรดเมทาคริลิก (ดู methacrylic acid) ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์พีเอ็มเอ็มเอ (PMMA) ซึ่งมีลักษณะแข็งและใสคล้ายพอลิคาร์บอเนต (ดู polycarbonate)



ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิเมอร์พีเอ็มเอ็มเอ

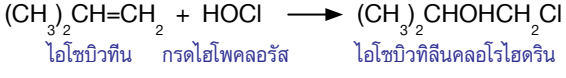
**iso-butylene oxide ไอโซบิวทิลีนออกไซด์**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทอิพ็อกไซด์ (ดู epoxide) ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนอิพ็อกไซด์ เชื่อมกับหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) 2 หมู่ บนอะตอมคาร์บอนตำแหน่งเดียวกันในวงแหวน สูตรโมเลกุล $C_4H_8O$

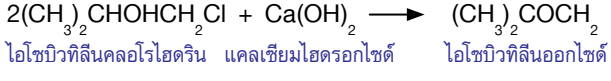


ไอโซบิวทีลีนออกไซด์

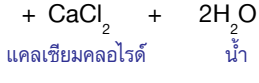
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลว ไวไฟ สังเคราะห์จากสารตั้งต้นไอโซบิวทีน (ดู iso-butene) ทำปฏิกิริยาคลอโรไฮดริเนชัน (chlorohydrination) กับกรดไฮโพคลอรัส (hypochlorous acid)



ไอโซบิวทีน กรดไฮโพคลอรัส ไอโซบิวทิลีนคลอโรไฮดริน

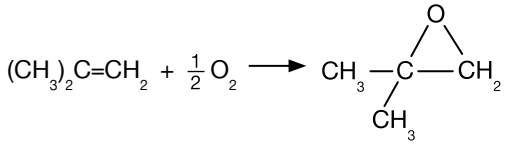


ไอโซบิวทิลีนคลอโรไฮดริน แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ไอโซบิวทิลีนออกไซด์



แคลเซียมคลอไรด์ น้ำ

นอกจากนี้ยังสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรง (direct oxidation) กับออกซิเจน โดยมีแทลเลียมแอซีเทต (thallium acetate) ในสารละลายกรดแอซีติก (ดู acetic acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

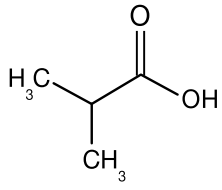


ไอโซบิวทีน ออกซิเจน ไอโซบิวทีลีนออกไซด์

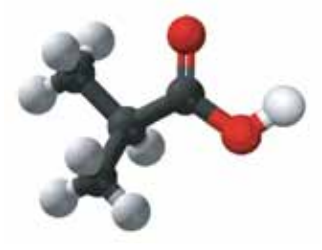
เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตไอโซบิวทิลีนไกลคอล (ดู isobutylene glycol)

**iso-butyric acid กรดไอโซบิวทิริก**

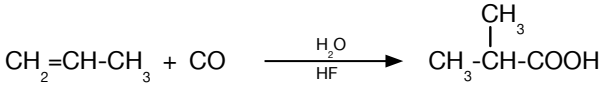
สารประกอบอินทรีย์ประเภทกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) ที่มีหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group, -COOH) เชื่อมต่อกับอะตอมคาร์บอน 3 อะตอม ในโครงสร้างหลัก เป็นไอโซเมอร์ (isomer) หนึ่งเช่นเดียวกับกรดนอร์มัลบิวทิริก (n-butyric acid) สูตรโมเลกุล $C_4H_8O_2$




กรดไอโซบิวทิริก

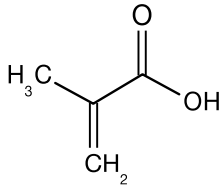


ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลว ไม่มีสี มีกลิ่นเหม็น ละลายน้ำ สังเคราะห์จากสารตั้งต้นไอโซบิวทานอล (isobutanol) ทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ด้วยโพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate) และกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) หรือใช้โพรพิลีน (ดู propylene) ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) ในสภาวะที่มีกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) และน้ำ

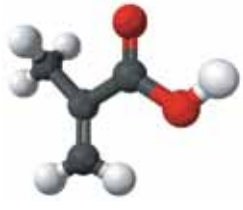



โพรพิลีน คาร์บอนมอนอกไซด์ กรดไอโซบิวทิริก

เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดเมทาคริลิก (ดู methacrylic acid) โดยการดึงไฮโดรเจน (ดู dehydrogenation) ออกจากโมเลกุล




กรดเมทาคริลิก



**isocyanate ไอโซไซยาเนต**

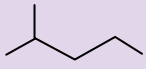
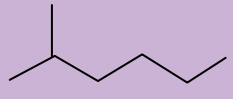
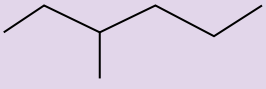
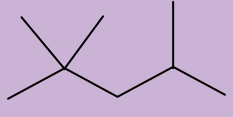
สารประกอบที่มีหมู่ไอโซไซยาเนต (–N=C=O) ในโครงสร้าง โครงสร้างที่มีหมู่ไอโซไซยาเนตหมู่เดียวเรียกว่า มอนอไอโซไซยาเนต จำกัดการใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก ถ้ามีหมู่ไอโซไซยาเนต 2 หมู่เรียกว่า ไดไอโซไซยาเนต หรืออาจมีหลายๆ หมู่เรียกว่า พอลิไอโซไซยาเนต อย่างไรก็ตาม ในกรณีของไทรเมอร์ที่บรรจุไอโซไซยาเนต 3 หมู่อยู่ในวงแหวนหกเหลี่ยม เรียกว่า ไอโซไซยานูเรต (ดู polyisocyanurate, diisocyanate)

**isomerization การเปลี่ยนไอโซเมอร์, ไอโซเมอไรเซชัน**

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (chemical conversion) โดยปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นโซ่ตรงให้เป็นโซ่กิ่ง เช่น นอร์มัลบิวเทน (ดู n-butane) ไปเป็นไอโซบิวทีน (ดู iso-butene) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันปานกลางในโรงกลั่นน้ำมัน หน่วยไอโซเมอไรเซชันทำหน้าที่เปลี่ยนไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงให้เป็นโซ่กิ่ง เพื่อเพิ่มเลขออกเทนให้กับน้ำมันเบนซิน

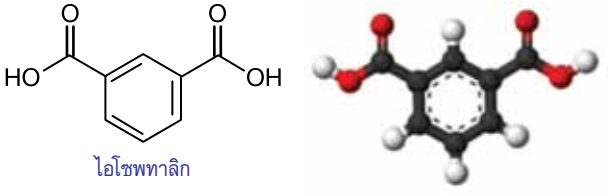
**iso-paraffin ไอโซพาราฟิน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอลเคนโซ่กิ่ง (branched alkane) ที่มีอะตอมคาร์บอน ตั้งแต่ 4 อะตอมขึ้นไป ตัวอย่างเช่น

| ชื่อสาร | โครงสร้าง | การใช้ประโยชน์ |
|---|---|---|
| ไอโซบิวเทน (iso-butane) หรือ 2-เมทิลโพรเพน (2-methyl propane) |  | ใช้เป็นสารทำความเย็น (refrigerant) หรือเชื้อเพลิง |
| ไอโซเฮกเซน (isohexane) หรือ 2-เมทิลเพนเทน (2-methyl pentane) |  | ใช้เป็นตัวทำละลาย |
| ไอโซเฮพเทน (isoheptane) หรือ 2-เมทิลเฮกเซน (2-methyl hexane) |  | ใช้เป็นตัวทำละลาย |
| 3-เมทิลเฮกเซน (3-methyl hexane) |  | ใช้เป็นตัวทำละลาย |
| ไอโซออกเทน (isooctane) หรือ 2,2,4-ไทรเมทิลเพนเทน (2,2,4-trimethyl pentane) |  | สารป้องกันการน็อก (anti-knock) ของเครื่องยนต์ และใช้เป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบเลขออกเทนของน้ำมันเบนซิน โดยมีค่าเท่ากับ 100 |

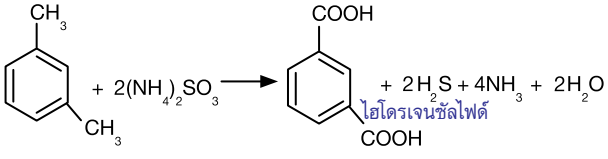
**isophthalic acid กรดไอโซพทาลิก**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทกรดคาร์บอกซิลิกแอโรแมติก (aromatic carboxylic acid) ที่มีหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) 2 หมู่ เป็นหมู่แทนที่บนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) ที่ตำแหน่งเมทา (meta position) ของโครงสร้าง เป็นไอโซเมอร์หนึ่งของกรดพทาลิก (ดู phthalic acid) สูตรโมเลกุล $C_8H_6O_4$




ไอโซพทาลิก

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของแข็งสีขาว ไม่ละลายน้ำ ระเหิดกลายเป็นก๊าซ น้ำหนักโมเลกุล 166.14 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 1.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และจุดหลอมเหลว 341-343 องศาเซลเซียส สังเคราะห์ได้จากสารตั้งต้นเมทาไซลีน (m-xylene) ทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) กับแอมโมเนียมซัลไฟต์ (ammonium sulfite)




เมทาไซลีน แอมโมเนียมซัลไฟต์ ไอโซพทาลิก ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย น้ำ

นอกจากนี้ ยังสังเคราะห์ได้จากการออกซิไดซ์เมทาไซลีนกับออกซิเจน ที่สภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ความดัน 12 บาร์ โดยใช้เกลือของโคบอลท์ (cobalt salt) หรือเกลือของแมงกานีส (manganese salt) ที่มีโบรมีนเป็นสารเสริม (promoter) ในสารละลายกรดแอซีติก (ดู acetic acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้สังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester) และแอลคิดเรซิน (alkyd resin)



กรดไอโซพทาลิก



แอลคิดเรซิน

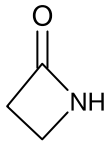
**kinetic chain length ความยาวสายโซ่เชิงจลน์**

ค่าเฉลี่ยของมอนอเมอร์ (ดู monomer) ที่สามารถเกิดเป็นพอลิเมอร์ต่ออนุมูลอิสระ 1 อนุมูลของตัวเร่งปฏิกิริยา ก่อนที่อนุมูลอิสระจะถูกทำลายโดยปฏิกิริยาการสิ้นสุด (termination reaction) ใช้สัญลักษณ์ $V$ แทนความยาวโซ่เชิงจลน์ ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของอัตราการเกิดพอลิเมอร์ ($R_p$) ต่ออัตราการเริ่มปฏิกิริยา ($R_i$) หรืออัตราการสิ้นสุดปฏิกิริยา ($R_t$) ดังสมการ

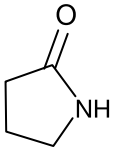
$$V = \frac{R_p}{R_i} = \frac{R_p}{R_t}$$

**lactam แลกแทม**

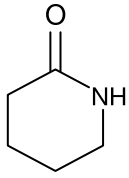
สารประกอบวงแหวนเอไมด์ (cyclic amide) ที่สังเคราะห์จากการดึงโมเลกุลของน้ำออกจากกรดแอมิโน 1 โมเลกุล ตัวอย่างเช่น เบตาแลกแทม ($\beta$-lactam) โครงสร้างเป็นวงแหวนสี่เหลี่ยม แกมมาแลกแทม ($\gamma$-lactam) วงแหวนห้าเหลี่ยม และเดลตาแลกแทม ($\delta$-lactam) วงแหวนหกเหลี่ยม แต่แลกแทมที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์คือ เอปไซลอนคาโพรแลกแทม ($\varepsilon$-caprolactam) โครงสร้างวงแหวนเจ็ดเหลี่ยม (ดู caprolactam) ที่ใช้สังเคราะห์พอลิเอไมด์ 6 หรือไนลอน 6 (ดู polyamide 6, nylon 6)



เบตาแลกแทม



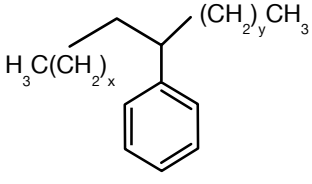
แกมมาแลกแทม



เดลตาแลกแทม

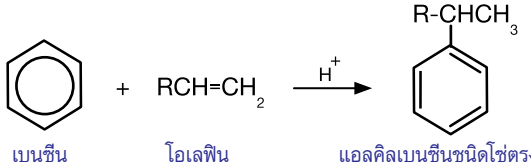
**linear alkyl benzene (LAB) แอลคิลเบนซีนชนิดโซ่ตรง (แอลเอบี)**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ที่มีหมู่แอลคิล (alkyl group) เช่น สารมอนอโอเลฟิน (monoolefin) ที่มีอะตอมคาร์บอน 12-14 อะตอม เป็นหมู่แทนที่บนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) สูตรโมเลกุลทั่วไป คือ $C_6H_5CHR^1R^2$ เมื่อ $R^1 = C_nH_{2n+1}$ และ $R^2 = C_mH_{2m+1}$ โดยที่ m และ n เป็นเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0 ($m \geq 0$) และมากกว่าหรือเท่ากับ 1 ($n \geq 1$) ตามลำดับ



แอลคิลเบนซีนชนิดโซ่ตรง

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลวคล้ายน้ำมัน ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไวไฟ สมบัติขึ้นกับชนิดของหมู่แอลคิลเป็นหลัก สังเคราะห์ได้หลายวิธี แต่วิธีที่ได้รับความนิยมคือ กระบวนการเอชเอฟ/นอร์มัลพาราฟิน (HF/n-paraffin) โดยใช้สารตั้งต้นเบนซีนทำปฏิกิริยากับโอเลฟิน (ดู olefin) ที่เกิดจากการดึงไฮโดรเจน (ดู dehydrogenation) ออกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวประเภทพาราฟิน (ดู paraffin) โดยมีกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิประมาณ 40-70 องศาเซลเซียส



เบนซีน โอเลฟิน แอลคิลเบนซีนชนิดโซ่ตรง

เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตสารซักฟอก (detergent) ในครัวเรือนที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ


แอลคิลเบนซีนชนิดโซ่ตรง

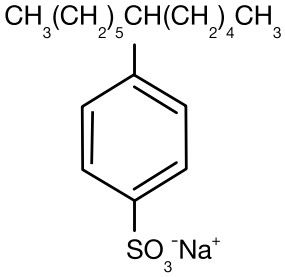





ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

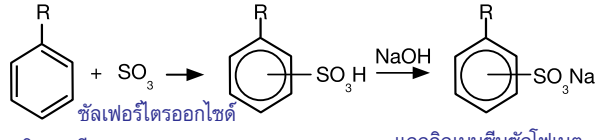
**linear alkyl benzene sulfonate (LAS) แอลคิลเบนซีนซัลโฟเนตชนิดโซ่ตรง (แอลเอเอส)**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ที่มีหมู่ซัลโฟเนต (sulfonate group, $-SO_3^-$) และสายโซ่คาร์บอนที่มีช่วงอะตอมคาร์บอน 10-14 อะตอม เป็นหมู่แทนที่บนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) ในโครงสร้าง



แอลคิลเบนซีนซัลโฟเนตชนิดโซ่ตรง

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลวไม่มีสี ไม่มีกลิ่น โดยสมบัติขึ้นกับชนิดของหมู่แอลคิลเป็นหลัก ผลิตได้จากสารตั้งต้นแอลคิลเบนซีนชนิดโซ่ตรง (linear alkyl benzene) ทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไตร-ออกไซด์อิสระ (sulfur trioxide) จากกรดซัลฟิวริกฟูมมิง (fuming sulfuric acid) จากนั้นจึงทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)




ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์

แอลคิลเบนซีนชนิดโซ่ตรง

แอลคิลเบนซีนซัลโฟเนตชนิดโซ่ตรง

นิยมใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวในสารซักฟอก และผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด



โซเดียมแอลคิลเบนซีนซัลโฟเนตชนิดโซ่ตรง



ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด



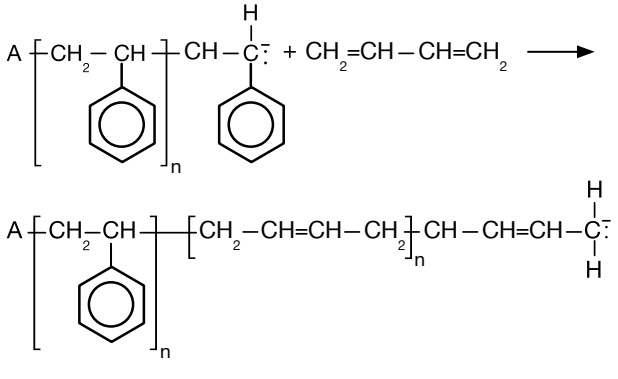

สารซักฟอก

**linear low density polyethylene (LLDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (แอลแอลดีพีอี)**

พอลิเอทิลีน (ดู polyethylene) ที่มีความหนาแน่นเท่ากับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (ดู low density polyethylene (LDPE)) แต่มีโซ่กิ่งสั้นกว่า เพื่อปรับปรุงสมบัติให้ความต้านแรงดึงสูง (tensile strength) ราคาถูกกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากใช้ความดันและอุณหภูมิในปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ต่ำกว่า การนำไปใช้งานเช่นเดียวกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

**living polymerization การเกิดพอลิเมอร์ที่ยังโตได้**

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่ยังโตได้ (living polymer) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สายโซ่ยังมีตำแหน่งกัมมันต์ที่ว่องไวอยู่ที่ปลายโซ่และยังทำปฏิกิริยาต่อไปได้หลังจากที่มอนอเมอร์ในระบบทำปฏิกิริยาหมดไปแล้ว สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบแอนไอออน (ดู anionic polymerization) และแบบซีเกลอร์-นัตตา (ดู Ziegler-Natta polymerization) และอาจเกิดได้เป็นบางครั้งจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบแคตไอออน ประโยชน์ของการเกิดพอลิเมอร์ที่ยังโตได้คือ การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่มและการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมให้มีสมบัติตามต้องการ เพราะที่ปลายโซ่ยังพร้อมที่จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ต่อไปได้ ถ้าเติมมอนอเมอร์ที่ต้องการลงไปในระบบ เช่น การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของสไตรีน-บิวทาไดอีน (styrene-butadiene copolymer) และพอลิเมอร์ร่วมของอะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน เป็นต้น




การเกิดพอลิเมอร์ที่ยังโตได้ของพอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่มสไตรีน-บิวทาไดอีน

**low density polyethylene (LDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (แอลดีพีอี)**
พอลิเอทิลีน (ดู polyethylene) ที่มีความหนาแน่นระหว่าง 0.915-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระด้วยหมู่แอลคิล (alkyl group) ที่เป็นสายโซ่กิ่ง ซึ่งมีความยาวของอะตอมคาร์บอน 2-8 อะตอม แต่โดยปกติมี 4 อะตอม และมีโซ่กิ่งจำนวนมาก มีสมบัติทนแรงกระแทกสูง (impact strength) มีความเหนียว (toughness) มีความนุ่มสามารถดึงยืดได้ง่าย (ductile) นิยมนำไปใช้ผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ ฟิล์มหดตัว และฟิล์มแบบหลายชั้น





ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

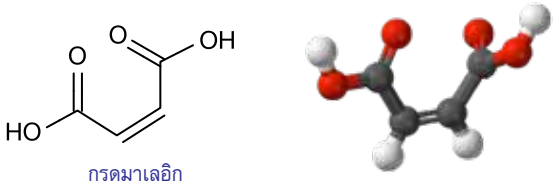
**Lycra® ไลครา**
ชื่อทางการค้าของเส้นใยวัสดุยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยพอลิยูริเทน (ดู polyurethane) กับพอลิอีเทอร์ (ดู polyether) ผลิตโดยบริษัท ดูปองท์ สังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างพอลิเททระเมทิลีนอีเทอร์ไกลคอล (พอลิเททระไฮโดรฟิวแรน หรือพอลิ 1,4-ออกซีบิวทิลีน-ไกลคอลพอลิออล) กับทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนตมากเกินพอ ได้พอลิเมอร์ที่มีปลายโซ่เป็นไอโซไซยาเนต ซึ่งทำปฏิกิริยาต่อกับไดแอมีน เช่น ไฮดราซีนหรือเอทิลีนไดแอมีนในตัวทำละลาย แล้วฉีดเป็นเส้นใย



ผ้าผสมเส้นใยไลครา

**maleic acid กรดมาเลอิก**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทกรดไดคาร์บอกซิลิก (dicarboxylic acid) โครงสร้างประกอบด้วยพันธะคู่ 1 พันธะ และหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group, -COOH) 2 หมู่ ที่ตำแหน่งปลายทั้งสองของสายโซ่ สูตรโมเลกุล $C_4H_4O_4$




กรดมาเลอิก

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของแข็งสีขาว มีกลิ่นออกเปรี้ยว ละลายน้ำ สลายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือด สังเคราะห์จากการแยกสลายด้วยน้ำ (ดู hydrolysis) โดยมีมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (ดู maleic anhydride) เป็นสารตั้งต้น ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารเคมีต่างๆ ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น กรดไกลออกซิลิก (glyoxylic acid) ซึ่งนำมาทำปฏิกิริยากับฟีนอล ได้ผลิตภัณฑ์คือ 4-ไฮดรอกซีแมนเดลิกแอซิด (4-hydroxymandelic acid) เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตยาแอมอกซิลิน (amoxicillin) สำหรับฆ่าเชื้อแบคทีเรีย กรดซักซินิก (succinic acid) ใช้เป็นสารมัธยันตร์สำหรับผลิตสี น้ำหอม แลกเกอร์ (lacquer) เป็นต้น

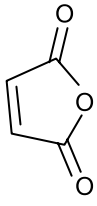


ผงกรดมาเลอิก



น้ำหอม

**maleic anhydride (MA) มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (เอ็มเอ)**
สารประกอบเฮเทอโรไซคลิกประเภทไซคลิกแอนไฮไดรด์ (cyclic anhydride) โครงสร้างเป็นวงแหวนห้าเหลี่ยมไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ กับหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group,-CO-) 2 หมู่ เชื่อมต่อกับอะตอมออกซิเจนในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $C_4H_2O_3$



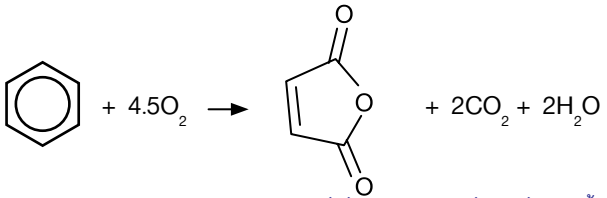
มาเลอิกแอนไฮไดรด์

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของแข็งสีขาว กลิ่นเหม็นฉุน สังเคราะห์ได้จากสารตั้งต้นนอร์มัลบิวเทน (ดู n-butane) ทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) กับออกซิเจน ที่สภาวะอุณหภูมิ 490 องศาเซลเซียส โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาคือ ซีเรียมคลอไรด์ (cerium chloride) หรือโคบอลต์-โมลิบดินัมออกไซด์ (cobalt-molybdenum oxide)

$$2CH_3CH_2CH_2CH_3 + 7O_2 \longrightarrow 2C_2H_2(CO)_2O + 8H_2O$$

นอร์มัลบิวเทน ออกซิเจน มาเลอิกแอนไฮไดรด์ น้ำ

นอกจากนี้ ยังสามารถสังเคราะห์จากสารตั้งต้นเบนซีน (ดู benzene) ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจน ที่สภาวะอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดยมีวานาเดียมเพนทาออกไซด์ (vanadium pentaoxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา




เบนซีน ออกซิเจน มาเลอิกแอนไฮไดรด์ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ

ใช้สังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester) เป็นหลัก นอกจากนี้ ยังใช้สังเคราะห์สารเคมีต่างๆ เช่น กรดฟูมาริก (fumaric acid) แอลคิดเรซิน (alkyd resin) และสารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ (pesticide) เป็นต้น



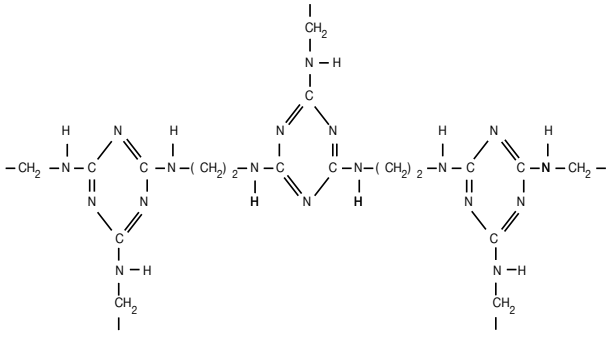
มาเลอิกแอนไฮไดรด์



การพ่นยากำจัดศัตรูพืช

**medium density polyethylene (MLDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (เอ็มดีพีอี)**
พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นระหว่าง 0.941-0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สังเคราะห์ได้เช่นเดียวกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (ดู low density polyethylene (LDPE)) แต่ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า การนำไปใช้งานเช่นเดียวกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

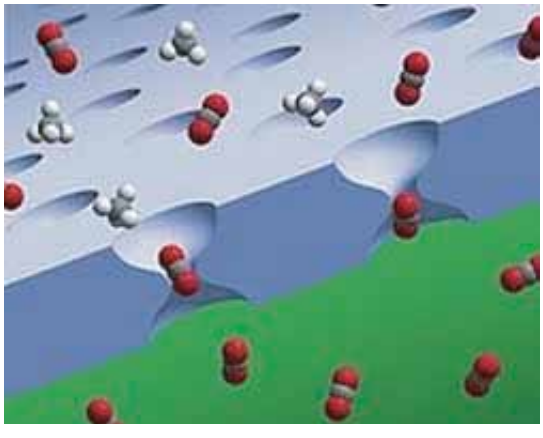
**melamine formaldehyde resin (MF) เรซินเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ (เอ็มเอฟ)**
พอลิเมอร์ประเภทเทอร์มอเซต (ดู thermosetting polymer) ที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่างเมลามีนกับฟอร์มัลดีไฮด์ (ดู formaldehyde)



เรซินเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์

**membranes เยื่อแผ่น, เมมเบรน**

ชั้นบางๆ ของวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นตัวกั้นคัดเลือก (selective barrier) ระหว่าง 2 วัฏภาค เพื่อกั้นอนุภาค โมเลกุล หรือสารที่ต้องการโดยอาศัยแรงขับ (driving force) ได้แก่ ความดัน ความเข้มข้น กระแสไฟฟ้า สมบัติของเยื่อแผ่นแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เช่น อาจมีความหนาต่างกัน มีโครงสร้างต่างกัน ได้แก่ เอกพันธ์ (homogeneous) หรือแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous) นอกจากนี้ ยังแบ่งประเภทโดยใช้เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน (pore diameter) คือ ไมโครพอรัส (microporous) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร มิโซพอรัส (mesoporous) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 2-50 นาโนเมตร และแมโครพอรัส (macroporous) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมากกว่า 50 นาโนเมตร ตัวอย่างการใช้เยื่อแผ่นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น กระบวนการแยกโอเลฟิน (ดู olefin) และพาราฟิน (ดู paraffin) ออกจากกัน โดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (silver nitrate) เป็นสารดูดซับ สารโอเลฟินจะถูกดึงออกจากสารดูดซับโดยผ่านของผสมเข้าไปในเส้นใยกลวงเยื่อแผ่นไมโครพอรัส (hollow microporous membrane fiber) โอเลฟินจะซึมผ่านออกไปด้านนอกของเยื่อแผ่น ส่วนสาร ละลายที่เหลือจะไหลอยู่ภายในเส้นใยกลวงเยื่อแผ่น



การทำหน้าที่เป็นตัวกั้นโมเลกุลของเยื่อแผ่น

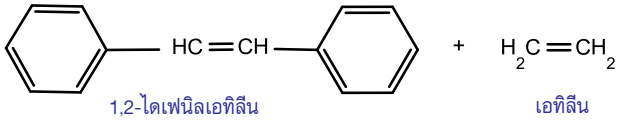




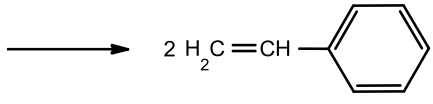
เยื่อแผ่นขนาดต่างๆ

**metathesis เมทาทีซิส**

ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนพันธะระหว่างโมเลกุลสารตั้งต้น 2 โมเลกุล ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความคล้ายคลึงกับโมเลกุลสารตั้งต้น ปฏิกิริยาเมทาทีซิสที่สำคัญคือ โอเลฟินเมทาทีซิส (olefin metathesis) เป็นปฏิกิริยาการแตกตัวและรวมตัวของสารโอเลฟิน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โลหะนิกเกิล (nickel) หรือทังสเตน (tungsten) ตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์สไตรีน (ดู styrene) จากสารตั้งต้นเอทิลีน (ดู ethylene) และ 1,2-ไดเฟนิลเอทิลีน (1,2-diphenylethylene) ณ อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส โดยใช้ทังสเตนเฮกซะคลอไรด์ (tungsten hexachloride) และเอทิลอะลูมิเนียมไดคลอไรด์ (ethyl aluminium dichloride) ในเอทานอล (ethanol) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



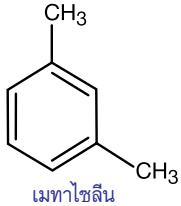

1,2-ไดเฟนิลเอทิลีน เอทิลีน




สไตรีน

**meta-xylene, m-xylene เมทาไซลีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) เป็นไอโซเมอร์ (isomer) หนึ่งของไซลีน (ดู xylene) จากทั้งหมด 3 ไอโซเมอร์คือ ออร์โทไซลีน (o-xylene) เมทาไซลีน (m-xylene) และพาราไซลีน (p-xylene) โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) ที่มีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) 2 หมู่ เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนในตำแหน่งเมทา (meta position) สูตรโมเลกุล $C_8H_{10}$



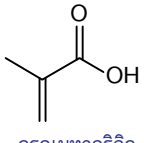

เมทาไซลีน

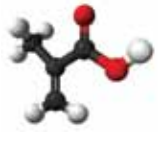
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลว ไม่มีสี กลิ่นเหม็น ไม่ละลายน้ำ ไวไฟ องค์ประกอบหนึ่งของไซลีนผสม (mixed xylene) ที่ผลิตจากการรีฟอร์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reforming) ของสารตั้งต้นแนฟทา (ดู naphtha) โดยการแยกขั้นสุดท้ายได้เมทาไซลีนและพารา-ไซลีนผสมกันอยู่ สามารถนำมาแยกออกจากกันได้โดยการดูดซับด้วยตัวกรองระดับโมเลกุล (molecular sieve) ทำหน้าที่เป็น

สารดูดซับ (adsorbent) ทำให้เมทาไซลีนมีความบริสุทธิ์มากขึ้น หรือโดยการตกผลึก (ดู crystallization process) เนื่องจากพาราไซลีนมีจุดเยือกแข็งสูงกว่าเมทาไซลีน จึงสามารถตกผลึกแยกออกจากกันได้ เมทาไซลีนใช้สังเคราะห์กรดไอโซพทาลิก (isophthalic acid) ใช้เป็นพอลิเมอร์ร่วม (ดู copolymer) สำหรับเปลี่ยนสมบัติของพอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลต (ดู polyethylene terephthalate) หรือใช้การเปลี่ยนไอโซเมอร์ (isomerization) ให้เป็นพาราไซลีน ซึ่งมีมูลค่าสูงกว่า

**methacrylic acid (MAA) กรดเมทาคริลิก (เอ็มเอเอ)**

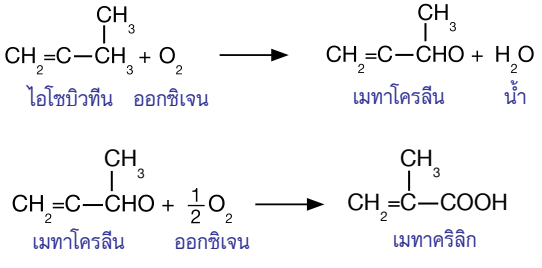
สารประกอบอินทรีย์ประเภทไวนิล (vinyl) ที่มีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) และหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group, -COOH) อย่างละ 1 หมู่ บนอะตอมคาร์บอนเดียวกัน ในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $C_4H_6O_2$



กรดเมทาคริลิก

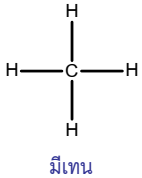
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลว ไม่มีสี กลิ่นเหม็นฉุน ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี สังเคราะห์โดยใช้ไอโซบิวทีน (ดู iso-butene) เป็นสารตั้งต้น ผ่านปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน

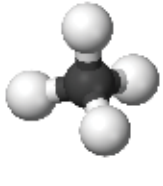



กรดเมทาคริลิกใช้ผลิตเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ (ดู methyl methacrylate) โดยทำปฏิกิริยากับเมทานอล (ดู methanol) สำหรับผลิตพอลิเมทิลเมทาคริเลต

**methane มีเทน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวประเภทแอลเคน (ดู alkane) ที่มีขนาดเล็กที่สุดในกลุ่ม ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนเพียง 1 อะตอม ในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $CH_4$



มีเทน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เบากว่าอากาศ ไวไฟ น้ำหนักโมเลกุล 16.04 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 0.717 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จุดหลอมเหลว -182.5 องศาเซลเซียส และจุดเดือด -161.6 องศาเซลเซียส โครงสร้างมีความเสถียรมาก เนื่องจากมีการจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลเป็นทรงสี่หน้า (tetrahedral) และไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone pair electron) เหลืออยู่ภายในโครงสร้าง เป็นองค์ประกอบหลักที่พบในก๊าซธรรมชาติและเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ ภาคอุตสาหกรรม โดยใช้ความดันอัดลงในถังเก็บเรียกว่า ก๊าซธรรมชาติอัดหรือซีเอ็นจี (compressed natural gas (CNG)) สำหรับในประเทศไทยรู้จักในชื่อ เอ็นจีวีหรือก๊าซธรรมชาติสำหรับรถยนต์ (natural gas for vehicles (NGV)) นอกจากนี้ยังเป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารเคมีต่างๆ ในอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี ได้แก่ ก๊าซสังเคราะห์ (synthesis gas) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ที่เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตเมทานอล (methanol) กรดแอซีติก (ดู acetic acid) และแอซีติกแอนไฮไดรด์ (ดู acetic anhydride) เป็นต้น

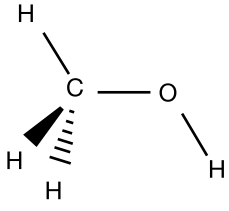






รถยนต์ที่ใช้มีเทนเป็นเชื้อเพลิง

**methanol, methyl alcohol เมทานอล, เมทิลแอลกอฮอล์** สารประกอบอินทรีย์ประเภทแอลกอฮอล์ (alcohol) ที่มีขนาดเล็กที่สุดในกลุ่ม มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) เป็นหมู่แทนที่ไฮโดรเจน ที่เชื่อมต่อกับอะตอมคาร์บอนในมีเทน (ดู methane) สูตรโมเลกุล $CH_3OH$



เมทิลแอลกอฮอล์

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ เมทิลแอลกอฮอล์เป็นของเหลวใส ระเหยได้ง่าย มีกลิ่นฉุน สังเคราะห์จากก๊าซสังเคราะห์ (synthesis gas) ที่ประกอบด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ในสัดส่วน 1:2 โมล ที่ภาวะอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ความดัน 50-100 บาร์ โดยมีโลหะผสมทองแดง-ซิงก์ออกไซด์ (copper-zinc oxide) และอะลูมินา (alumina) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$CO + 2H_2 \longrightarrow CH_3OH$$

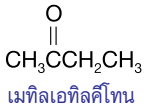
คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน เมทานอล

ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) และเป็นวัตถุดิบสำหรับสังเคราะห์สารเคมีต่างๆ ประมาณมากกว่าร้อยละ 50 ของเมทานอลนำไปผลิตฟอร์มัลดีไฮด์ (ดู formaldehyde) ส่วนที่เหลือนำไปผลิตเมทิลเอสเทอร์ต่างๆ (methyl ester) เช่น เมทิลอะคริเลต (methyl acrylate) เมทิลเมทาคริเลต (ดู methyl methacrylate) เมทิลแอซีเทต (methyl acetate) และเมทิลเทเรฟแทเลต (methyl terephthalate) เป็นต้น นอกจากนี้ ยังใช้ผลิตเมทิลเทอร์เชียรี-บิวทิลอีเทอร์ (ดู methyl tertiary butyl ether) ที่ใช้เป็นสารเพิ่มเลขออกเทน (octane booster) ในน้ำมันเบนซิน ยังใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล (biodiesel) ด้วย

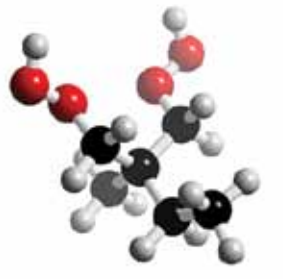


เชื้อเพลิงสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง

**methyl ethyl ketone (MEK) เมทิลเอทิลคีโทน (เอ็มอีเค)** สารประกอบอินทรีย์ประเภทคีโทน (ketone) โครงสร้างประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน 4 อะตอม สูตรโมเลกุล $C_4H_8O$



เมทิลเอทิลคีโทน



ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนคล้ายใบสาระแหน่ สังเคราะห์โดยใช้นอร์มัลบิวทีน (ดู n-butene) เป็นสารตั้งต้น ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ที่ภาวะอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความดัน 3 บาร์ โดยใช้แพลเลเดียม (II) คลอไรด์ (palladium (II) chloride) หรือคอปเปอร์ (II) คลอไรด์ (copper (II) chloride) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$CH_2{=}CHCH_2CH_3 + \tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}CH_2CH_3$$

นอร์มัลบิวทีน ออกซิเจน เมทิลเอทิลคีโทน

เป็นตัวทำละลายสำหรับวัสดุเคลือบผิวประเภทไวนิล (vinyl) และอะคริลิก (acrylic) รวมถึงกาว ใช้ผลิตสารเคมีอื่นๆ เช่น เมทิลเอทิลคีโทนเพอร์ออกไซด์ (methyl ethyl ketone peroxide) ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เมทิล-เพนทีนอล (methyl pentynol) นอกจากนี้ ยังใช้เป็นตัวทำละลายของพอลิเอไมด์ (ดู polyamide) และสารยับยั้งการกัดกร่อน (corrosion inhibitor)



เมทิลเอทิลคีโทน



แผ่นอะคริลิก

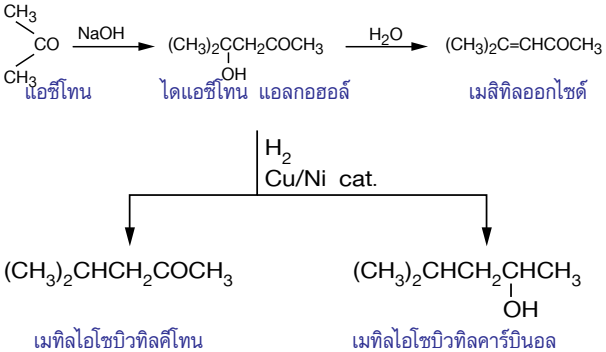
**methyl isobutyl ketone (MIBK) เมทิลไอโซบิวทิลคีโทน (เอ็มไอบีเค)**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทคีโทน (ketone) โครงสร้างประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน 6 อะตอม สูตรโมเลกุล $C_6H_{12}O$



เมทิลไอโซบิวทิลคีโทน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายใบสาระแหน่ ไวไฟ สังเคราะห์โดยใช้แอซีโทน (ดู acetone) เป็นสารตั้งต้น ทำปฏิกิริยาแอลดอลคอนเดนเซชัน (ดู aldol condensation) และมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา




แอซีโทน ไดแอซีโทนแอลกอฮอล์ เมสิทิลออกไซด์

เมทิลไอโซบิวทิลคีโทน เมทิลไอโซบิวทิลคาร์บินอล

ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับไนโตรเซลลูโลส (nitrocellulose) แลกเกอร์ (lacquer) รวมถึงพอลิเมอร์และเรซิน (ดู resin)



เมทิลไอโซบิวทิลคีโทน

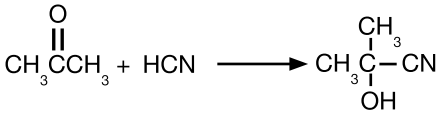
**methyl methacrylate (MMA) เมทิลเมทาคริเลต (เอ็มเอ็มเอ)**

สารประกอบอินทรีย์ ที่มีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) และหมู่เมทิลแอซีเทต (methylacetate, $-COOCH_3$) เป็นหมู่แทนที่บนอะตอมคาร์บอนเดียวกัน สูตรโมเลกุล $C_5H_8O_2$

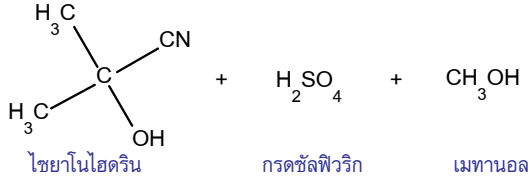


เมทิลเมทาคริเลต

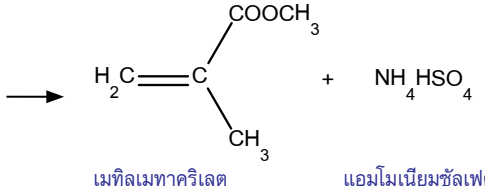
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลว ไม่มีสี สังเคราะห์จากสารตั้งต้นแอซีโทนทำปฏิกิริยาไฮโดรไซยาเนชัน (hydrocyanation) กับไฮโดรเจนไซยาไนด์ ได้สารไซยาโนไฮดริน (cyanohydrin) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) และเมทานอล (ดู methanol) ได้ผลผลิตหลักคือ เมทิลเมทาคริเลต โดยมีแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate) เป็นผลผลิตพลอยได้




แอซีโทน ไฮโดรเจนไซยาไนด์ ไซยาโนไฮดริน




ไซยาโนไฮดริน กรดซัลฟิวริก เมทานอล




เมทิลเมทาคริเลต แอมโมเนียมซัลเฟต

ประมาณร้อยละ 80 ของเมทิลเมทาคริเลตใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิเมทิลเมทาคริเลต (ดู poly(methyl methacrylate)) ที่ใช้ผลิตแผ่นพลาสติกใสสำหรับขึ้นรูปชิ้นงานต่างๆ



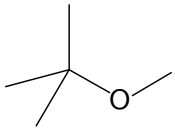
เมทิลเมทาคริเลต

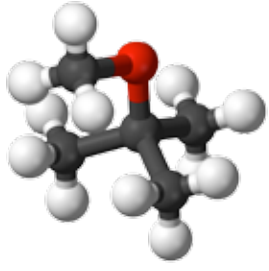
**methyl methacrylate acrylonitrile butadiene styrene (MABS) เมทิลเมทาคริเลต อะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (เอ็มเอบีเอส)**

เทอร์มอพลาสติกที่มีมอนอเมอร์ร่วม (comonomer) ทั้งหมด 4 ชนิด คือ เมทิลเมทาคริเลต (ดู methyl methacrylate) อะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile) บิวทาไดอีน (ดู butadiene) และสไตรีน (ดู styrene) เชื่อมกันแบบพอลิเมอร์ 4 กิ่งในสองวัฏภาค (a two-phase graft tetrapolymer) สมบัติโดยทั่วไปเหมือนกับเอบีเอส (ABS) แต่ต่างกันตรงที่มีการเพิ่มเมทิล-เมทาคริเลตมอนอเมอร์ ทำให้มีค่าดัชนีหักเหของสองวัฏภาคใกล้กับค่าที่ทำให้โปร่งแสง และยังสามารถปรับปรุงให้มีความต้านทานการเสื่อม (degradation) ด้วยความร้อน

**methyl tertiary butyl ether (MTBE) เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์ (เอ็มทีบีอี)**

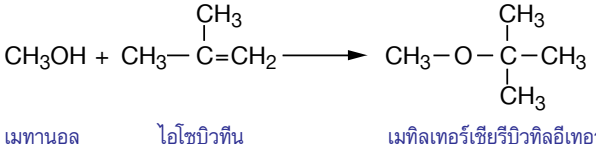
สารประกอบอินทรีย์ประเภทอีเทอร์ (ether) โครงสร้างประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน 5 อะตอม โดยมีอะตอมออกซิเจนแทรกอยู่ในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $C_5H_{12}O$



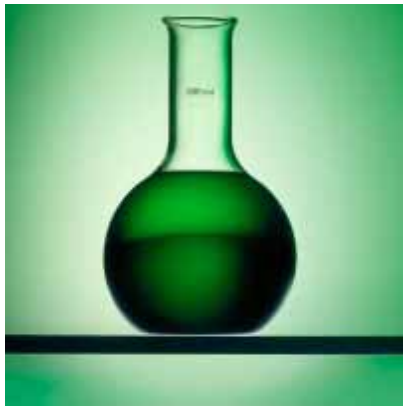
เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายใบสาระแหน่ ไวไฟ สังเคราะห์โดยใช้ไอโซบิวทีน (ดู iso-butene) เป็นสารตั้งต้นทำปฏิกิริยากับเมทานอล (ดู methanol) ที่ภาวะอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา




เมทานอล ไอโซบิวทีน เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์

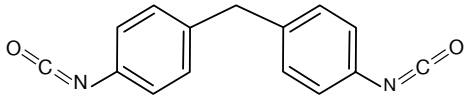
ใช้เป็นสารเติมแต่ง (additive) เพื่อเพิ่มเลขออกเทน (octane number) ของน้ำมันเบนซิน (gasoline) และใช้เป็นตัวทำละลาย



เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์

**methylene diphenylene diisocyanate (MDI) เมทิลีนไดเฟนิลีนไดไอโซไซยาเนต (เอ็มดีไอ)**

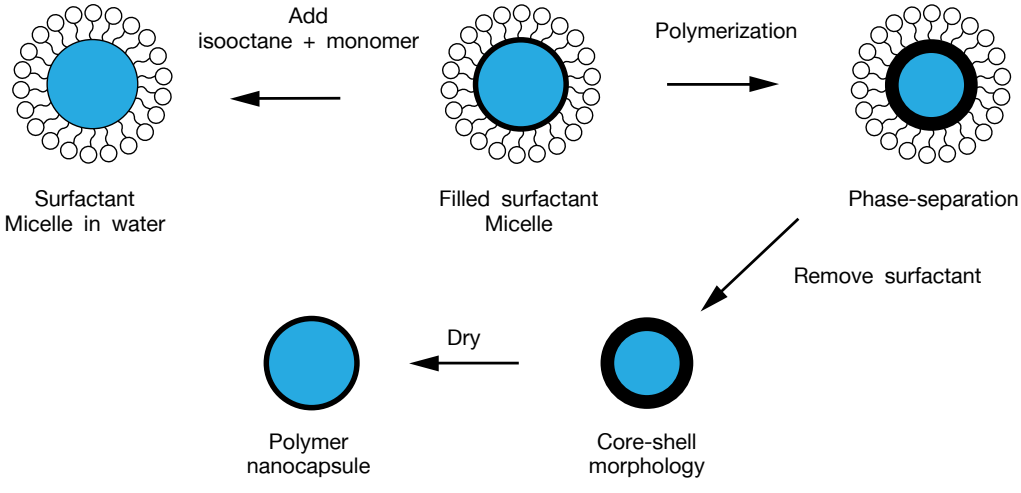
สารประกอบที่มีหมู่ไอโซไซยาเนต (ดู isocyanate) ใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูริเทน (ดู polyurethane)



เมทิลีนไดเฟนิลีนไดไอโซไซยาเนต

**microemulsion polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบไมโครอิมัลชัน**

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีกลไกปฏิกิริยาเช่นเดียวกับการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (ดู emulsion polymerization) แต่ควบคุมให้มีขนาดอนุภาคไม่เกิน 100 นาโนเมตร ในขั้นตอนแรกผสมมอนอเมอร์ สารลดแรงตึงผิว และน้ำ แล้วนำไปกวนในเครื่องกวน จากนั้นปั่นสารละลายด้วยโฮโมจิไนเซอร์ ซึ่งเป็นเครื่องกวนที่มีความดันหรือความเร็วรอบสูง ทำให้ได้หยดมอนอเมอร์ขนาดไม่เกิน 100 นาโนเมตร แล้วจึงเติมสารเริ่มปฏิกิริยาเพื่อทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ ใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์นาโนแคปซูล อาทิ พอลิสไตรีนนาโนแคปซูลสำหรับส่งผ่านยา (drug delivery)



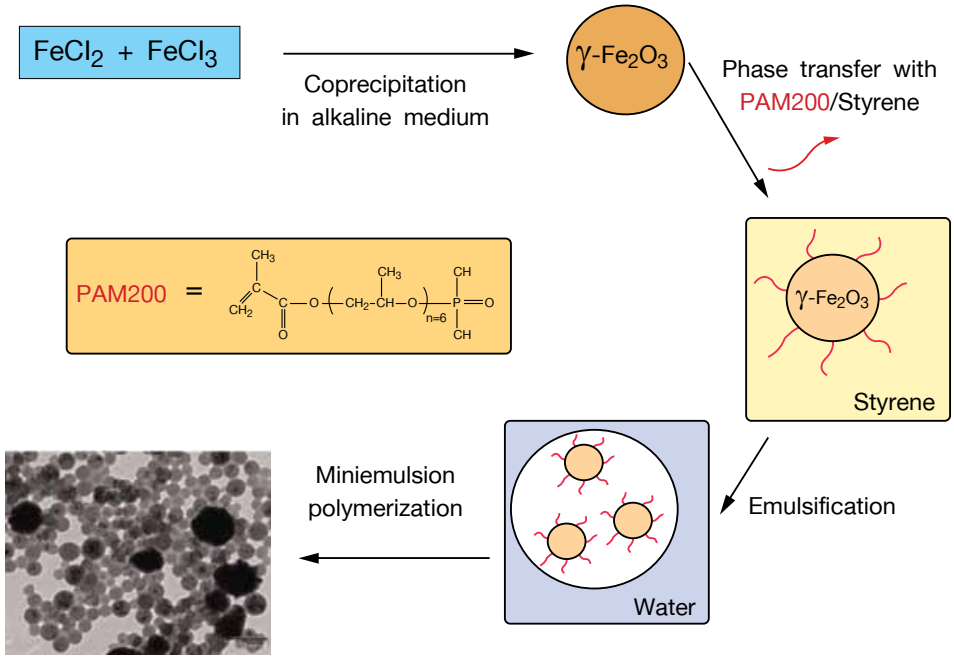

แผนภูมิการเกิดพอลิเมอร์แบบไมโครอิมัลชันเพื่อสังเคราะห์พอลิสไตรีนนาโนแคปซูล

**miniemulsion polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบมินิอิมัลชัน**

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีกลไกปฏิกิริยาเช่นเดียวกับการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (ดู emulsion polymerization) และการเกิดพอลิเมอร์แบบไมโครอิมัลชัน (ดู micro-emulsion polymerization) แต่ควบคุมให้มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 50-500 นาโนเมตร (ต่างจากการเกิดพอลิเมอร์แบบไมโครอิมัลชันที่มีการควบคุมขนาดอนุภาคไม่เกิน 100 นาโนเมตร) ในขั้นตอนแรกผสมมอนอเมอร์ สารลดแรงตึงผิว และน้ำลงไปในเครื่องกวน แล้วปั่นกวนสารละลายด้วยโฮโมจิไนเซอร์ ซึ่งเป็นเครื่องกวนที่มีความดันหรือความเร็วรอบสูง ทำให้ได้หยดมอนอเมอร์ขนาดอนุภาคระหว่าง 50-500 นาโนเมตร แล้วจึงเติมสารเริ่มปฏิกิริยาเพื่อทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ ใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์นาโนแคปซูล อาทิ พอลิสไตรีนนาโนแคปซูลสำหรับส่งผ่านยา (drug delivery) หรือห่อหุ้มอนุภาคเหล็กออกไซด์ ที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวโดยพอลิสไตรีนนาโนแคปซูล

**mixed C4 ซี 4 ผสม**

ของผสมไฮโดรคาร์บอนที่มีองค์ประกอบหลักเป็นไฮโดรคาร์บอน ที่มีอะตอมคาร์บอน 4 อะตอม ได้แก่ ไอโซบิวทีน (ดู isobutene) บิวทาไดอีน (ดู butadiene) และ 1-บิวทีน (ดู 1-butene) ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ก๊าซ ไม่มีสี มีกลิ่น เป็นผลผลิตผลพลอยได้จากการผลิตสารโอเลฟิน (ดู olefin) จากกระบวนแตกตัวของแนฟทา (ดู naphtha) นำซี 4 ผสม มาแยกองค์ประกอบแต่ละชนิดให้บริสุทธิ์ก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ไอโซบิวทีนใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์ สำหรับเพิ่มเลขออกเทน (octane number) ในน้ำมันเบนซิน (gasoline) บิวทาไดอีนใช้ในการผลิตยางสังเคราะห์หรือพลาสติกต่างๆ เช่น ยางบิวทาไดอีน (ดู butadieine rubber) และพลาสติกอะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (ดู acrylonitrile-butadiene-styrene) 1-บิวทีนใช้เป็นสารโคมอนอเมอร์ (comonomer) ร่วมกับเอทิลีน (ดู ethylene) สำหรับผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (ดู high density polyethylene) และพอลิเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ (LLDPE)




แผนภูมิการเกิดพอลิเมอร์แบบมินิอิมัลชันของพอลิสไตรีนเพื่อห่อหุ้มอนุภาคเหล็กออกไซด์ที่ถูกปรับปรุงพื้นผิว

**modacrylic fiber เส้นใยโมดะคริลิก**

พอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นเพื่อให้โซ่มีความยาวสูง ประกอบด้วยอะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile) ร้อยละ 35-85 และร้อยละ 20 หรือมากกว่าเป็นไวนิลคลอไรด์หรือไวลินิดีน-คลอไรด์ มีสมบัติและการนำไปใช้คล้ายกับอะคริลิก แต่มีส่วนที่แตกต่างคือ มีความต้านทานสารเคมีและการเผาไหม้สูงกว่า มีความไวต่อความร้อน และมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า ใช้ในการผลิตสิ่งทอ เสื้อผ้ากันไฟ พรม และผมปลอม









ผลิตภัณฑ์จากเส้นใยโมดะคริลิก

**molecular sieve ตัวกรองโมเลกุล, โมเลคิวลาร์ซีฟ**
วัสดุที่มีรูพรุนขนาดเล็กที่มีขนาดสม่ำเสมอ ใช้เป็นสารดูดซับก๊าซและของเหลว และใช้แยกโมเลกุลขนาดต่างๆ ในของผสมออกจากกัน โดยโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูพรุนจะผ่านเข้าไปภายในวัสดุและถูกดูดซับ ส่วนโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่าไม่สามารถเข้าไปได้ ถ้าเป็นกรณีที่โมเลกุลในของผสมมีขนาดเท่ากัน การแยกจะขึ้นกับความมีขั้ว (polarity) ระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ แตกต่างจากตัวกรอง (filter) ชนิดทั่วไปที่ไม่สามารถกรองสารในระดับโมเลกุลและไม่มีการดูดซับเกิดขึ้น นิยมใช้ในการดึงน้ำ (ดู dehydration) ออกจากสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี เพื่อป้องกันการสึกกร่อนของอุปกรณ์โลหะต่างๆ ภายในโรงงาน ตัวกรองโมเลกุลที่ใช้งานแล้วสามารถนำไปฟื้นฟูสภาพได้ใหม่อีกครั้ง โดยการลดความดัน ให้ความร้อน รวมถึงการไล่ด้วยก๊าซพา (carrier gas) ตัวอย่างของตัวกรองโมเลกุล เช่น สารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (alumino silicate mineral) ดินเหนียว (clay) แก้วที่มีรูพรุน (porous glass) ถ่านรูพรุนขนาดเล็กมาก (microporous charcoal) ซีโอไลต์ (ดู zeolite) คาร์บอนกัมมันต์ (activated carbon) รวมถึงสารสังเคราะห์ที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน ขนาดของตัวกรองโมเลกุลมีอยู่หลายขนาดด้วยกัน ดังนี้

1) ตัวกรองโมเลกุลที่มีขนาด 3 อังสตรอม (angstrom) หรือชนิด 3A เหมาะสำหรับดูดซับสารแอมโมเนีย (ammonia) และน้ำ

2) ตัวกรองโมเลกุลที่มีขนาด 4 อังสตรอม หรือชนิด 4A เหมาะสำหรับดูดซับน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) ไฮโดรเจนไดซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) เอทิลีน (ethylene) อีเทน (ethane) โพรพิลีน (propylene) เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)

3) ตัวกรองโมเลกุลที่มีขนาด 5 อังสตรอม หรือชนิด 5A เหมาะสำหรับดูดซับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดโซ่ตรง แอลกอฮอล์ และสารประกอบเมอร์แคปแทน (mercaptan) ที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่า 4 อะตอม

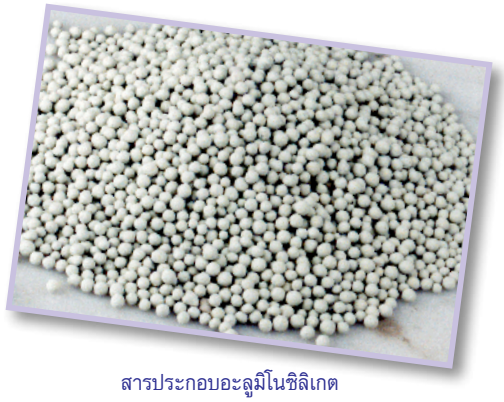
4) ตัวกรองโมเลกุลที่มีขนาด 8 อังสตรอม หรือชนิด 10X เหมาะสำหรับดูดซับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีโครงสร้างแบบกิ่งหรือแอโรแมติกส์

5) ตัวกรองโมเลกุลที่มีขนาด 10 อังสตรอม หรือชนิด 13X เหมาะสำหรับดูดซับสารไดบิวทีลามีน (dibutylamine)





ซีโอไลต์



สารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต



ตัวกรองโมเลกุลรูปร่างต่างๆ



ดินเหนียว



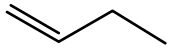
คาร์บอนกัมมันต์

**monomer มอนอเมอร์**

สารโมเลกุลเล็กที่สามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลเล็กอื่นๆ ที่อาจเหมือนหรือไม่เหมือนกัน โดยมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์หลายร้อยหลายพันโมเลกุล กลายเป็นสายโซ่ยาวเกิดเป็นพอลิเมอร์ (polymer) พอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบสายโซ่ (ดู chain polymerization) เกิดจากการสลายพันธะคู่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพันธะคู่ของคาร์บอนในมอนอเมอร์ เช่น เอทิลีน (ดู ethylene) ไวนิลคลอไรด์ (ดู vinylchloride) และอาจเกิดได้จากการสลายพันธะวงแหวนของโมเลกุลวงแหวน พอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาแบบขั้นบันได (step growth polymerization) เกิดจากมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน (functional group) อย่างน้อย 2 หมู่ขึ้นไปมาทำปฏิกิริยากันได้สายโซ่พอลิเมอร์ เช่น ไดแอซิด (diacid) ไดเอมีน (diamine) กรดอะมิโน (amino acid)

**n-butene นอร์มัลบิวทีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวประเภทแอลคีน (ดู alkene) ประกอบด้วยคาร์บอน 4 อะตอม จัดเรียงตัวเป็นสายโซ่ยาว มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน 1 พันธะ อยู่ในสายโซ่ สูตรโมเลกุล $C_4H_8$ จัดโครงสร้างได้ 2 ไอโซเมอร์ (isomer) คือ 1-บิวทีน (ดู 1-butene) ที่มีพันธะคู่อยู่ที่อะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 2-บิวทีน (ดู 2-butene) ที่มีพันธะคู่อยู่ที่อะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 นอกจากนี้ยังเป็นไอโซเมอร์กับไอโซบิวทีน (ดู iso-butene) ที่มีพันธะคู่อยู่ในตำแหน่งที่ 1 และมีโซ่กิ่งที่ปลายสายโซ่



1-บิวทีน



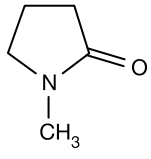
2-บิวทีน



ไอโซบิวทีน

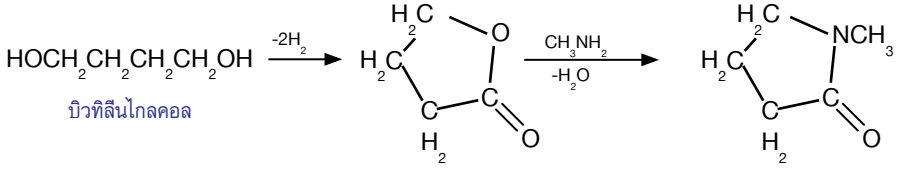
**n-methylpyrrolidone (NMP) นอร์มัลเมทิลไพโรริโดน (เอ็นเอ็มพี)**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทแลกแทม (ดู lactam) มีโครงสร้างเป็นวงแหวน 5 เหลี่ยมที่มีหมู่เอไมด์ (amide group, $CONH_2$) แทรกอยู่ภายในวงแหวน และมีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไนโตรเจนของหมู่เอไมด์ สูตรโมเลกุล $C_5H_9NO$




นอร์มัลเมทิลไพโรริโดน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวใส สีเหลืองอ่อน ละลายในน้ำและตัวทำละลายอื่นๆ ได้ เช่น เอทิลแอซีเทต (ethyl acetate) คลอโรฟอร์ม (chloroform) และเบนซีน (ดู benzene) สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการดึงไฮโดรเจน (ดู dehydrogenation) โดยใช้บิวทิลีนไกลคอล (butylene glycol) เป็นสารตั้งต้น ได้ผลผลิตคือ แกมมาบิวทีโรแลกโทน ($\gamma$-butyrolactone) ซึ่งทำปฏิกิริยาต่อกับเมทิลามีน (methylamine) พร้อมกับการดึงน้ำออก (dehydration)




บิวทิลีนไกลคอล

แกมมาบิวทีโรแลกโทน

เมทิลไพโรริโดน

ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับแยก 1,3-บิวทาไดอีน (1,3-butadiene) ออกจากซี 4 ผสม (ดู mixed C4) ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ เรซิน และพลาสติก นอกจากนี้ยังใช้ผลิตสารอนุพันธ์ต่างๆ สำหรับอุตสาหกรรมการเกษตร เภสัชกรรม รวมถึงสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) เป็นต้น



การใช้เพื่ออุตสาหกรรมการเกษตร



การใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร



การใช้ในงานเภสัชกรรม



การใช้ในงานเภสัชกรรม



การใช้ในงานเภสัชกรรม



การใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ



การใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก

**naphtha แนฟทา**

ของผสมไฮโดรคาร์บอนที่มีองค์ประกอบเป็นสารประกอบแอลิเฟทิกส์ (ดู aliphatics) หรือไซโคลแอลิเฟทิก (cyclo aliphatic) ที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอน 5-12 อะตอม แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

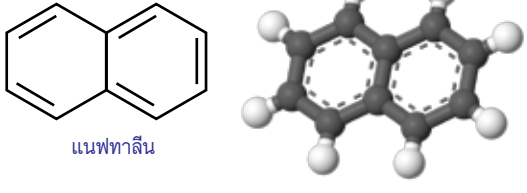
1) แนฟทา (full range naphtha) มีโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน 5-12 อะตอมเป็นองค์ประกอบหลัก จุดเดือดอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30-200 องศาเซลเซียส

2) แนฟทาเบา (light naphtha) มีโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน 5-6 อะตอมเป็นองค์ประกอบหลัก จุดเดือดอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส

3) แนฟทาหนัก (heavy naphtha) มีโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน 6-12 อะตอมเป็นองค์ประกอบหลัก ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลว ไม่ละลายน้ำ ไวไฟ ระเหยได้ง่าย จุดเดือดอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 160-220 องศาเซลเซียส เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ ส่วนกลั่นอยู่ในช่วงระหว่างผลิตภัณฑ์ก๊าซและเคโรซีน (kerosene) แนฟทาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันเบนซิน โอเลฟิน และแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ที่เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ใช้เป็นตัวทำละลาย

**naphthalene แนฟทาลีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มประเภทแอโรแมติกส์ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) เชื่อมต่อกัน 2 วง สูตรโมเลกุล $C_{10}H_8$



แนฟทาลีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ เกล็ดของแข็งสีขาว กลิ่นเหมือนน้ำมันดินจากถ่านหิน (coal tar) ระเหิดได้ที่อุณหภูมิห้อง ไวไฟ องค์ประกอบที่พบในน้ำมันดินและน้ำมันดิบ ทำให้บริสุทธิ์โดยการกลั่นลำดับส่วนและการตกผลึกใหม่ (recrystallization) ใช้เป็นสารดับกลิ่น สารตั้งต้นในการผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น พทาลิกแอนไฮไดรด์ (ดู phthalic anhydride) รวมถึงสารอนุพันธ์ต่างๆ ที่ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิว (surfactant) และสีสังเคราะห์ต่างๆ เป็นต้น



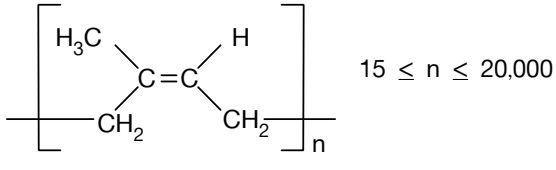
แนฟทาลีนหรือลูกเหม็น

**naphthene, cycloalkane แนฟทีน, ไซโคลแอลเคน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัวประเภทแอลเคน (alkane) ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นวงแหวน อาจมีเพียงหนึ่งวงหรือมากกว่าก็ได้ ในวงแหวนประกอบด้วยพันธะเดี่ยวของอะตอมคาร์บอนต่อกันเท่านั้น สูตรโมเลกุลทั่วไป $C_nH_{2n}$ เมื่อ n คือ จำนวนอะตอมคาร์บอนทั้งหมดในโมเลกุลเริ่มตั้งแต่คาร์บอน 3 อะตอมขึ้นไป ตัวอย่างของสารประกอบในกลุ่มนี้ ได้แก่ ไซโคลโพรเพน (cyclopropane) ไซโคลบิวเทน (cyclobutane) ไซโคลเพนเทน (ดู cyclopentane) ไซโคลเฮกเซน (ดู cyclohexane) และเมทิลไซโคลเพนเทน (methyl cyclopentane)

**natural rubber (NR) ยางธรรมชาติ (เอ็นอาร์)**

พอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง อยู่ในรูปของพอลิ 1,4-ซิสไอโซพรีน มาจากต้นยางพาราหลายชนิด ในรูปของน้ำยางที่มีลักษณะข้นขาว เมื่อผสมน้ำยางกับกรดแอซีติก (ดู acetic acid) หรือกรดซัลฟิวริก หรือกรดฟอร์มิก (กรดมด) อนุภาคน้ำยางจะรวมตัวเป็นก้อนสีขาวสามารถรีดเป็นแผ่นได้ อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ได้น้ำยางจากต้นยางพารา Hevea brasiliensis (Willd. ex A. Juss.) Mll.Arg. ซึ่งมีลักษณะขาวขุ่น ถ้าต้องการให้น้ำยางคงสภาพเดิมต้องเติมแอมโมเนีย ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง สมบัติทางไฟฟ้าดี ความต้านทานแรงดึงสูง การคงตัวต่อการบีบอัดต่ำ ต้านทานความสึกหรอ ต้านทานการตัดให้ขาดและการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (resistance to cut-through and cold flow) ยางธรรมชาติสามารถต้านทานกรดและด่างได้ดี ไม่ทนน้ำมันทุกชนิด สามารถละลายได้ในไฮโดรคาร์บอนแอลิเฟทิก แอโรแมติกส์ และสารละลายคลอริเนต แต่ก็ละลายได้ไม่ง่ายนักเพราะมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เนื่องจากสมบัติเด่นด้านความยืดหยุ่นจึงนำไปผลิตแผ่นรองเครื่องยนต์ เพื่อลดการสั่นสะเทือนที่ส่งถึงห้องโดยสารของรถยนต์



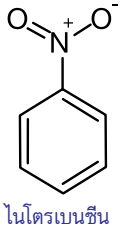

พอลิ 1,4-ซิสไอโซพรีน
โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ



น้ำยางธรรมชาติ

**nitrobenzene ไนโตรเบนซีน**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ที่มีหมู่ไนโตร (nitro group,-$NO_2$) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) สูตรโมเลกุล $C_6H_5NO_2$



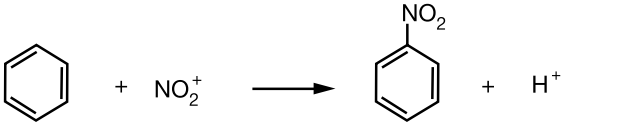
ไนโตรเบนซีน



ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวคล้ายน้ำมัน สีเหลืองอ่อน กลิ่นคล้ายเมล็ดอัลมอนด์ ไวไฟ ไม่ละลายน้ำ สังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้นเบนซีนทำปฏิกิริยาไนเตรชัน (nitration reaction) ในสภาวะของเหลวกับไนโตรเนียมไอออน (nitronium ion, $NO_2^+$) ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดไนทริกและกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยกรดซัลฟิวริกทำหน้าที่ทำปฏิกิริยากับกรดไนทริก และดูดซับน้ำที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มสมดุลเคมีให้เกิดผลผลิตไนโตรเบนซีนมากขึ้น

$$HNO_3 + 2H_2SO_4 \rightleftharpoons 2HSO_4^- + H_3O^+ + NO_2^+$$

กรดไนทริก กรดซัลฟิวริก ไฮโดรเจนซัลเฟตไอออน ไฮโดรเนียมไอออน ไนโตรเนียมไอออน

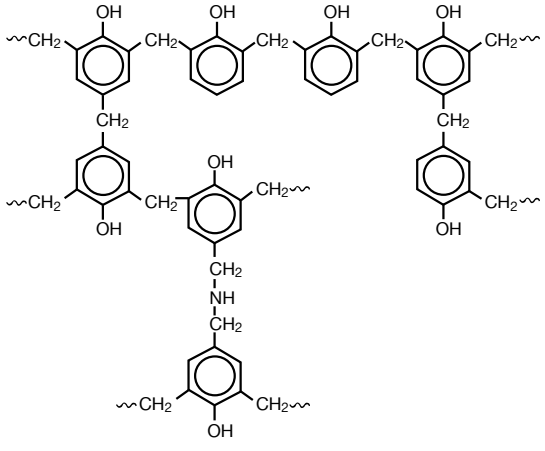


เบนซีน ไนโตรเนียมไอออน ไนโตรเบนซีน ไฮโดรเนียมไอออน

ใช้ผลิตสารแอนิลีน (ดู aniline) ถึงร้อยละ 97 ส่วนที่เหลือใช้ผลิตสารควิโนลีน (quinoline) และเบนซิดีน (benzidine) ซึ่งเป็นตัวทำละลายสำหรับเซลลูโลสอีเทอร์ (cellulose ether)

**Novolac, Novolac resin โนโวแล็ก, เรซินโนโวแล็ก**

พอลิเมอร์ประเภทเทอร์มอเซต (ดู thermosetting polymer) เรซินฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (phenol formaldehyde resin) ประเภทหนึ่งที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์ (ดู formaldehyde) และฟีนอล (ดู phenol) เกินพอในสภาวะที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 100 ไม่สามารถเกิดโครงสร้างเชื่อมขวางได้ต้องเติมสารเชื่อมขวาง (crosslinking agent) เฮกซะเมทิลีนเททระมีน (hexamethylentetramine)



โครงสร้างเรซินโนโวแล็ก




ตัวอย่างการใช้สารเคลือบผิวโนโวแล็ก







ตัวอย่างการใช้สารเคลือบผิวโนโวแล็ก

**number-average molecular weight น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเชิงจำนวน**
ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์แบบหนึ่ง ที่ใช้จำนวนโมเลกุลของพอลิเมอร์เป็นฐานในการคำนวณ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\bar{M}_n$ โดยกลุ่มน้ำหนักของพอลิเมอร์ใดๆ ที่มีจำนวนโมเลกุลสูง จะส่งผลต่อค่า $\bar{M}_n$ มากกว่ากลุ่มของพอลิเมอร์ที่มีจำนวนโมเลกุลต่ำ

$$\bar{M}_n = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i}$$

เมื่อ $N_i$ คือ จำนวนโมลของพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุล $M_i$
$M_i$ คือ น้ำหนักโมเลกุลของแต่ละสายโซ่พอลิเมอร์ที่ $i$

**olefin โอเลฟิน**
ดู alkene

**olefin-modified styrene-acrylonitrile (OSA) สไตรีน-อะคริโลไนไทรล์ดัดแปรสมบัติด้วยโอเลฟิน (โอเอสเอ)**
สไตรีน-อะคริโลไนไทรล์ (ดู styrene-acrylonitrile) ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยวัสดุยืดหยุ่นโอเลฟินอิ่มตัว (saturated olefinic elastomer) และเติมสารดูดซับแสงอัลตราไวโอเลต (UV absorber) ตัวต้านออกซิเดชัน (antioxidant) และสีผงที่ทนสภาพอากาศ เป็นเทอร์มอพลาสติกเชิงวิศวกรรมที่มีความทนทานเป็นพิเศษ (specially tough) ไม่เปลี่ยนแปลงทางกายภาพและสีเมื่อใช้งานในที่กลางแจ้ง ทนสารละลายเจือจางของกรด ด่างและเกลือ มักใช้เป็นชั้นด้านนอกสุดเพื่อปกป้องวัสดุ (protective cap layer) โดยใช้เทคนิคกระบวนการอัดรีดร่วม (co-extrusion) เพื่อผลิตวัสดุก่อสร้าง วัสดุตกแต่งภายนอก วัสดุการเกษตร เข้ากันได้กับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ที่มีสมบัติทนทานต่อสภาพแวดล้อม

**ortho-phthalic acid กรดออร์โทพทาลิก**
สารประกอบอินทรีย์ประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ที่มีหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group, COOH) 2 หมู่ เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) ในตำแหน่งออร์โท (ortho position) เป็นไอโซเมอร์ (isomer) กับกรดไอโซพทาลิก (ดู isophthalic acid) และกรดเทเรฟแทลิก (ดู terephthalic acid) สูตรโมเลกุล $C_8H_6O_4$



กรดออร์โทพทาลิก

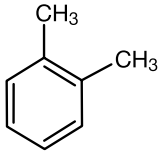
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของแข็งแวววาว สีขาว และสลายตัวที่อุณหภูมิสูง สังเคราะห์จากการแยกสลายด้วยน้ำ (ดู hydrolysis) ของสารตั้งต้นพทาลิกแอนไฮไดรด์ (ดู phthalic anhydride) ปัจจุบันเป็นสารเคมีที่ไม่ได้รับความนิยมในอุตสาหรรมมากนัก แต่ยังสามารถนำมาผลิตเบนซีนได้ โดยทำปฏิกิริยาการดึงหมู่คาร์บอกซิล (decarboxylation) กับแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate)



กรดพทาลิก

**ortho-xylene, o-xylene ออร์โทไซลีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวประเภทแอโรแมติกส์ เป็นไอโซเมอร์ (isomer) หนึ่งของไซลีน (ดู xylene) จากทั้งหมด 3 ไอโซเมอร์คือ ออร์โทไซลีน เมทาไซลีน (ดู m-xylene) และพาราไซลีน (ดู p-xylene) โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) ที่มีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) 2 หมู่ เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนในตำแหน่งออร์โท (ortho position) สูตรโมเลกุล $C_8H_{10}$




ออร์โทไซลีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลวใส ไม่มีสี ไม่ละลายน้ำ องค์ประกอบหนึ่งของไซลีนผสม (mixed xylene) ที่ผลิตจากการรีฟอร์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (ดู catalytic reforming) ของสารตั้งต้นแนฟทา(ดู naphtha) โดยออร์โทไซลีนถูกแยกจากของผสมและทำให้บริสุทธิ์โดยการกลั่น (ดู distillation) เนื่องจากออร์โทไซลีนมีจุดเดือดสูงที่สุดในกลุ่มของไซลีน สังเคราะห์พทาลิกแอนไอไดรด์ (ดู phthalic anhydride) หรืออาจเปลี่ยนไอโซเมอร์ (ดู isomerization) ให้เป็นพาราไซลีนซึ่งมีมูลค่าสูงกว่า

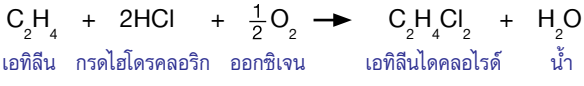
**oxo reaction ปฏิกิริยาออกโซ**

ดู hydroformylation

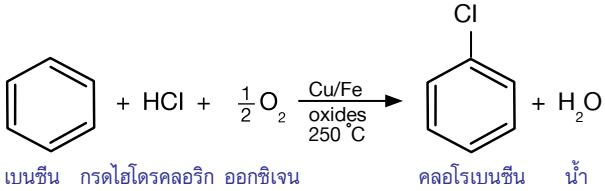
**oxychlorination ออกซีคลอริเนชัน**

การเติมหมู่คลอรีน (chlorine) ในสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว โดยทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) ได้ผลผลิตที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง ตัวอย่างของปฏิกิริยา เช่น การสังเคราะห์เอทิลีนไดคลอไรด์ (ethylene dichloride) จากสารตั้งต้นเอทิลีน (ดู ethylene) และการสังเคราะห์คลอโรเบนซีน (ดู chlorobenzene) จากสารตั้งต้นเบนซีน (ดู benzene)

การสังเคราะห์เอทิลีนไดคลอไรด์




และการสังเคราะห์คลอโรเบนซีน

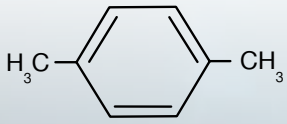


**paraffin พาราฟิน**

ดู alkane

**para-xylene, p-xylene พาราไซลีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) เป็นไอโซเมอร์ (isomer) หนึ่งของไซลีนจากทั้งหมด 3 ไอโซเมอร์คือ ออร์โทไซลีน (ดู o-xylene) เมทาไซลีน (ดู m-xylene) และพาราไซลีน โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนเบนซีนที่มีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) 2 หมู่ เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนในตำแหน่งพารา (para position) สูตรโมเลกุล $C_8H_{10}$



พาราไซลีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลวใส ไม่มีสี ไม่ละลายน้ำ ไวไฟ องค์ประกอบหนึ่งของไซลีนผสม (mixed xylene) ที่ผลิตจากการรีฟอร์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (ดู catalytic reforming) ของสารตั้งต้นแนฟทา (ดู naphtha) โดยการแยกขั้นสุดท้ายจะเหลือเมทาไซลีนและพาราไซลีนผสมกันอยู่ ซึ่งสามารถนำมาแยกออกจากกันได้โดย 2 กระบวนการคือ การดูดซับด้วยตัวกรองระดับโมเลกุล (molecular sieve) ทำหน้าที่เป็นสารดูดซับ (adsorbent) ทำให้พาราไซลีนมีความบริสุทธิ์มากขึ้น และการตกผลึก (ดู crystallization process) เนื่องจากพาราไซลีนมีจุดเยือกแข็ง (freezing point) สูงกว่าเมทาไซลีนจึงสามารถตกผลึกแยกออกจากกันได้ นอกจากนี้ สังเคราะห์ได้จากการเปลี่ยนไอโซเมอร์ (ดู isomerization) ของออร์โทไซลีนและเมทาไซลีน ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตกรดเทเรฟแทลิก (ดู terephthalic acid) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิเอทิลีน-เทเรฟแทเลต (ดู polyethylene terephthalate) หรือใช้เป็นตัวทำละลาย

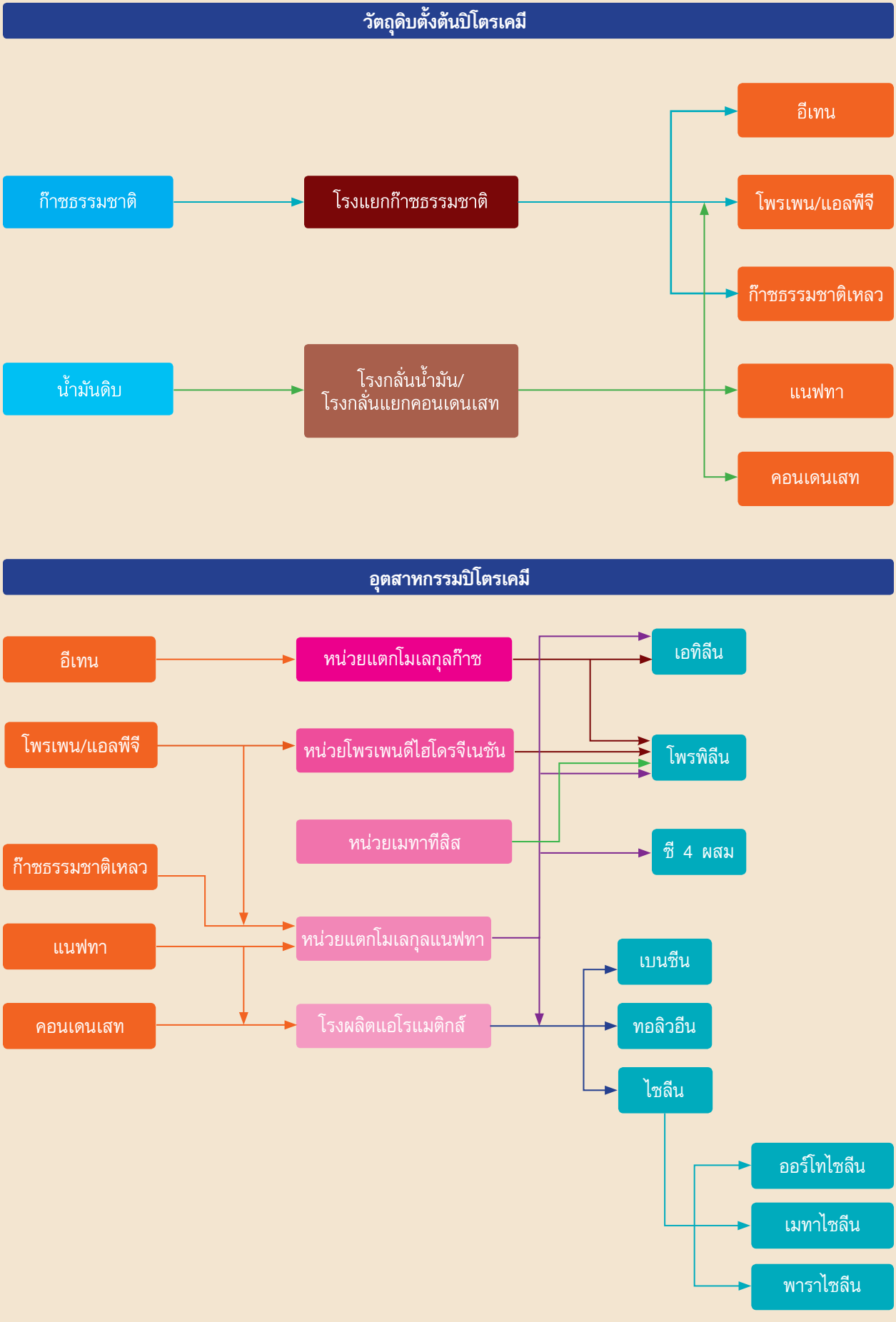
**petrochemical complex คอมเพล็กซ์ปิโตรเคมี**

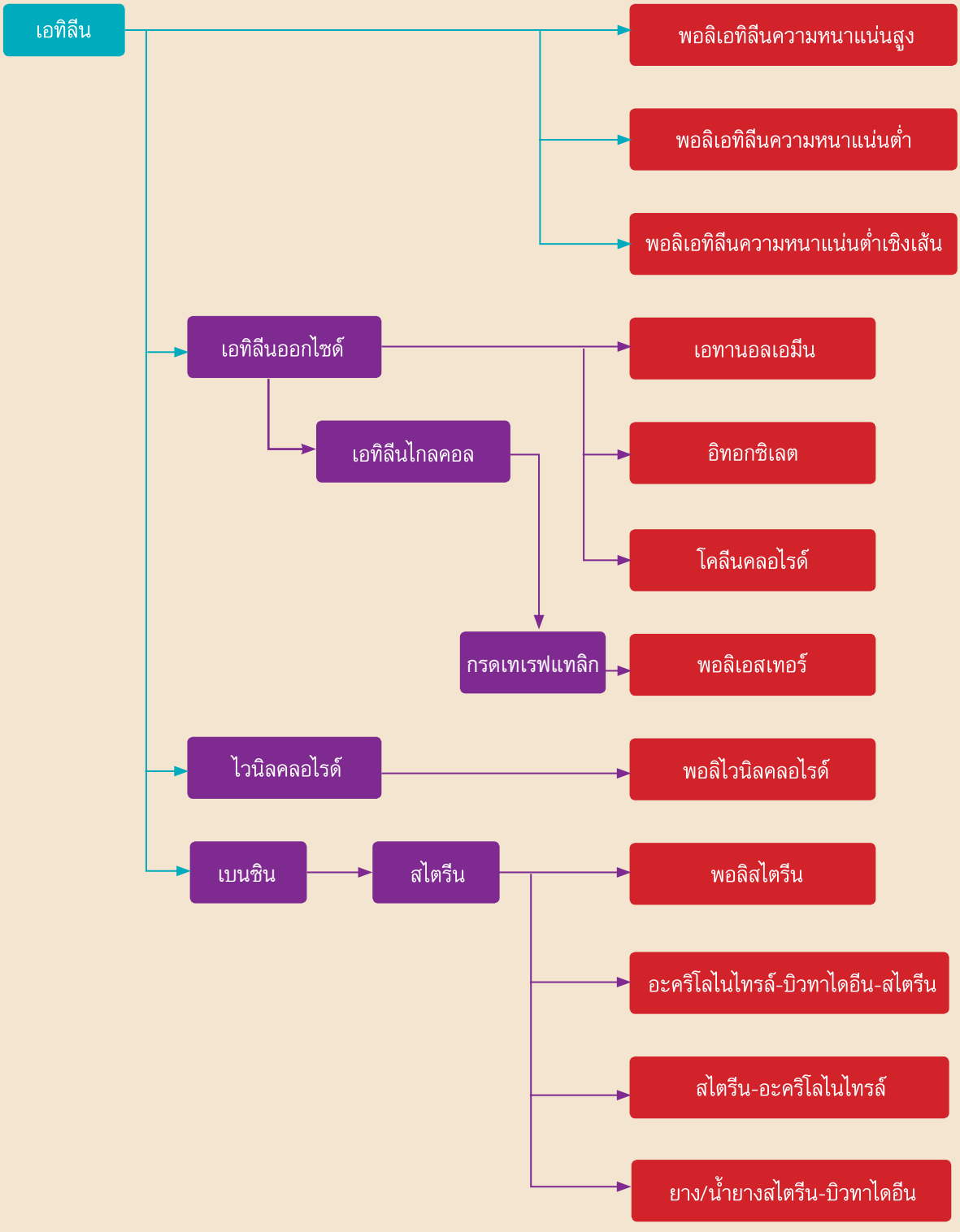
แหล่งหรือสถานที่ที่มีอุตสาหกรรมปิโตรเคมีตั้งอยู่รวมกันโดยมีระบบลอจิสติกส์ และระบบการผลิตสัมพันธ์กันอย่างเป็นระบบ เริ่มจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้น ขั้นกลาง ไปจนถึงขั้นปลาย ในประเทศไทยมีคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีอยู่ในอำเภอมาบตาพุด จังหวัดระยอง ประกอบด้วยนิคมอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด นิคมอุตสาหกรรมเหมราช นิคมอุตสาหกรรมอาร์ไอแอล เป็นต้น

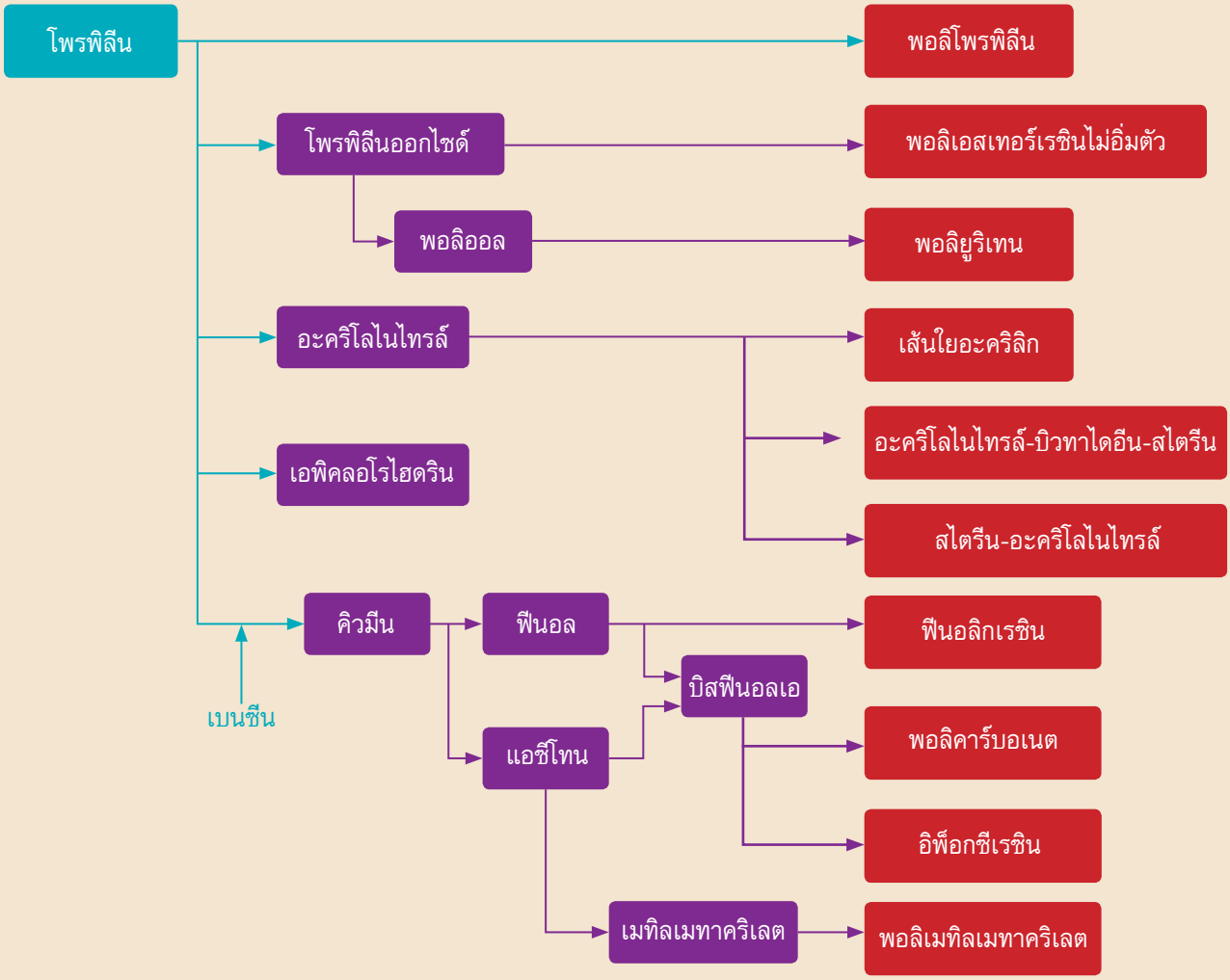
**petrochemicals เคมีภัณฑ์ปิโตรเลียม, ปิโตรเคมี**
กลุ่มสารเคมีหรือเคมีภัณฑ์ใดๆ ที่มาจากแหล่งวัตถุดิบปิโตรเลียมหรือสารเคมีที่มาจากปิโตรเลียม มาจากรากศัพท์เดิมสารเคมีหรือเคมีภัณฑ์จากปิโตรเลียม (petroleum chemicals) ในความหมายปัจจุบันครอบคลุมถึงแหล่งวัตถุดิบอื่นนอกจากปิโตรเลียมด้วย โดยเฉพาะแหล่งชีวมวล (biomass resource) เช่น พืช ธัญพืช น้ำมันจากพืช แอลกอฮอล์ ยางธรรมชาติ เป็นต้น จากแหล่งวัตถุดิบต่างๆ นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น (upstream petrochemical product) ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จำแนกตามสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ มีเทน (ดู methane) เอทิลีน (ดู ethylene) โพรพิลีน (ดู propylene) บิวทาไดอีน (ดู butadiene) ในซี 4 ผสม (ดู mixed C4) เบนซีน (ดู benzene) ทอลิวอีน (ดู toluene) ไซลีน (ดู xylene) ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นเหล่านี้นำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นกลางและขั้นปลาย ที่มีความหลากหลายจำนวนนับหมื่นชนิด แบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม ได้แก่ พลาสติก สารซักฟอก เส้นใยสังเคราะห์ ปุ๋ย ยา สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ สีทา วัสดุก่อสร้าง วัสดุปูพื้น ยางและวัสดุยืดหยุ่น สารเคลือบและกาว วัสดุสำหรับบรรจุภัณฑ์ จานและแผ่นบันทึกอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น โดยมีกลุ่มพลาสติกเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตสูงที่สุด และใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุดด้วย จุดกำเนิดผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีน่าจะเป็นการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดแรกคือ ไนโตรเซลลูโลส เมื่อ พ.ศ. 2412 จากเซลลูโลสที่ได้จากผงไม้ทำปฏิกิริยาไนเตรชันและพัฒนาต่อมาเป็น เซลลูโลสแอซีเทต (ดู cellulose acetate) ที่ใส เหนียว รีดเป็นแผ่นได้ และผลิตในชื่อทางการค้าว่า เซลลูลอยด์ (celluloid) ประเทศไทยรู้จักพลาสติกตั้งแต่ช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่เป็นเครื่องประดับสตรี ต่อมาเริ่มมีการนำเข้าเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิสไตรีน บรรจุเป็นถุงเล็กๆ ก่อนจะค่อยๆ พัฒนาขึ้นเป็นการนำเข้าเม็ดพลาสติกโดยพ่อค้าในย่านสำเพ็งราว พ.ศ. 2502-2504 บริษัท เลียกเซ้งเทรดดิ้ง จำกัด ถือเป็นผู้นำเข้าเม็ดพลาสติกรายแรกที่จัดส่งเม็ดพลาสติกให้โรงงานหลายแห่ง ส่วนใหญ่อยู่ในเขตกรุงเทพ มีทั้งโรงอัด โรงเป่าและโรงฉีดพลาสติก เพื่อผลิตเป็นถุงและชิ้นส่วนพลาสติกต่างๆ ที่เป็นผลิตภัณฑ์ใช้งานประจำวันซึ่งเข้ามาแทนที่วัสดุธรรมชาติ เช่น ใบตอง กระดาษ โลหะอย่างรวดเร็ว ปัจจุบัน ประเทศไทยจัดเป็นหนึ่งในประเทศผู้ผลิตปิโตรเคมีชั้นนำของภูมิภาคเอเชีย โดยใน พ.ศ. 2553 มีกำลังการผลิตปิโตรเคมีทั้งขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย รวมกันประมาณ 29 ล้านตันต่อปี มีคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีที่สมบูรณ์ที่สุดแห่งหนึ่งของโลก ตั้งอยู่ในบริเวณอุตสาหกรรมมาบตาพุดและบริเวณโดยรอบจังหวัดระยอง ประกอบด้วยอุตสาหกรรมผลิตปิโตรเคมีทั้งขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย โดยมีก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดิบ และคอนเดนเสท เป็นแหล่งวัตถุดิบหลัก

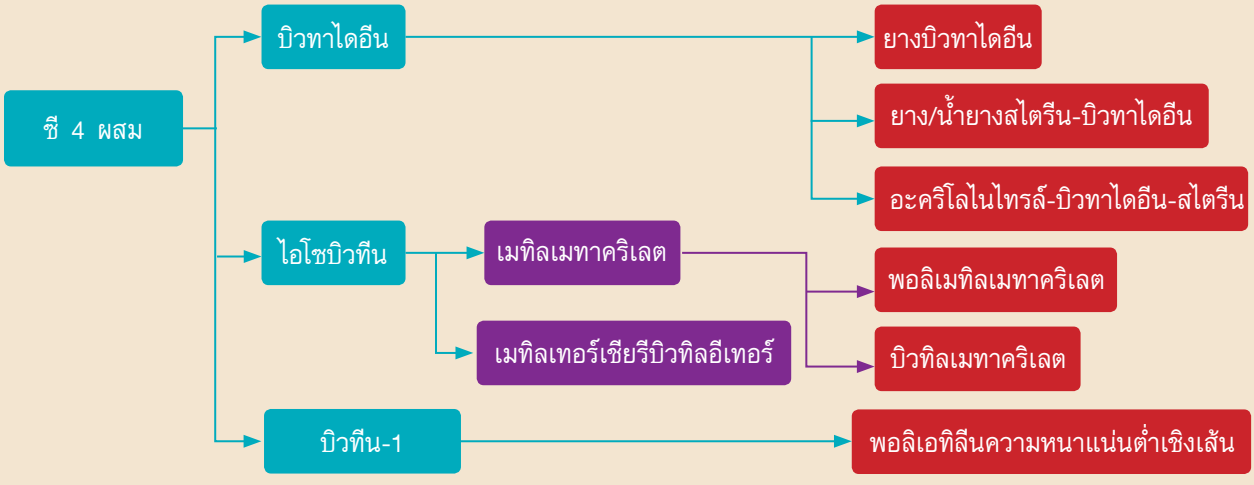


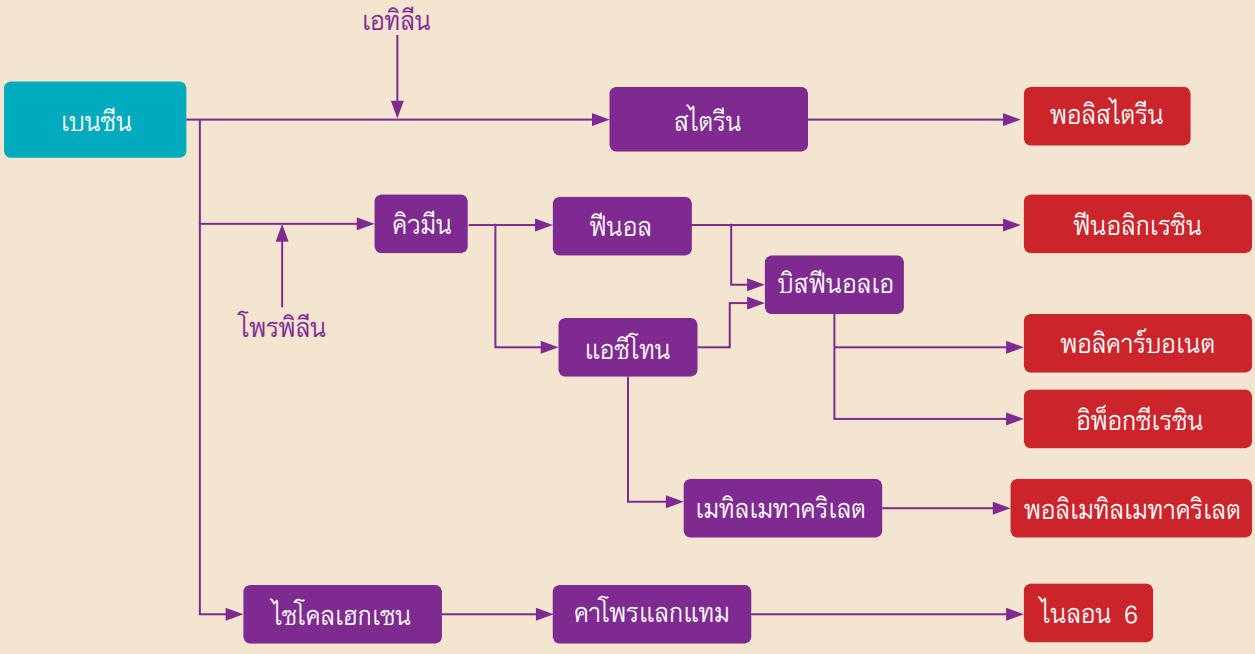
## แผนภาพการผลิตวัตถุดิบปิโตรเคมี และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีในประเทศไทย

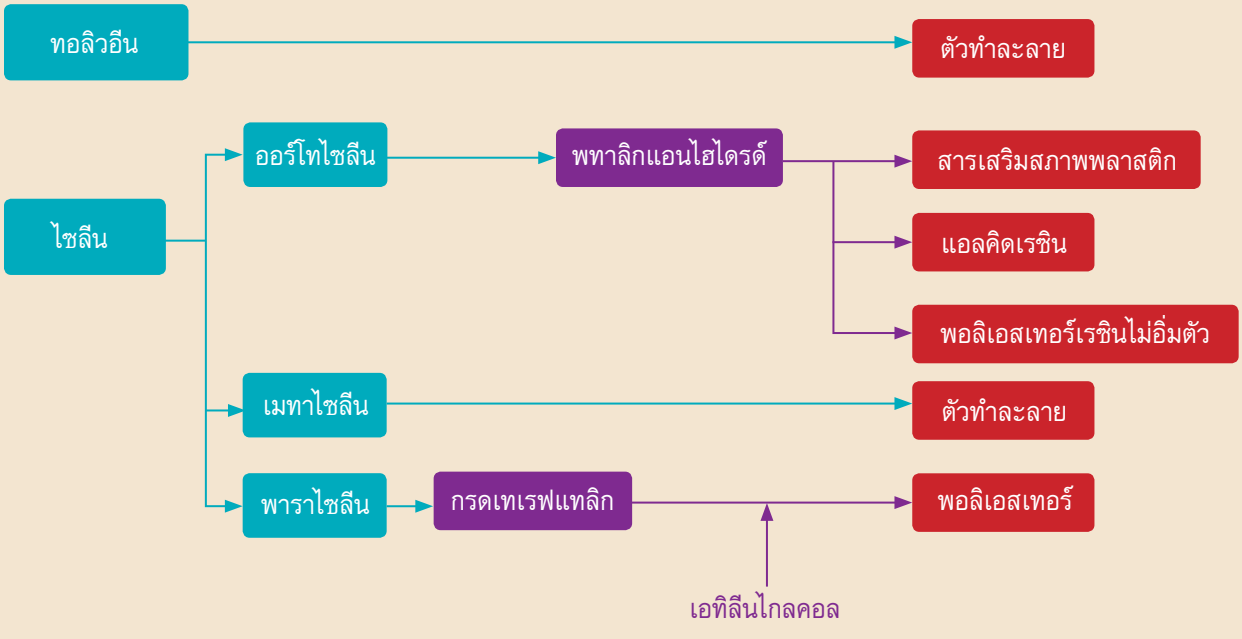



เอทิลีน
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น
เอทิลีนออกไซด์
เอทานอลเอมีน
เอทิลีนไกลคอล
อิทอกซิเลต
โคลีนคลอไรด์
กรดเทเรฟแทลิก
พอลิเอสเทอร์
ไวนิลคลอไรด์
พอลิไวนิลคลอไรด์
เบนซิน
สไตรีน
พอลิสไตรีน
อะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน
สไตรีน-อะคริโลไนไทรล์
ยาง/น้ำยางสไตรีน-บิวทาไดอีน


โพรพิลีน
พอลิโพรพิลีน
โพรพิลีนออกไซด์
พอลิเอสเทอร์เรซินไม่อิ่มตัว
พอลิออล
พอลิยูริเทน
อะคริโลไนไทรล์
เส้นใยอะคริลิก
อะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน
เอพิคลอโรไฮดริน
สไตรีน-อะคริโลไนไทรล์
คิวมีน
ฟีนอล
ฟีนอลิกเรซิน
บิสฟีนอลเอ
เบนซีน
แอซีโทน
พอลิคาร์บอเนต
อิพ็อกซีเรซิน
เมทิลเมทาคริเลต
พอลิเมทิลเมทาคริเลต

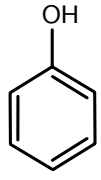

ซี 4 ผสม
บิวทาไดอีน
ยางบิวทาไดอีน
ยาง/น้ำยางสไตรีน-บิวทาไดอีน
อะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน
ไอโซบิวทีน
เมทิลเมทาคริเลต
พอลิเมทิลเมทาคริเลต
เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์
บิวทิลเมทาคริเลต
บิวทีน-1
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น


เอทิลีน
เบนซีน
สไตรีน
พอลิสไตรีน
คิวมีน
ฟีนอล
ฟีนอลิกเรซิน
โพรพิลีน
บิสฟีนอลเอ
แอซีโทน
พอลิคาร์บอเนต
อิพ็อกซีเรซิน
เมทิลเมทาคริเลต
พอลิเมทิลเมทาคริเลต
ไซโคลเฮกเซน
คาโพรแลกแทม
ไนลอน 6


ทอลิวอีน
ตัวทำละลาย
ออร์โทไซลีน
พทาลิกแอนไฮไดรด์
สารเสริมสภาพพลาสติก
ไซลีน
แอลคิดเรซิน
พอลิเอสเทอร์เรซินไม่อิ่มตัว
เมทาไซลีน
ตัวทำละลาย
พาราไซลีน
กรดเทเรฟแทลิก
พอลิเอสเทอร์
เอทิลีนไกลคอล

**phenol ฟีนอล**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทแอลกอฮอล์ (alcohol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) สูตรโมเลกุล $C_6H_5OH$

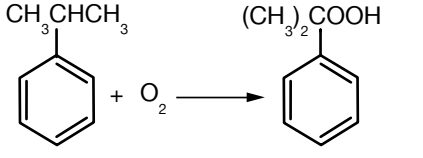



ฟีนอล




ฟีนอล

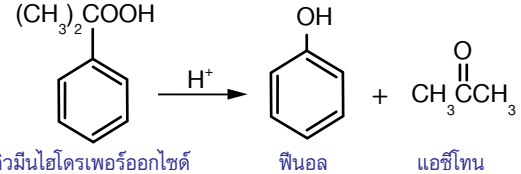
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของแข็ง ไม่มีสีจนถึงสีชมพูอ่อน ละลายในน้ำ สังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้นคิวมีน (ดู cumene) ทำปฏิกิริยาสองขั้นตอน




คิวมีน ออกซิเจน คิวมีนไฮโดรเพอร์ออกไซด์



ตัวอย่างวัสดุเคลือบผิวทำจากฟีนอลิกเรซิน




คิวมีนไฮโดรเพอร์ออกไซด์ ฟีนอล แอซีโทน

มากกว่าร้อยละ 50 นำไปผลิตเป็นฟีนอลิกเรซิน (ดู phenolic resin) ใช้ผลิตแผงวงจรไฟฟ้า (circuit board) สารเคลือบผิวและกาว นอกจากนั้นผลิตบิสฟีนอลเอ (ดู bisphenol-A) ไซโคลเฮกเซน (ดู cyclohexane) แอลคิลฟีนอล (ดู alkylphenol) และสารอนุพันธ์ (derivative) อื่นๆ



สารเคลือบผิวเฟอร์นิเจอร์ทำจากฟีนอลิกเรซิน



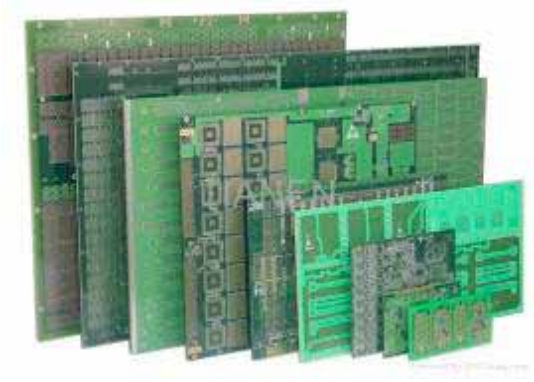
เฟอร์นิเจอร์ไม้ทาสารเคลือบผิวทำจากฟีนอลิกเรซิน



ลูกสนุกเกอร์ที่ทำจากฟีนอลิกเรซิน



แผงวงจรไฟฟ้า



แผงวงจรไฟฟ้า




กาวฟีนอลิก

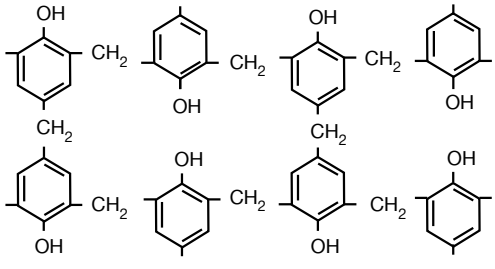
**phenol furfuran resin ฟีนอลเฟอร์ฟิวแรนเรซิน**
เรซินเทอร์มอเซต (thermosetting resin) สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ระหว่างฟีนอล (ดู phenol) กับเฟอร์ฟิวรัล (ดู furfural) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่าง เนื่องจากเฟอร์ฟิวรัลสามารถควบแน่นได้เองในภาวะที่เป็นกรดและเกิดเป็นเจล มีความต้านทานกรดและด่าง มีสีเข้ม ใช้เป็นวัสดุขึ้นรูป (moulding material) กาว (adhesive) และน้ำมันขัดเงา (impregnating varnish)



ไม้ที่ขัดด้วยน้ำมันขัดเงา

**phenolic resin, phenol formaldehyde (PF), bakelite ฟีนอลิกเรซิน, ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (พีเอฟ), เบกาไลต์**

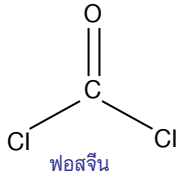
เทอร์มอเซตพลาสติก (thermoset plastic) สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น (condensation polymerization) ของฟีนอล (ดู phenol) และฟอร์มัลดีไฮด์ (ดู formaldehyde) มีความแข็งแรง ความต้านทานอุณหภูมิสูง (temperature resistance) ต้านทานการขีดข่วน (scratch resistance) และมีการคงสภาพเชิงมิติดี (dimensional stability) มีสมบัติทางเคมีไฟฟ้า (electrochemical properties) และความต้านทานสารเคมี โดยทั่วไปใช้เป็นวัสดุสำหรับขึ้นรูป (moulding material) ใช้เป็นสารเอิบชุ่ม (impregnating agent) และส่วนประกอบของสี น้ำมันขัดเงา น้ำมันเคลือบเงา และกาว ใช้เป็นสารยึดไม้แผ่นที่ใช้ในงานก่อสร้างและงานเฟอร์นิเจอร์ ใช้เป็นแผ่นบางอัดซ้อนสำหรับใช้ในงานตกแต่งและงานทางไฟฟ้า และใช้เป็นกาวชนิดพิเศษสำหรับวัสดุยืดหยุ่นเพื่อเสริมสภาพพลาสติก เสริมแรง หรือทำให้แข็ง



ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน

**phosgene ฟอสจีน**

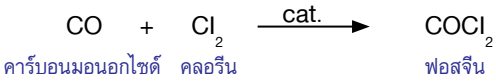
สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group, -C=O) เชื่อมต่อกับอะตอมคลอรีน (chlorine) ทั้ง 2 ด้าน สูตรโมเลกุล $COI_2$



ฟอสจีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ก๊าซไม่มีสี กลิ่นฉุนคล้ายหญ้าแห้ง สลายตัวในน้ำ ความเป็นพิษสูง สังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbonmonoxide) กับคลอรีน ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โดยมีถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ส่วนใหญ่ใช้ผลิตสารไอโซไซยาเนต (ดู isocyanate) โดยเฉพาะ

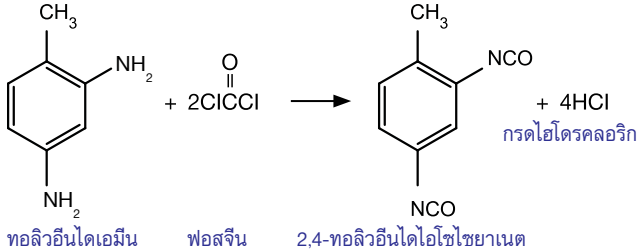


คาร์บอนมอนอกไซด์ คลอรีน ฟอสจีน

ทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนต (ดู toluene diisocyanate) และเมทิลีนไดเฟนิลีนไดไอโซไซยาเนต (ดู methylene diphenylene diisocyanate) ซึ่งใช้ผลิตพอลิยูริเทน (ดู polyurethane) และพอลิคาร์บอเนต (ดู polycarbonate) โดยทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอลเอ (ดู bisphenol-A)

**phosgenation การเติมฟอสจีน**

การเติมหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group, C=O) จากฟอสจีน (ดู phosgene) เข้าไปในสารตั้งต้น ตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์ 2,4-ทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนต (2,4-toluene diisocyanate) จากสารตั้งต้นทอลิวอีนไดเอมีน (toluenediamine) และฟอสจีน



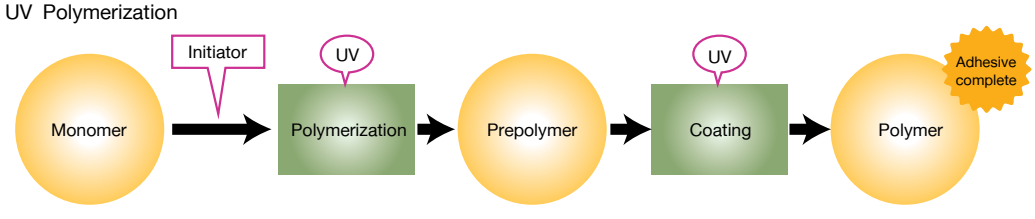
ทอลิวอีนไดเอมีน ฟอสจีน 2,4-ทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนต กรดไฮโดรคลอริก

**photoinitiation การเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง**

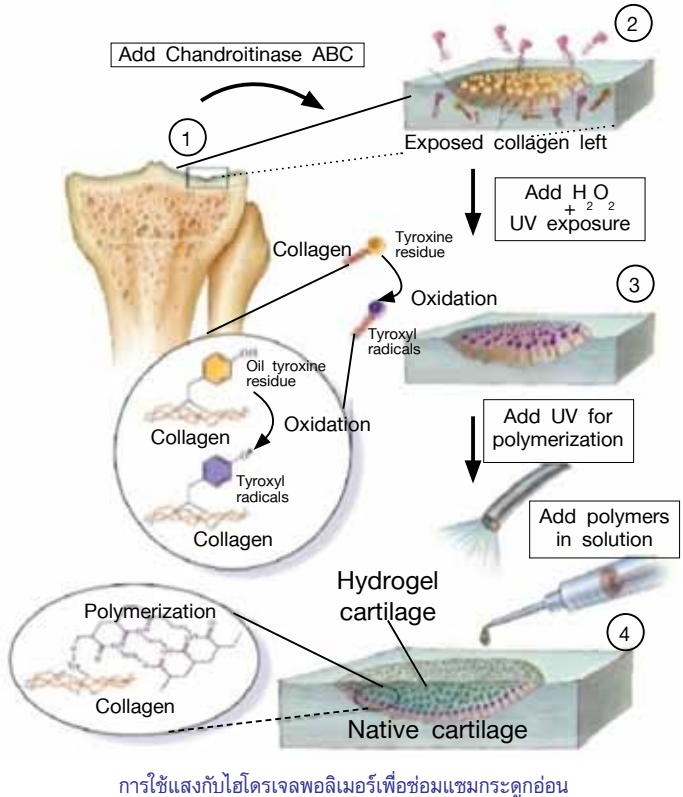
การเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์โดยวิธีการฉายรังสีอัลตราไวโอเลต (UV light) หรือแสงเลเซอร์ (laser) ใช้ในการเกิดพอลิเมอร์โดยแสง (ดู photopolymerization) โดยที่สารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) ต้องมีความไวแสง เรียกว่า สารเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง (photoinitiator) ซึ่งจะดูดกลืน (absorb) พลังงานจากแสงและเกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระ (ดู free radical) ทำให้เกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ (free radical polymerization) หรือแตกตัวให้แคตไอออน ทำให้เกิดพอลิเมอร์แบบแคตไอออน (ดู cationic polymerization)

**photopolymerization การเกิดพอลิเมอร์โดยแสง**

การสังเคราะห์พอลิเมอร์จากมอนอเมอร์หรือของผสมของมอนอเมอร์ที่ได้รับแสง อาจเป็นแสงจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติหรือแหล่งกำเนิดที่มนุษย์ทำขึ้น ในการเกิดปฏิกิริยาอาจใช้หรือไม่ใช้สารเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง (photoinitiator) ก็ได้ เริ่มจากการเกิดอนุมูลอิสระเมื่อสารเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงได้รับแสงและเกิดการสลายตัว อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยาต่อไปกับมอนอเมอร์ที่อยู่ในระบบเพื่อเกิดเป็นพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาเป็นชนิดไม่ผันกลับ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของวัสดุ เช่น การละลาย สี การยึดติด ค่าดัชนีหักเห การนำไฟฟ้า ตัวอย่างการใช้งานของเทคนิคการเกิดพอลิเมอร์โดยแสง เช่น การขึ้นรูปวัสดุขนาดเล็กมาก (microfabrication) สารเคลือบ การปรับพื้นผิวของวัสดุ สารยึดติด วัสดุการพิมพ์ วัสดุทางการไฟฟ้า




ขั้นตอนการเกิดพอลิเมอร์โดยแสง



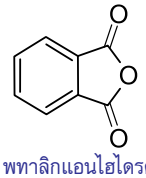

การใช้แสงกับไฮโดรเจลพอลิเมอร์เพื่อซ่อมแซมกระดูกอ่อน

**phthalic acid กรดพทาลิก**

ดู ortho-phthalic acid

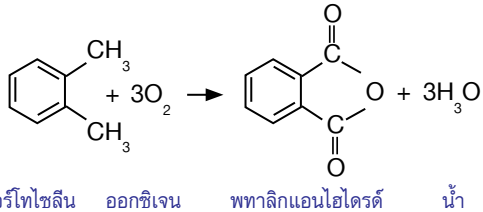
**phthalic anhydride พทาลิกแอนไฮไดรด์**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทแอนไฮไดรด์ (anhydride) ของกรดพทาลิก (ดู phthalic acid) สูตรโมเลกุล $C_8H_4O_3$



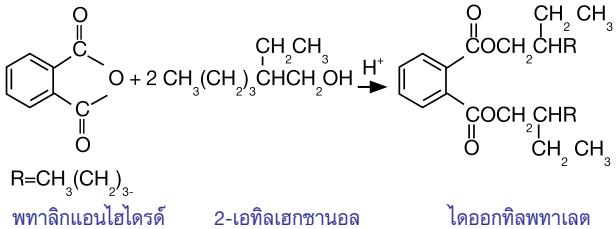
พทาลิกแอนไฮไดรด์

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของแข็งสีขาว กลิ่นฉุน สังเคราะห์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ของออร์โทไซลีน (o-xylene) กับออกซิเจนที่ภาวะอุณหภูมิ 375-435 องศาเซลเซียส ความดัน 0.7 บาร์ โดยมีแวเนเดียมเพนทอกไซด์ (vanadium (V) pentoxide) ร่วมกับไทเทเนียมออกไซด์ (titanium oxide) หรือแอนทิโมนีไทรออกไซด์ (antimony (III) trioxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



ออร์โทไซลีน ออกซิเจน พทาลิกแอนไฮไดรด์ น้ำ

ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอน 4-10 อะตอม เช่น 2-เอทิลเฮกซานอล (2-ethylhexanol) ได้ผลผลิตคือ ไดออกทิลพทาเลต (dioctylphthalate) ซึ่งเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกสำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride)



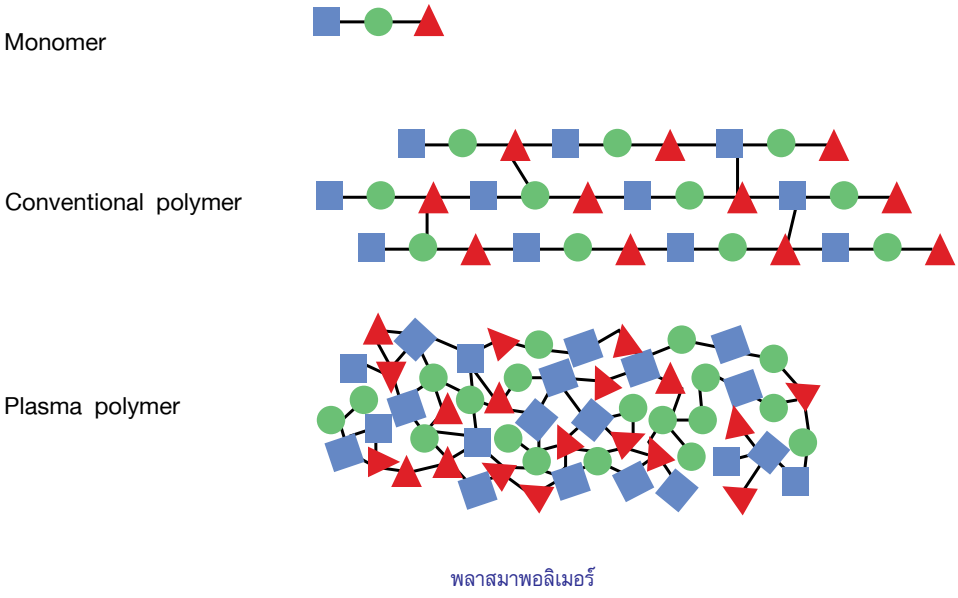
พทาลิกแอนไฮไดรด์ 2-เอทิลเฮกซานอล ไดออกทิลพทาเลต



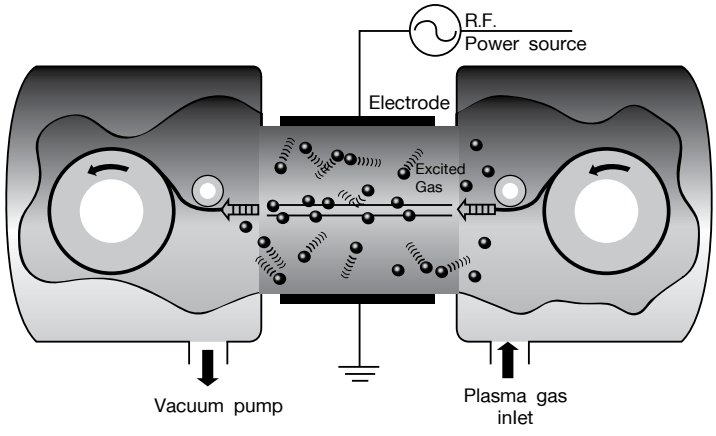
พทาลิกแอนไฮไดรด์

**plasma polymerization การเกิดพอลิเมอร์ด้วยพลาสมา**

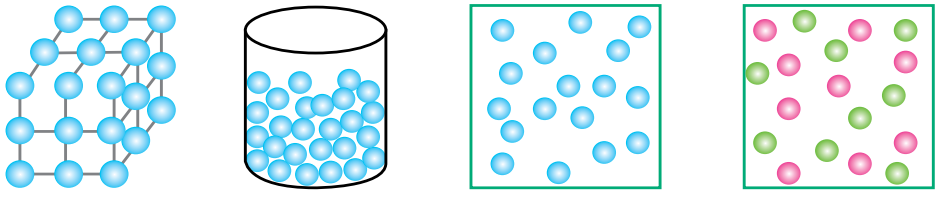
การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยใช้พลาสมา ใช้กระแสไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงมาก หรือในบางกรณีอาจใช้ความร้อนหรือให้ความถี่วิทยุที่เหมาะสม ทำให้มอนอเมอร์เปลี่ยนสถานะไปเป็นพลาสมา (plasma state) ซึ่งอาจเป็นประจุไอออนนิกหรือเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) แล้วเริ่มเกิดเป็นพอลิเมอร์ต่อไป ใช้กันมากในอุตสาหกรรมเคลือบผิวหน้าวัสดุ ทำให้สารเคลือบมีความแข็งแรงมากขึ้น และการผลิตพอลิเมอร์แบบฟิล์มบาง (thin-film polymer) เช่น ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มบาง (thin-film capacitors) ฟิล์มลดการสะท้อนแสง (antireflection film) เป็นต้น




พลาสมาพอลิเมอร์



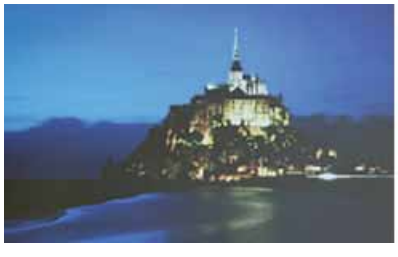

แผนภาพเครื่องมืออย่างง่ายสำหรับกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ด้วยพลาสมา







แผนภาพแสดงการเปลี่ยนสถานะของสสาร



ภาพจากฟิล์มปกติ



ภาพจากฟิล์มลดพลังสะท้อน



ฟิล์มลดการสะท้อนแสง

**plastic พลาสติก**

พอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการขึ้นรูปและเกิดการคงรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในลักษณะชนิดต่างๆ ตามความต้องการ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ พลาสติกแข็ง (rigid plastic) และพลาสติกยืดหยุ่น (flexible plastic) ซึ่งเป็นการแบ่งตามคุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติก นอกจากนี้ก็ยังสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการเกิดพอลิเมอร์ เช่น เทอร์มอพลาสติก (thermoplastic) และเทอร์มอเซตพลาสติก (ดู thermoset plastic) หรือแบ่งตามลักษณะการนำไปประยุกต์ใช้งาน เช่น พลาสติกโภคภัณฑ์ (commodity plastic) และพลาสติกเชิงวิศวกรรม (engineering plastic) เป็นต้น



เม็ดพลาสติก



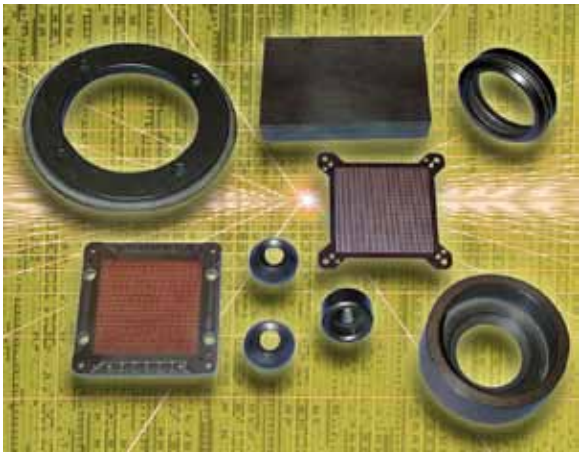
การใช้พลาสติกทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ



การใช้พลาสติกทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ



ผลิตภัณฑ์พลาสติกเชิงวิศวกรรม



ผลิตภัณฑ์พลาสติกเชิงวิศวกรรม



ผลิตภัณฑ์พลาสติกเชิงวิศวกรรม



ชิ้นส่วนต่างๆ ในรถยนต์



การนำพลาสติกมาขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนประตูรถยนต์

**plasticized polyvinyl chloride (pPVC) พอลิไวนิลคลอไรด์เติมสารเสริมสภาพพลาสติก (พีพีวีซี)**

พีวีซีที่เติมสารเสริมสภาพพลาสติก ซึ่งเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพื่อลดอุณหภูมิในกระบวนการผลิต ได้พอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้น อุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วและอุณหภูมิหลอมเหลวลดลง สารเสริมสภาพพลาสติกสำหรับพีวีซี เช่น ไดออกทิลพทาเลต (dioctyl phthalate) ไดไอโซออกทิลพทาเลต (di-iso-octyl phthalate) และไดบิวทิลพทาเลต (dibutyl phthalate) ใช้ผลิตท่อที่มีความยืดหยุ่น เสื่อปูพื้น ท่อน้ำสำหรับงานสวน และขวด



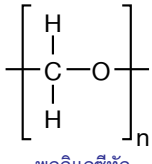
ท่อพีพีวีซี



ท่อยางรดน้ำในสวนทำจากพีพีวีซี

**polyacetal, polyoxymethylene (POM) พอลิแอซีทัล, พอลิออกซีเมทิลีน (พีโอเอ็ม)**

เทอร์มอพลาสติกวิศวกรรม สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของฟอร์มัลดีไฮด์ (ดู formaldehyde) มีความเป็นผลึกสูงจุดหลอมเหลวที่ประมาณ 180 องศาเซลเซียส ลักษณะเฉพาะคือ มีความแข็งแรง (strength) ความแข็งตึง (stiffness) ความต้านทานการคืบ (creep) มีขนาดคงที่เหนียว ต้านทานความล้า (fatigue) ตัวทำละลาย เชื้อเพลิง การขัดถู การกัดกร่อนและการเสียดสี มีความว่องไวต่อกรดเข้มข้น ด่าง และตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) นิยมใช้เป็นวัสดุแทนเหล็กกล้า ทองเหลือง ทองสัมฤทธิ์ ทองแดง และอะลูมิเนียม มีแรงเสียดทานต่ำจึงนำมาทำเป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมโครงสร้างในยานยนต์ ส่วนประกอบของกาต้มน้ำไฟฟ้าและเหยือกน้ำ ใช้ทำด้ามมีด โดยเฉพาะมีดพกพา ส่วนประกอบของเครื่องดนตรี เช่น ขลุ่ย ปี่ แผ่นดีดกีต้าร์ รวมทั้งใช้ทำสนับเข่าและถุงมือในกีฬาประเภทรถแข่ง




พอลิแอซีทัล



มีดทำครัว



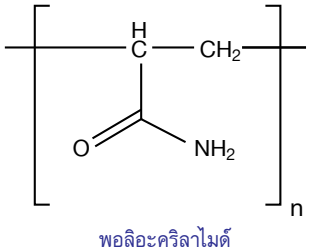
มีดพก



กาต้มน้ำไฟฟ้า

**poly(acrylamide) พอลิอะคริลาไมด์**

พอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ แต่ไม่แตกตัว (non-ionic water soluble polymer) สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบเติม (ดู addition polymerization) ของอะคริลาไมด์ (ดู acrylamide) มีสีขาว สามารถละลายได้อย่างรวดเร็วในน้ำเย็นและสามารถละลายได้ในตัวทำละลายมีขั้วบางอย่าง เช่น กลีเซอรอล (glycerol) เอทิลีนไกลคอล (ดู ethylene glycol) และฟอร์มาไมด์ (formamide) แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด (thickener) สารช่วยแขวนลอย (suspending agent) หรือส่วนผสมในกาว สารเติมแต่งในเครื่องสำอาง เป็นพอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการดูดซับมาก (superabsorbent) ใช้บำบัดน้ำ และผลิตกระดาษ




พอลิอะคริลาไมด์



พอลิอะคริลาไมด์



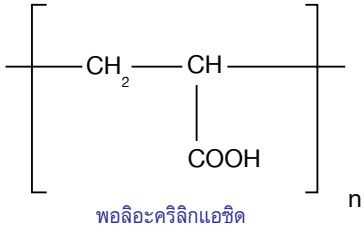
พอลิอะคริลาไมด์อิมัลชัน

**polyacrylate acrylic rubber (ACM) ยางพอลิอะคริเลตอะคริลิก (เอซีเอ็ม)**

ยางอะคริลิกสังเคราะห์ได้ทั้งจากการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (ดู emulsion polymerization) และแบบแขวนลอยของอะคริลิกเอสเทอร์ เช่น เอทิลบิวทิล และ/หรือเมทอกซีเอทิลแอซีเทต เกิดเป็นพอลิเมอร์ของเอทิลแอซีเทต และพอลิเมอร์ร่วมของเอทิล บิวทิล และเมทอกซีแอซีเทต พอลิอะคริเลตสามารถบ่มด้วยกำมะถันหรือโลหะคาร์บอกซิเลต โดยใช้มอนอเมอร์ที่มีคลอรีนเพื่อทำให้สามารถเชื่อมขวางตาข่ายได้ ยางพอลิอะคริเลต เช่น เอครอน (Acron™) มีสมบัติต้านทานความร้อนและน้ำมัน เมื่อเทียบกับยางไนไทรล์และยางซิลิโคน สามารถคงสมบัติได้ในน้ำมันร้อนและน้ำมันเครื่องยนต์ ต้านทานความอ่อนตัวหรือการแตกร้าวเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์ร่วมยังคงความยืดหยุ่นแม้ที่อุณหภูมิต่ำลงถึง 40 องศาเซลเซียส มีความต้านทานน้ำมัน ความร้อน และโอโซนได้ดีกว่ายางไนไทรล์ และยางไนไทรล์ใช้งานได้ไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำ ทนแสงแดดดี ปะเก็นและกันรั่วสำหรับอุปกรณ์ยานยนต์ที่ทำงานในน้ำมันร้อนเป็นตลาดหลักของยางชนิดนี้

**poly(acrylic acid) (PAA) พอลิอะคริลิกแอซิด (พีเอเอ)**

พอลิเมอร์ของกรดอะคริลิก สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของกรดอะคริลิก สามารถละลายในน้ำได้ดี ใช้เป็นสารเคลือบเส้นด้ายก่อนนำเส้นด้ายมาผ่านกระบวนการทอ (sizing agent) ในการผลิตไนลอนหรือวัตถุสิ่งทอสังเคราะห์อื่นๆ และยังใช้ทำสารเคลือบ (coatings) น้ำยาขัดเงา (floor polish) น้ำหมึก (ink) ตัวกระจาย (dispersant) กาว (adhesive) วัสดุอุดกันรั่ว (caulk)




พอลิอะคริลิกแอซิด



พีเอเอใช้ทำวัสดุอุดผิว



พีเอเอใช้ทำวัสดุอุดผิว

**polyacrylic plastic, acrylic plastic, acrylic polymer, acrylic resin พอลิอะคริลิกพลาสติก, อะคริลิกพลาสติก, อะคริลิกพอลิเมอร์, อะคริลิกเรซิน**

พลาสติกที่มีหมู่อะคริลิกอยู่ในโครงสร้าง รวมไปถึงพอลิเมอร์ร่วมของกรดอะคริลิก กรดเมทาคริลิก เอสเทอร์ของกรดเหล่านี้หรืออะคริโลไนไทรล์ ตัวอย่างของพอลิอะคริลิกพลาสติกที่พบบ่อยคือ พอลิเมทิลเมทาคริเลต อะคริลิกพลาสติกมีสมบัติทางแสงที่ดี ใส (clarity) ต้านทานการเปลี่ยนสี (resistance to discolorization) และแสงส่องผ่านลดลง (loss of light transmission) ต้านทานสภาพอากาศได้ดี ส่วนใหญ่นำไปใช้ทำโคมไฟ อุปกรณ์ประกอบไฟรถยนต์ เลนส์ ฟันปลอม กระจกบังลม และดุมพวงมาลัย (steering wheel boss)

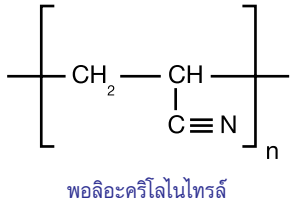


โคมไฟ



ดุมพวงมาลัยรถยนต์

**poly(acrylonitrile) (PAN) พอลิอะคริโลไนไทรล์ (พีเอเอ็น)** เทอร์มอพลาสติกที่มีขั้ว สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ (free radical polymerization) หรือใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแอนไอออน (anionic initiator) ของอะคริโลไนไทรล์มอนอเมอร์ มีสมบัติต้านทานตัวทำละลายได้ดี มีความแข็งเปราะสูงและก๊าซซึมผ่านได้ยาก โดยเฉพาะก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เผาไหม้ช้า พอลิอะคริโลไนไทรล์ที่บริสุทธิ์จะละลายและสลายตัว (decompose) ก่อนถึงจุดหลอมเหลว ทำให้ขึ้นรูปยาก แต่พอลิเมอร์ร่วมระหว่างอะคริโลไนไทรล์มอนอเมอร์กับไวนิลิดีนคลอไรด์ (vinylidene) หรือสไตรีน (ดู styrene) สามารถละลายได้ในตัวทำละลาย เช่น เมทิลเอทิลคีโทน (ดู methyl ethyl ketone) ไดออกเซน (dioxane) แอซีโทน (ดู acetone) ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (dimethyl formamide) ส่วนใหญ่ใช้เป็นเส้นใยด้วยเทคนิคการปั่น (spinning technique) ทั้งแบบแห้งและแบบเปียก โดยใช้ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (dimethyl formamide) และเททระเมทิลีนซัลโฟน (tetramethylene sulphone) เป็นตัวทำละลาย ใช้พอลิเมอร์เอกพันธุ์เป็นเส้นใยสำหรับผลิตวัสดุกลางแจ้ง เช่น กระโจมกลางแจ้ง (outdoor awnings) ผ้าใบเรือ หรือเส้นใยเสริมคอนกรีต (fiber reinforced concrete) ใช้พอลิเมอร์ร่วมเป็นเส้นใยสำหรับเสื้อผ้า ไหมพรม เช่น ถุงเท้าและเสื้อกันหนาว นอกจากนี้ ยังใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber)




พอลิอะคริโลไนไทรล์



เส้นใยสำหรับเสื้อผ้า ไหมพรม



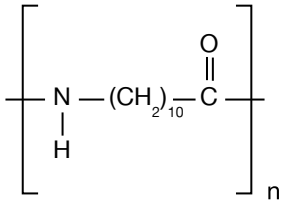
ผ้าใบเรือทำด้วยพอลิอะคริโลไนไทรล์

**polyacrylonitrile fiber, PAN fiber, acrylic fiber เส้นใยพอลิอะคริโลไนไทรล์, เส้นใยพีเอเอ็น, เส้นใยอะคริลิก**
เส้นใยเทอร์มอพลาสติกพอลิเมอร์ร่วมระหว่างอะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile) กับมอนอเมอร์ชนิดอื่น ตัวอย่างมอนอเมอร์ร่วม เช่น ไวนิลแอซีเทต (ดู vinyl acetate) ไวนิลไพโรลิโดน (vinyl pyrolidone) และไวนิลเอสเทอร์ (vinyl ester) โดยทั่วไปจะมีปริมาณอะคริโลไนไทรล์มอนอเมอร์อย่างน้อยร้อยละ 85 พอลิเมอร์ร่วมเหล่านี้สามารถย้อมสีได้ด้วยสีย้อมปกติ เส้นใยพอลิอะคริโลไนไทรล์มีสมบัติทนการขัดถูได้ดี (abrasion resistance) มีความเหนียว (toughness) ความแข็งแรงสูง (strength) และสามารถต้านทานคราบสกปรกและน้ำได้ดี ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมผ้า



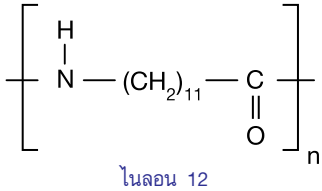
เส้นใยพอลิอะคริโลไนไทรล์

**polyamide 11, nylon 11 พอลิเอไมด์ 11, ไนลอน 11**
เทอร์มอพลาสติกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของกรด 11-แอมิโนอันเดกคาโนอิก (11-aminoundecanoic acid) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำมันละหุ่ง (castor oil) มีสมบัติทนแรงกระแทกได้ดี มีความแข็ง และความต้านทานการขัดถู (abrasion resistance) มีการคงสภาพเชิงมิติ (dimensional stability) ดูดความชื้นต่ำ (water absorption) มีสมบัติเชิงกลและอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำกว่าพอลิเอไมด์ 6,6 (ดู polyamide 6,6) นิยมนำมาใช้ทำแผ่นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ (packaging film)

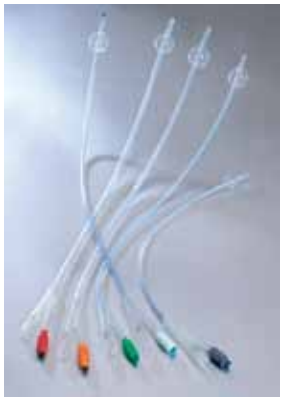



พอลิเอไมด์ 11

**polyamide 12, nylon 12, polylauryllactam พอลิเอไมด์ 12, ไนลอน 12, พอลิลอริกแลกแทม**
เทอร์มอพลาสติกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของลอริกแลกแทมหรือโดเดกคาโนอิกแลกแทม (lauriclactam, dodecanoic lactam) หรือไซโคลโดเดกดาแลกแทม (cyclododecalactam) ที่มีหมู่เมทิลีน 11 หมู่ ระหว่างพันธะของ –CONH– ในสายโซ่พอลิเมอร์ สมบัติเชิงกลอยู่ระหว่างไนลอนทั่วไปกับพอลิเอทิลีน เมื่อเปรียบเทียบกับไนลอนชนิดอื่นๆ ไนลอน 12 มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้น้อยที่สุด (ประมาณร้อยละ 1.5) และมีความหนาแน่นน้อยที่สุด (1.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ เช่น เชือกเคเบิล (cable ties) ฉนวนสายไฟ (wire insulation) สายยางยืดหยุ่นดัดงอได้ (flexible hosing) หัวฉีด (nozzle) ล้อเฟือง (damping cogwheel) ปะเก็น (sheet gasket) แหวนกันรั่ว (sealing ring) หลอดสวนทางการแพทย์ (medical catheter) และรองเท้าสกี (ski boots)




ไนลอน 12

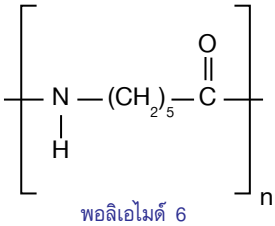


อุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ผลิตจากไนลอน 12



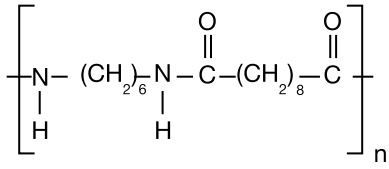
แหวนกันรั่ว

**polyamide 6, nylon 6 พอลิเอไมด์ 6, ไนลอน 6** เทอร์มอพลาสติกประเภทแอลิเฟทิกพอลิเอไมด์ สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของคาโพรแลกแทม (ดู caprolactam) มีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอไมด์ 6,6 (ดู polyamide 6,6) แต่อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำกว่า (ประมาณ 255 องศาเซลเซียส) การใช้ประโยชน์เช่นเดียวกับพอลิเอไมด์ 6,6



พอลิเอไมด์ 6

**polyamide 6,10, nylon 6,10 พอลิเอไมด์ 6,10, ไนลอน 6,10** เทอร์มอพลาสติกประเภทแอลิเฟทิกพอลิเอไมด์ สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของกรดซีบาซิก (sebacic acid) และเฮกซะเมทิลีนไดเอมีน (hexamethylene diamine) อุณหภูมิหลอมเหลวประมาณ 215 องศาเซลเซียส ดูดความชื้นได้น้อยกว่าพอลิเอไมด์ 6,6 (ดู polyamide 6,6) มีการคงสภาพเชิงมิติ (dimensional stability) ใช้ผลิตเป็นขนแปรง (filaments for brush) ฉนวนไฟฟ้า (electrical insulator)



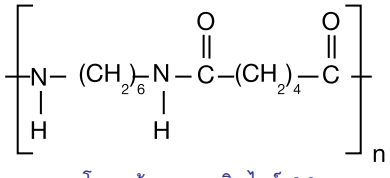
พอลิเอไมด์ 6,10





ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากไนลอน 6,10

**polyamide 6,6, nylon 6,6 พอลิเอไมด์ 6,6, ไนลอน 6,6** เทอร์มอพลาสติกประเภทแอลิเฟทิกพอลิเอไมด์ สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของกรดอะดิพิก (adipic acid) และเฮกซะเมทิลีนไดเอมีน (hexamethylene diamine) มีความแข็งแรงสูง ความเหนียว (toughness) และความต้านทานการขัดถู (abrasion resistance) และมีสมบัติเป็นสารหล่อลื่นในตัว (self-lubricating) อุณหภูมิหลอมเหลวสูงประมาณ 265 องศาเซลเซียส นำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในรูปของเส้นใย (fiber) เพื่อใช้ผลิตพรม (carpet) เครื่องนุ่งห่ม สายยางอ่อน (hose) สารเสริมแรงในสายพาน (belt reinforcement) ส่วนประกอบของยางรถยนต์ (tire cord) และนำไปผลิตชิ้นงานวิศวกรรมในงานขึ้นรูปต่างๆ เช่น เฟือง (gear) แบริง (bearing) เป็นต้น



สูตรโครงสร้างของพอลิเอไมด์ 6,6



เป้ใส่ของ



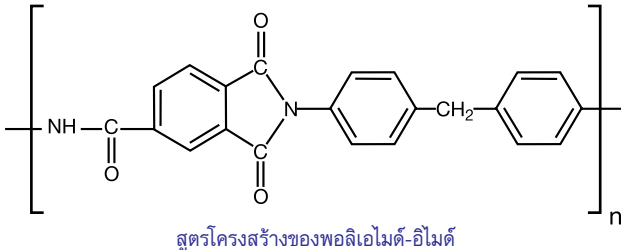
ฟันเฟืองเครื่องกล



เครื่องแต่งกาย

**polyamide, nylon (PA) พอลิเอไมด์, ไนลอน (พีเอ)**
เทอร์มอพลาสติกวิศวกรรม (engineering thermoplastic) สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น (condensation polymerization) ของสารประกอบไดเอมีน (diamine) และไดแอซิด (diacid) เชื่อมต่อกันเกิดด้วยพันธะเอไมด์ (amide bond, -CONH-) ตัวอย่างเช่น พอลิเอไมด์ 6,6 หรือไนลอน 6,6 (ดู polyamide 6,6) พอลิเอไมด์ 6,10 หรือไนลอน 6,10 (ดู polyamide 6,10) พอลิเอไมด์ 6,12 หรือไนลอน 6,12 หรือสังเคราะห์จากปฏิกิริยาแบบเติม (addition reaction) ของสารประกอบวงแหวน (ring compound) ที่มีทั้งหมู่เอมีนและหมู่กรด ตัวอย่างเช่น พอลิเอไมด์ 6 หรือไนลอน 6 (ดู polyamide 6) พอลิเอไมด์ 11 หรือไนลอน 11 (ดู polyamide 11) และพอลิเอไมด์ 12 หรือไนลอน 12 (ดู polyamide 12) การเรียกชื่อพอลิเอไมด์ต่างกันขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมคาร์บอนในมอนอเมอร์ (ดู monomer) ซึ่งมีผลต่อสมบัติของพอลิเอไมด์ด้วย เป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (semi-crystalline polymer) สมบัติทั่วไป คือ สมบัติเชิงกลดี ทนแรงกระแทก (impact resistance) มีความแข็งแรง มอดุลัสการดึงสูง (tensile modulus) สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ (friction coefficient) ทนการขัดถู (abrasion resistance) มีความต้านทานไฟฟ้าดี ไม่ละลายในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนและแอโรแมติกส์ แต่สามารถละลายในกรดฟอร์มิก (formic acid) ปกติไนลอนจะดูดความชื้นได้ดีเนื่องจากมีพันธะเอไมด์ที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) กับโมเลกุลของน้ำ ส่งผลกระทบต่อสมบัติของพอลิเอไมด์เมื่อนำไปใช้งาน

**poly(amide-imide) (PAI) พอลิเอไมด์-อิไมด์ (พีเอไอ)**
เทอร์มอพลาสติกอสัณฐาน สังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างไทรเมลลิทิกไทรคลอไรด์ (trimellitic trichloride) และเมทิลีน-ไดแอนิลีน (methylenedianilene) มีความต้านทานความร้อน (temperature resistance) มีสมบัติเชิงกลดี มีความแข็งตึง (stiffness) และความต้านทานการคืบ (creep) มีสมบัติเป็นสารหน่วงไฟ (flame retardant) และมีเขม่าควันน้อยเมื่อเผาไหม้ มีความต้านทานสารเคมี แต่ไม่ทนกรด ด่าง และไอน้ำที่อุณหภูมิสูง สมบัติต้านการสึกหรอและการเสียดทานดี (wear and friction properties) มีความต้านทานการฉายรังสี (radiation resistance) มีอุณหภูมิแปรสภาพแก้วสูง (glass transition temperature) คือ 270-285 องศาเซลเซียส ใช้เป็นส่วนประกอบเชิงกลอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนประกอบเครื่องจักร เครื่องประกับเพลาไฮดรอลิก (hydraulic bushing) และแผ่นกันรั่ว (seal) ใช้เป็นแผ่นอัดประกบ (laminated resin) สำหรับใช้ในยานอวกาศ นอกจากนี้ยังนำไปใช้เป็นยาขัดเงาอุปกรณ์เครื่องครัว และเคลือบสายไฟ




สูตรโครงสร้างของพอลิเอไมด์-อิไมด์



แผ่นอัดประกบในยานอวกาศ

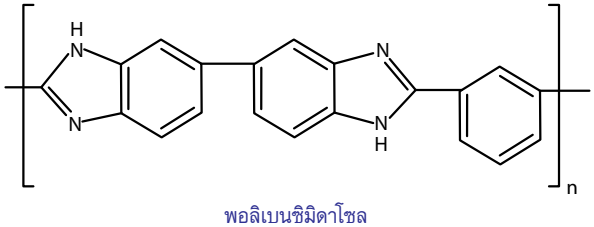
**polyaryl ether (PAE) พอลิแอริลอีเทอร์ (พีเออี)**
เทอร์มอพลาสติกพอลิเมอร์วิศวกรรมที่สังเคราะห์จากการเกิดพอลิเมอร์ของอะคริลอน (acrylon) มีอุณหภูมิโก่งตัวด้วยความร้อนและความต้านทานสารเคมีสูง ต้านทานสารละลายอินทรีย์ยกเว้นคลอริเนตเทดแอโรแมติก เอสเทอร์ และคีโทน นอกจากนี้ยังต้านทานการแยกสลายด้วยน้ำ โดยสามารถทนการแตกสลายได้นานในน้ำเดือดและยังมีสมบัติด้านการไหลดีเยี่ยม นำไปใช้กับส่วนที่มีความซับซ้อน เช่น ผนังที่มีความบางได้ ตลาดส่วนใหญ่ของพีเออีใช้เป็นส่วนประกอบในชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องยนต์ รถที่ใช้วิ่งบนหิมะ วาล์ว ท่อประปา

**polyaryl sulfone (PAS) พอลิแอริลซัลโฟน (พีเอเอส)**
เทอร์มอพลาสติกที่ต่างจากพอลิซัลโฟนชนิดอื่นคือ ไม่มีหมู่แอลิเฟทิกส์ (ดู aliphatics) ในสายโซ่ ทำให้มีเสถียรภาพต่อการเกิดออกซิเดชันดีเยี่ยม (oxidative stability) เนื่องจากหมู่แอลิเฟทิกส์แตกสลายจากออกซิเดชันได้ว่องไว พอลิแอริลซัลโฟนมีความแข็งตึง แข็งแรง และเหนียว รวมทั้งมีความต้านทานสารเคมีต่างๆ เช่น เชื้อเพลิง สารหล่อลื่น (lubricant) สารทำความสะอาด (cleaning agent) และของไหลไฮดรอลิก (hydraulic fluid) แต่สามารถละลายได้ในเมทิลีนคลอไรด์ (methylene chloride) ไดเมทิลอะเซทาไมด์ (dimethyl acetamide) และไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (dimethyl formamide) อุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (glass transition temperature) 210 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิการโก่งตัวด้วยความร้อน (heat-deflection temperature) 250 องศาเซลเซียสที่ 1.82 เมกกะปาสคาล (MPa) มีเสถียรภาพต่อการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolytic stability) ใช้งานทางไฟฟ้าสำหรับทำส่วนประกอบของมอเตอร์ ตัวเชื่อมต่อ และส่วนประกอบของโคมไฟ



มอเตอร์ไฟฟ้า

**polybenzimidazole (PBI) พอลิเบนซิมิดาโซล (พีบีไอ)**
เทอร์มอพลาสติกแบบอสัณฐาน สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบขั้นของ 3,3',4,4'เททราอะมิโนไบเฟนิล (3,3',4,4'tetraaminobiphenyl) และไดเฟนิลไอโซทาเลต (diphenyl isophthalate) มีจุดหลอมเหลวสูง มีความต้านทานต่ออุณหภูมิสูง เสถียรต่อความร้อน ทนสารเคมี และไม่ติดไฟ ปล่อยก๊าซพิษน้อยและไม่หลอมเหลวเมื่ออยู่ในภาวะแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis condition) มีความเหนียวที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ยังมีสมบัติที่ทนการเสียดสีได้ดี มีความทนแรงอัด (compressive strength) และมีความแข็งที่พื้นผิวสูง (surface hardness) ส่วนใหญ่ใช้งานในรูปของเส้นใย เช่น ผลิตเสื้อผ้าชนิดพิเศษ เช่น ชุดดับเพลิง ชุดนักบินอวกาศ ถุงมือป้องกันความร้อนสูง ชุดช่างเชื่อม ชุดนักแข่งรถ และอุปกรณ์ตกแต่งภายในเครื่องบิน เป็นต้น




พอลิเบนซิมิดาโซล



ชุดนักบินอวกาศ



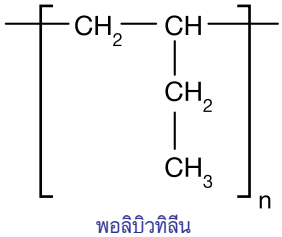
ถุงมือป้องกันความร้อนสูง



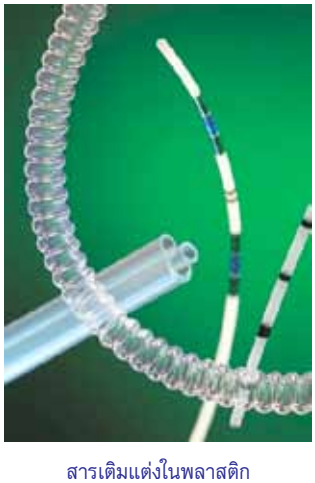
ชุดนักแข่งรถ

**poly(butene), poly(butylene) (PB) พอลิบิวทีน, พอลิบิวทิลีน (พีบี)**

เทอร์มอพลาสติก สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของ 1-บิวทีน (ดู 1-butene) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา (Ziegler-Natta catalyst) มีอุณหภูมิแปรสภาพแก้วที่ -17 ถึง 25 องศาเซลเซียส พอลิบิวทิลีนเชิงเส้นมีความต้านทานการคืบที่อุณหภูมิสูง มีความต้านทานการแตกหักเนื่องจากความเค้นในสภาพแวดล้อม (environmental stress cracking resistance) ทนแรงกระแทกสูง (impact strength) มีความต้านทานการฉีกขาด (tear resistance) มีความต้านทานการเจาะเป็นรู (puncture resistance) มีความต้านทานสารเคมีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส แต่ละลายในตัวทำละลายที่อุณหภูมิสูงขึ้น เช่น ทอลิวอีน (ดู toluene) เดคาลิน (decalin) คลอโรฟอร์ม และสารออกซิไดซ์ เป็นต้น มีสมบัติกันความชื้นได้ดีและเป็นฉนวนไฟฟ้า นิยมนำไปใช้ทำท่อประปา และเนื่องจากมีสมบัติในการต้านทานการคืบ จึงนำมาใช้ทำท่อผนังบาง (thinner wall pipe) และทำท่อสำหรับขนส่งของไหลที่เป็นสารขัดถู (abrasive fluids) ใช้ทำกาวร้อน สารเติมแต่งในพลาสติก และใช้ทำบรรจุภัณฑ์




พอลิบิวทิลีน



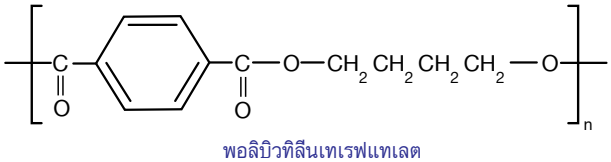
สารเติมแต่งในพลาสติก



แท่งกาวร้อน

**polybutylene terephthalate (PBT) พอลิบิวทิลีนเทเรฟแทเลต (พีบีที)**

เทอร์มอพลาสติกวิศวกรรม (engineering thermoplastic) สังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างกรดเทเรฟแทลิก (ดู terephthalic acid) และบิวเทน 1,4-ไดออล (butane 1,4-diol) เนื่องจากมีหมู่เมทิลีน 4 หมู่ซ้ำกันในสายโซ่ ทำให้สายโซ่มีความยืดหยุ่น สามารถดัดงอได้ง่าย และความมีขั้วของโมเลกุลลดลง ทำให้มีคุณสมบัติเชิงกลคล้ายพีอีทีคือ มีความแข็งแรง (strength) ความแข็งตึง (stiffness) และความแข็ง (hardness) มีการคงสภาพเชิงมิติ (dimensional stability) โดยเฉพาะในน้ำ และมีความต้านทานน้ำมันไฮโดรคาร์บอน นิยมใช้ผลิตตัวเรือนของปั๊ม (pump housing) ใบพัด (impeller) แบริง (bearing) บุชชิง (bushing) ฟันเฟือง (gear wheel) และยังใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ทำตัวเชื่อมต่อคอยล์ (coil) หลอดสายไฟ (bobbin) เต้ารับ (light sockets) กล่องใส่ฟิวส์ (fuse holder) และส่วนประกอบของมอเตอร์ (motor part) นอกจากนั้น ยังนิยมนำพีบีทีผสมกับเอเอสเอหรืออะคริลิก-สไตรีน-อะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylic-styrene-acrylonitrile) เพื่อผลิตชิ้นส่วนตกแต่งภายนอกรถยนต์




พอลิบิวทิลีนเทเรฟแทเลต





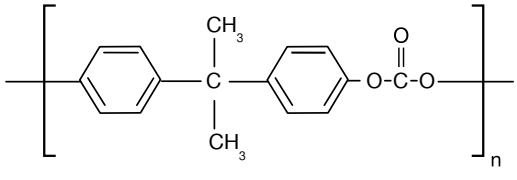
ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิบิวทิลีนเทเรฟแทเลต



อุปกรณ์ประดับยนต์

**polycarbonate (PC) พอลิคาร์บอเนต (พีซี)**

เทอร์มอพลาสติกวิศวกรรมแบบอสัณฐาน สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยา 2 ชนิดคือ ปฏิกิริยาระหว่างบิสฟีนอลเอและฟอสจีน (ดู phosgene) หรือปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) ของบิสฟีนอลเอ (ดู biphenol-A) และไดเฟนิลคาร์บอเนต (diphenyl carbonate) ที่อุณหภูมิสูง ได้พอลิคาร์บอเนตที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 30,000-50,000 แต่การสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาแรกได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า พอลิคาร์บอเนตมีลักษณะโปร่งแสง (transparency) มีความแข็งแรงสูง (high strength) แต่แตกเปราะง่าย (brittle) ความต้านทานความร้อนสูง (heat resistance) ความต้านทานไฟฟ้าดีมาก (electrical resistance) อุณหภูมิโก่งตัวด้วยความร้อนสูง (heat-deflection temperatures) ไม่ทนสารเคมีจำพวกแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) เช่น เบนซีน (ดู benzene) ทอลิวอีน (ดู toluene) และไซลีน (ดู xylene) มีความทนทานแต่เกิดจุดอ่อนที่รอยบากบนพื้นผิว (weakness to notches) การเชื่อมต่อของหมู่อีเทอร์บนสายโซ่หลักทำให้สายโซ่หมุนและโค้งงอ ทำให้มีสมบัติทนทานต่อแรงกระแทกสูง นอกจากนี้ ลักษณะของสายโซ่ที่ยาวและพันเกี่ยวกันทำให้พอลิคาร์บอเนตมีความเหนียว (toughness) มักใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทสื่อดิจิทัลกันแพร่หลาย เช่น จานบันทึกเสียง/ภาพ (CD/DVD disc) อุปกรณ์เครื่องไฟฟ้าต่างๆ ในรถยนต์ แผ่นกระจกที่ใช้ในงานก่อสร้าง อุปกรณ์นิรภัยที่ใช้ในการเล่นกีฬา (sport safety equipment) อุปกรณ์ทางการแพทย์ (medical device) หมวกนิรภัย (safety helmet) โล่กำบังที่ใช้ควบคุมฝูงชนในการชุมนุมหรือจลาจล (riot shield) กรอบโคมสัญญาณไฟจราจร กล่องแบตเตอรีรถยนต์ มีความทนทาน (durability) ต้านทานการแตกละเอียด (shatter-resistance) ทนความร้อน ทำให้มีการนำมาผลิตเป็นภาชนะต่างๆ (tableware) เช่น ขวดน้ำที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ (reusable bottle) และภาชนะใส่อาหารที่สามารถใช้กับตู้เย็นและไมโครเวฟได้ นอกจากนี้ยังใช้ผสมกับอะคริโลไนไทรล์สไตรีนบิวทาไดอีนหรือเอบีเอส (ดู acrylonitrile-butadiene-styrene) เพื่อปรับปรุงสมบัติให้พอลิเมอร์ร่วมเอบีเอสมีอุณหภูมิโก่งตัวด้วยความร้อนสูง (heat deflection temperature) พอลิคาร์บอเนตยังทนแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ ใช้ทำปลอกหุ้มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกแบบผนังบาง (thin-wall electronic application) เช่น คอมพิวเตอร์พกพา (laptop computer) โดยผสมกับพอลิบิวทิลีนเทเรฟแทเลต (ดู polybutylene terephtharate) เพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิคาร์บอเนตให้มีความต้านทานสารเคมี และทนแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ




พอลิคาร์บอเนต



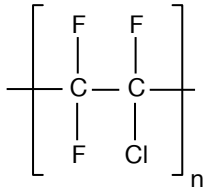
แผ่นกระจกที่ใช้งานก่อสร้างทำจากพอลิคาร์บอเนต



คอมพิวเตอร์พกพา

**poly(chlorotrifluoroethylene) (PCTFE) พอลิคลอโรไทรฟลูออโรเอทิลีน (พีซีทีเอฟอี)**

เทอร์มอพลาสติกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของคลอโรไทรฟลูออโรเอทิลีน (chlorotrifluoroethylene) ที่อะตอมฟลูออรีนหนึ่งอะตอมถูกแทนที่ด้วยอะตอมคลอรีนหนึ่งอะตอม ทำให้โมเลกุลของพอลิเททระฟลูออโรเอทิลีนสูญเสียความสมมาตร ส่งผลให้พอลิคลอโรไทรฟลูออโรเอทิลีน (ดู polytetrafluoroethylene) มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าพอลิเททระฟลูออโรเอทิลีน และสามารถขึ้นรูปได้ง่ายกว่า มีความต้านทานต่ออุณหภูมิได้สูงถึง 200 องศาเซลเซียส มีความต้านทานต่อตัวทำละลายได้ดี แต่บวมตัว (swell) ในตัวทำละลายประเภทแฮโลเจน (halogenated solvent) หรือตัวทำละลายที่มีออกซิเจน สมบัติทางไฟฟ้าไม่ดีเท่ากับพอลิเททระฟลูออโรเอทิลีนแต่มีความแข็งกว่า ความต้านแรงดึงสูงกว่า (tensile strength) สามารถขึ้นรูปได้เช่นเดียวกับเทอร์มอพลาสติก มีราคาแพงกว่าพอลิเททระฟลูออโรเอทิลีน ใช้ทำปะเก็น (gasket) ท่อ (tubing) ฉนวนของสายไฟและเคเบิล รวมทั้งใช้ทำฟิล์มและแผ่นบางที่ไอผ่านได้น้อยมาก



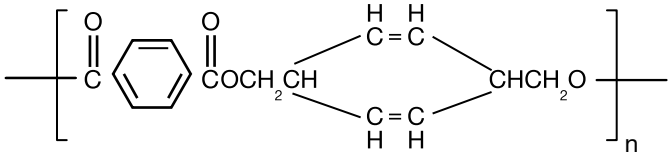

พอลิคลอโรไทรฟลูออโรเอทิลีน



ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิคลอโรไทรฟลูออโรเอทิลีน

**poly(cyclohexylenedimetylene terephthalate) (PCT) พอลิไซโคลเฮกซิลีนไดเมทิลีนเทเรฟแทเลต (พีซีที)**

เทอร์มอพลาสติกสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น ของไดเมทิลเทเรฟแทเลต (ดู dimethyl terephthalate) และ 1,4-ไซโคลเฮกซิลีนไกลคอล (1,4-cyclohexyleneglycol) มีอุณหภูมิโก่งตัวด้วยความร้อนสูง มีการจัดเรียงตัวแบบสองทางเมื่ออยู่ในรูปฟิล์ม ความต้านทานต่อน้ำและสภาพอากาศดี ความต้านทานต่อสารหล่อลื่นในเครื่องยนต์ (engine fluid) และตัวทำละลายอินทรีย์ จึงนำมาใช้ทำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสลับ และอุปกรณ์รับรู้ความดัน (pressure sensor) พอลิเมอร์ร่วมของพีซีที เช่น พีซีทีเอ ซึ่งเป็นพอลิเอสเทอร์ที่ปรับปรุงด้วยกรด (acid-modified polyester) และพีซีทีจี ซึ่งเป็นพอลิเอสเทอร์ที่ปรับปรุงด้วยไกลคอล (glycol-modified polyester) พีซีทีเอมีความใส (clarity) ทนการฉีกขาด (tear strength) และมีความต้านทานสารเคมี จึงมักใช้อัดรีดเป็นฟิล์มและแผ่นสำหรับทำบรรจุภัณฑ์ ส่วนพีซีทีจีเมื่อนำไปขึ้นรูปแบบฉีด (injection-mould) ใช้ในงานด้านการแพทย์และงานที่เกี่ยวข้องกับแสง (optic)



พอลิไซโคลเฮกซิลีนไดเมทิลีนเทเรฟแทเลต

**polyester, polyester thermoplastic พอลิเอสเทอร์, เทอร์มอพลาสติกพอลิเอสเทอร์**

กลุ่มของสารอินทรีย์ที่เรียกว่าพอลิเอสเทอร์ โดยมีพันธะเอสเทอร์ ($-(C=O)-O-$) อยู่ในโครงสร้าง และมีทั้งไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรง (aliphatic) หรือวงแหวนแอโรแมติก (aromatic ring)อยู่ในโครงสร้างด้วย ขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ (ดู monomer) ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ตัวอย่างของพอลิเอสเทอร์ชนิดไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรง เช่น พอลิคาโพรแลกแทม (polycarpolactam)ตัวอย่างพอลิเอสเทอร์ชนิดวงแหวนแอโรแมติก เช่น พอลิบิวทิลีนเทเรฟแทเลต (ดู polybutylene terephthalate) พอลิไซโคลเฮกซิลีนไดเมทิลีนเทเรฟแทเลต (polycyclohexylene dimethylene terephthalate) และพอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลต (ดู polyethylene terephthalate) เป็นต้น

**polyether พอลิอีเทอร์**

กลุ่มของพอลิเมอร์ที่มีพันธะอีเทอร์อยู่ในโครงสร้างของโซ่ มีพอลิไกลคอล (ดู polyglycol) คลอริเนตเทดพอลิอีเทอร์ (ดู chlorinated polyether) และพอลิแอริลอีเทอร์ (ดู polyaryl ether) เป็นกลุ่มหลัก จัดเป็นพอลิเมอร์วิศวกรรมยกเว้นพอลิไกลคอล

**polyether ether ketone (PEEK) พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโทน (พีอีอีเค)**

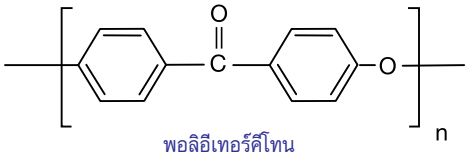
พอลิเมอร์ในกลุ่มพอลิคีโทน (ดู polyketone) ที่มีหมู่อีเทอร์ 2 หมู่อยู่ในโครงสร้าง ความต้านทานความร้อนสูงมาก อุณหภูมิหลอม 334 องศาเซลเซียส อุณหภูมิโก่งตัว 1.8 เมกกะปาสคาลที่ 160 องศาเซลเซียส ความต้านแรงดึง (tensile strength) 91 เมกกะปาสคาล การเติมเส้นใยแก้วเสริมแรงร้อยละ 30 ทำให้อุณหภูมิโก่งตัวเพิ่มขึ้นถึง 300 องศาเซลเซียส และความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นอีกเกือบสองเท่า



พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโทน

**polyether ketone (PEK) พอลิอีเทอร์คีโทน (พีอีเค)**

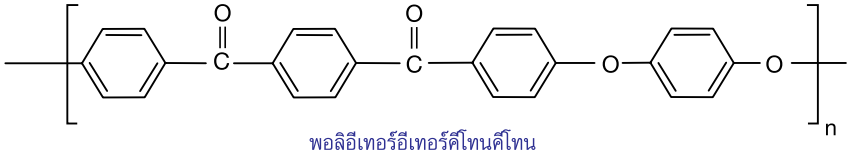
เทอร์มอพลาสติกเรซินที่มีทั้งหมู่อีเทอร์และคีโทนอยู่ในโครงสร้าง จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโทน (ดู polyether ether ketone) อุณหภูมิหลอมประมาณ 365 องศาเซลเซียส มีความต้านทานเปลวไฟ ต้านทานสารเคมีได้ดี (ดู polyketone ประกอบ)




พอลิอีเทอร์คีโทน

**polyetherether ketoneketone (PEEKK) พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโทนคีโทน (พีอีอีเคเค)**

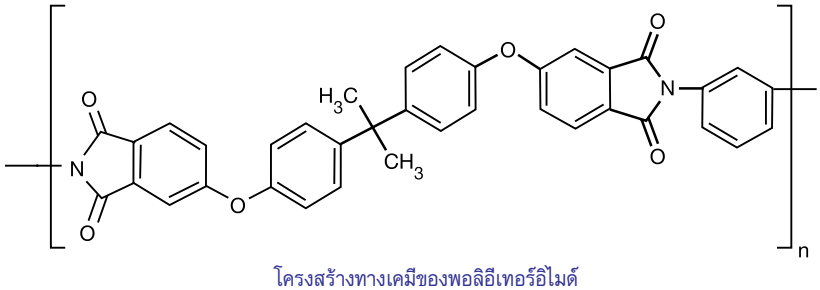
พอลิอีเทอร์คีโทน (ดู polyether ketone) ที่มีพันธะอีเทอร์ 2 หมู่ และคีโทน 2 หมู่อยู่ระหว่างวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) เป็นเทอร์มอพลาสติกในกลุ่มพอลิอีเทอร์คีโทนที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วและอุณหภูมิหลอมสูงที่สุด (ดู polyketone ประกอบ)



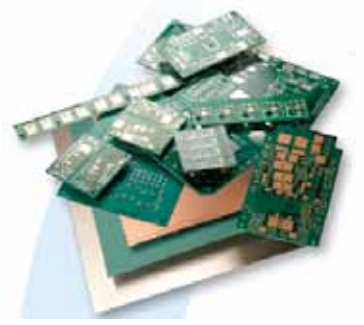

พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโทนคีโทน

**polyetherimide (PEI) พอลิอีเทอร์อิไมด์ (พีอีไอ)**

เทอร์มอพลาสติกอสัณฐาน สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไดเอมีน (diamine) และไดแอนไฮไดรด์ (dianhydride) มีความต้านทานอุณหภูมิสูง (temperature resistance) ทนแรงกระแทก (impact strength) มีความต้านทานการคืบ (creep resistance) มีความแข็งเกร็ง (rigidity) อุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (glass transition temperature) ประมาณ 215 องศาเซลเซียส มีความต้านแรงดึงสูงมาก (tensile strength) มีการคงสภาพเชิงมิติ (dimensional stability) มีลักษณะโปร่งแสงและมีสีอำพันเมื่อแสงส่องผ่าน มีความต้านทานเปลวไฟ (flame resistance) ให้ควันน้อย ทนแอลกอฮอล์ กรด และตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน แต่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายแฮโลเจนบางชนิด ในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ใช้ทำแผ่นวงจรพิมพ์ (printed circuit substrate) เต้ารับเบิร์น-อิน (burn-in sockets) และส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์สำหรับคอมพิวเตอร์ ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ใช้ผลิตเครื่องรับรู้เพื่อบ่งชี้อุณหภูมิ (temperature sensor) ที่ติดตั้งใต้ฝากระโปรงรถ และเต้ารับหลอดไฟ (lamp socket)




โครงสร้างทางเคมีของพอลิอีเทอร์อิไมด์



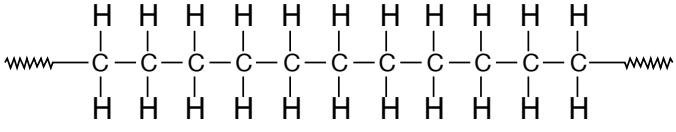
แผงวงจร



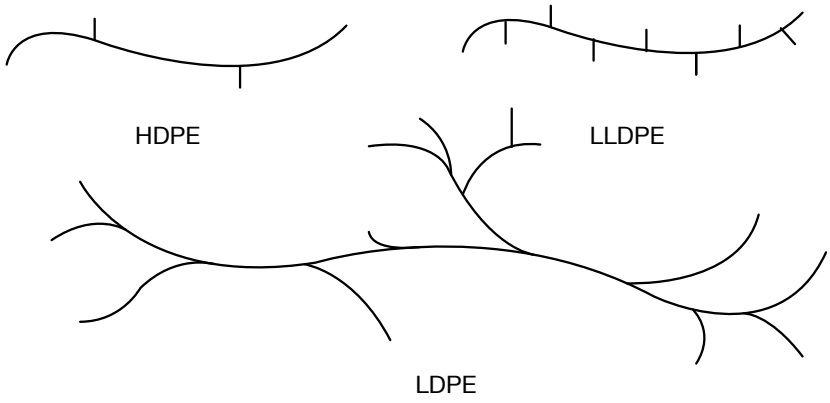
ส่วนประกอบคอมพิวเตอร์

**polyethylene, polyethene (PE) พอลิเอทิลีน, พอลิอีทีน (พีอี)**

พอลิเมอร์ที่ใช้งานทั่วไปหรือพลาสติกโภคภัณฑ์ (commodity polymer) เป็นเทอร์มอพลาสติก (thermoplastic) สังเคราะห์จากเอทิลีนมอนอเมอร์ (ethylene monomer) สมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีนคือ ลักษณะภายนอกมีสีค่อนข้างขาว กึ่งโปร่งแสง (translucent) มีความเหนียวมาก (toughness) สามารถดึงยืดได้ง่าย (ductile) ทนสารเคมี (chemical resistance) ได้ดีเยี่ยม การซึมผ่านไอน้ำต่ำ (water vapor permeability) การดูดซับน้ำต่ำ (water absorption) และที่สำคัญคือ กระบวนการขึ้นรูป (processability) ทำได้ง่าย แต่มีข้อจำกัดบางประการคือ มอดุลัสการดึง (tensile modulus) และอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ จำแนกเป็นหลายชนิดตามความหนาแน่นที่แตกต่างกัน เช่น พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำมาก (very low density polyethylene (VLDPE)) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (ดู low density polyethylene (LDPE)) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (linear low density polyethylene (LLDPE)) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (ดู high density polyethylene (HDPE)) พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ (ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)) เป็นต้น เป็นพอลิเมอร์ที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุดในโลก



พอลิเอทิลีน




แผนภาพแสดงลักษณะสายโซ่พอลิเมอร์ของพอลิเอทิลีน

**polyethylene glycol (PEG) พอลิเอทิลีนไกลคอล (พีอีจี)**

พอลิอีเทอร์ชนิดหนึ่ง (ดู polyether) เป็นเทอร์มอพลาสติกสังเคราะห์จากพอลิเอทิลีนออกไซด์ (polyethylene oxide) มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี มีสมบัติเป็นสารหล่อลื่นและมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางและยา สีน้ำ สารเคลือบกระดาษ (paper coating) กาว (adhesive) น้ำหมึก (ink) สารถอดแบบ (mould releasing agent) มีความเป็นผลึกสูง สามารถดึงยืดได้ง่าย (ductility) ใช้เป็นฟิล์มสำหรับบรรจุภัณฑ์และแคปซูลที่ละลายน้ำได้ (water soluble package and capsule)



พอลิเอทิลีนไกลคอล

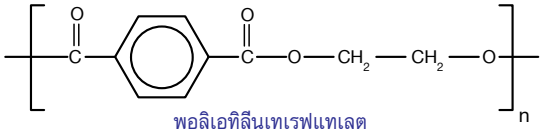

แคปซูล

**polyethylene oxide (PEO), polyoxyethylene (POE) พอลิเอทิลีนออกไซด์ (พีอีโอ), พอลิออกซีเอทิลีน (พีโออี)**

เทอร์มอพลาสติกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของเอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) หรือปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น (condensation polymerization) ของเอทิลีนไกลคอล (ดู ethylene glycol) ถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีลักษณะเป็นของเหลวหนืด นิยมใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางและยา แต่หากมีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะเป็นวัสดุที่มีความเป็นผลึก (crystalline material) อุณหภูมิหลอมเหลวประมาณ 65-67 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงและเหนียวในสภาวะแห้ง ใช้ผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ละลายน้ำได้ (water-soluble packaging)

**polyethylene terephthalate (PET) พอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลต (พีอีที)**

เทอร์มอพลาสติกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไดเมทิลเทเรฟแทเลต (ดู dimethyl terephthalate) และเอทิลีนไกลคอล (ดู ethylene glycol) มีสมบัติกั้นการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี มีความแข็ง โปร่งแสง (translucent) ทนสารเคมี มีการคงสภาพเชิงมิติ มีสมบัติทางไดอิเล็กทริกดี โดยพีอีทีชนิดที่มีการจัดเรียงตัว (oriented PET) จะมีความแข็งแรง มีความเหนียว (toughness) และมีความใส (clarity) ดีขึ้น และทนตัวทำละลายชนิดต่างๆ รวมถึงกรดและด่างได้ดี นิยมผลิตขวดน้ำดื่มและเครื่องดื่ม บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารและยา ขึ้นรูปเป็นเส้นใย



พอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลต

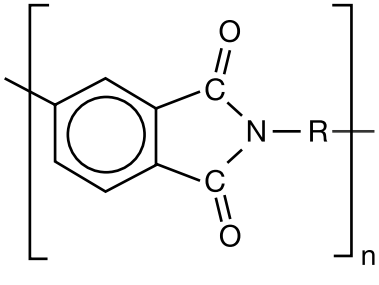

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลต

**polyglycol พอลิไกลคอล**

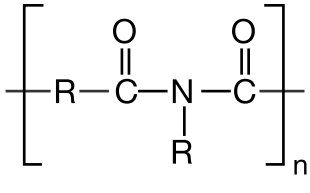
กลุ่มของพอลิอีเทอร์ชนิดหนึ่ง (ดู polyether) สังเคราะห์ได้จากการเกิดพอลิเมอร์ของออกไซด์ต่างๆ ของโอเลฟิน (ดู olefin) เช่น พอลิเอทิลีนไกลคอล (ดู polyethylene glycol) สังเคราะห์จากพอลิเอทิลีนออกไซด์ (polyethylene oxide) พอลิโพรพิลีนไกลคอล (ดู polypropylene glycol) สังเคราะห์จากพอลิโพรพิลีนออกไซด์ เป็นต้น

**polyimide (PI) พอลิอิไมด์ (พีไอ)**

เทอร์มอพลาสติกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น (condensation polymerization) ของไพโรเมเลติก-แอนไฮไดรด์ (pyromelletic anhydride) และไดเอมีนปฐมภูมิ (primary diamine) ใช้เป็นวัสดุแทนโลหะและแก้ว ถ้าใช้สารประกอบที่มีแอโรแมติกไดเอมีน (aromatic diamine) เป็นสารตั้งต้น ได้พอลิเมอร์มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี (thermal stability) มีสมบัติทางกายภาพที่ดีเยี่ยมและสามารถใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง (harsh environment) มีสมบัติดีมากที่อุณหภูมิสูงและมีเสถียรภาพต่อการเกิดออกซิเดชัน ทำให้สามารถใช้งานต่อเนื่องในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูงถึง 260 องศาเซลเซียสได้ เมื่อติดไฟหรือถูกเผาสามารถดับได้เอง ทนกรดอ่อนและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่ไม่ทนด่าง มีสมบัติทางไฟฟ้าดีและมีความต้านทานการฉายรังสี แต่มีข้อเสียบางประการคือ ไม่ต้านทานการแยกสลายด้วยน้ำ ใช้ทำปลอกหุ้มสายไฟ ชิ้นส่วนเครื่องบิน กันรั่วและปะเก็น (seal and gasket) สายไฟที่ยืดหยุ่นดัดงอได้ (flexible wiring) ฉนวนมอเตอร์ไฟฟ้า (electric motor insulation) และแผ่นวงจรพิมพ์ (print circuit board)




โครงสร้างของพอลิอิไมด์ที่มีวงแหวนในโครงสร้าง




โครงสร้างของพอลิอิไมด์ที่เป็นเส้นตรง

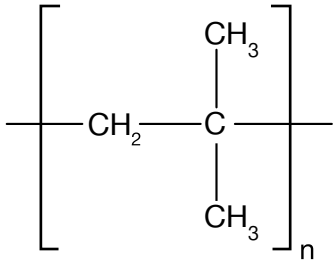




สายไฟที่ยืดหยุ่นดัดงอได้

**polyisobutylene (PIB) พอลิไอโซบิวทิลีน (พีไอบี)**

พอลิเมอร์ในกลุ่มไอโซบิวทิลีน (ดู isobutylene) ลักษณะขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งมีตั้งแต่เป็นของเหลวคล้ายน้ำมัน (oily liquid) ไปจนถึงวัสดุยืดหยุ่น (elastomer) พีไอบีที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะช่วยเสริมความต้านทานการกระแทกในพอลิเอทิลีน (ดู polyethylene) และพลาสติกอื่นๆ ใช้พีไอบีที่เป็นของเหลวเพื่อให้สารยึดติดมีความเหนียว ติดกันได้ดีขึ้น (tackifying agent) ส่วนพีไอบีที่เป็นยาง เมื่อละลายในไฮโดรคาร์บอนแอลิเฟทิก (ดู aliphatic hydrocarbon) และแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) เป็นสารละลายที่นำมาผลิตฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นสูง ต้านทานแสงและสารเคมีได้ดีมาก นอกจากนี้ เป็นสารหลักในการผลิตยางสังเคราะห์อีกด้วย



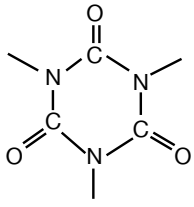

พอลิไอโซบิวทิลีน

**polyisocyanate พอลิไอโซไซยาเนต**

ดู isocyanate

**polyisocyanurate (PIR) พอลิไอโซไซยานูเรต (พีไออาร์)**

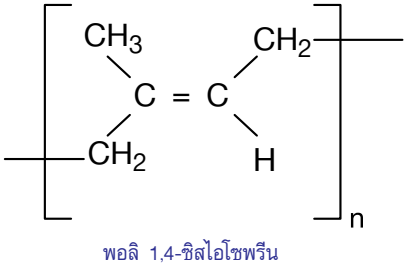
พอลิเมอร์ที่บรรจุวงแหวนไอโซไซยานูเรต เช่น ไอโซไซยานูเรต-ไทรเมอร์ เกิดเป็นโฟมที่มีความต้านทานไฟสูงกว่าพอลิยูริเทนแข็ง (rigid polyurethane) แต่มีความเปราะมากกว่า ดังนั้นจึงมักใช้ผสมกัน



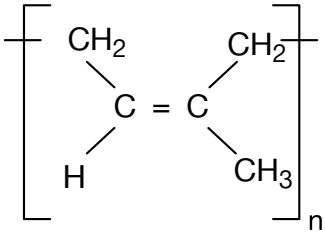
วงแหวนไอโซไซยานูเรต

**polyisoprene rubber (IR) ยางไอโซพรีน (ไออาร์)**

ยางสังเคราะห์ที่มีโครงสร้างทางเคมีและสมบัติเหมือนกับยางธรรมชาติ (ดู natural rubber) แต่ได้จากการสังเคราะห์โดยการเกิดพอลิเมอร์ของ 1,4-ไอโซพรีนหรือการเติมไวนิลเกิดเป็นไอโซเมอร์สองชนิด คือ 1,4-ซิสไอโซพรีน และ 1,4-ทรานส์ไอโซพรีน ซิสไออาร์มีชื่อทางการค้า แนทซิน (Natsyn®) ใช้ทำยางรถยนต์และดอกยางรถยนต์ ส่วนทรานส์ไออาร์ใช้หุ้มลูกกอล์ฟ สารยึดติดเหลวร้อน และชิ้นส่วนรถยนต์



พอลิ 1,4-ซิสไอโซพรีน



พอลิ 1,4-ทรานส์ไอโซพรีน

โครงสร้างทางเคมีของยางพอลิไอโซพรีน



ยางไอโซพรีน

**polyketone พอลิคีโทน**

กลุ่มเทอร์มอพลาสติกแอโรแมติกพอลิอีเทอร์คีโทน โครงสร้างแปรตามตำแหน่งและจำนวนพันธะคีโทนและอีเทอร์ ในหน่วยซ้ำของพอลิเมอร์ เช่น พอลิอีเทอร์คีโทน (ดู polyether ketone) พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโทน (ดู polyether ether ketone) พอลิ-อีเทอร์อีเทอร์คีโทนคีโทน (ดู polyetherether ketoneketone) มีสมบัติทางด้านความร้อนที่ดีมากเพราะมีหมู่แอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ในโซ่หลัก ความเหนียว ความต้านทานความร้อนสูงและต้านทานความล้าได้ดี ดูดซับน้ำได้น้อย มีความเสถียรในน้ำ ใช้เป็นส่วนหนึ่งของฐานในเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ บ่อน้ำมัน วาล์วทนแรงอัดสูง แท่นผลิตสารเคมี ส่วนประกอบของเครื่องบินและรถยนต์



พอลิคีโทน



พอลิคีโทน



ผลิตภัณฑ์จากพอลิคีโทน





ผลิตภัณฑ์จากพอลิคีโทน

**polymer พอลิเมอร์**

โมเลกุลทางเคมีชนิดหนึ่งที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่เกิดจากการรวมตัวของหน่วยซ้ำ (repeating unit) ที่เรียกว่า มอนอเมอร์ (ดู monomer) พอลิเมอร์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ประเภทแรก คือ พอลิเมอร์ธรรมชาติ (natural polymer) ซึ่งถูกสร้างโดยกระบวนการทางชีวภาพ และมีอยู่โดยทั่วไปในธรรมชาติทั้งในพืชและสัตว์ ตัวอย่างเช่น แป้ง น้ำตาล ยางพารา หรือยางธรรมชาติ (natural rubber) ดีเอ็นเอ โปรตีน เซลลูโลส ฝ้าย ปอ ไหม เป็นต้น และประเภทที่สอง ได้แก่ พอลิเมอร์สังเคราะห์ (synthesis polymer) ซึ่งได้จากการสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาทางเคมี เรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์หรือพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ตัวอย่างของพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่สำคัญ เช่น พอลิเอทิลีน (ดู polyethylene) พอลิโพรพิลีน (ดู polypropylene) พอลิสไตรีน (ดู polystyrene) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride) เป็นต้น โดยคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของพอลิเมอร์นั้นจะถูกแปรผันไปตามคุณสมบัติทางเคมีของมอนอเมอร์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้น มอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์นั้นเกือบจะทั้งหมดนั้นเป็นสารเคมีที่ได้จากอุตสาหกรรมทางปิโตรเคมี นอกจากนี้แล้วพอลิเมอร์ยังสามารถแบ่งออกตามลักษณะการใช้งาน เช่น พลาสติก (plastic) ยางหรือวัสดุยืดหยุ่น (rubber or elastomer) เส้นใย (fiber) กาว (glue) สารยึดติด (binder)



การกรีดน้ำยางจากต้นยางพารา



น้ำยางจากต้นยางพารา



แผ่นยาง



ผลิตภัณฑ์ทำจากยางธรรมชาติ



รองเท้าบู๊ททำจากยางธรรมชาติ



ยางในของรถจักรยานยนต์ ผลิตภัณฑ์ทำจากยางธรรมชาติ



ผลิตภัณฑ์ทำจากยางธรรมชาติ

**polymer electrolyte, polyelectrolyte พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์, พอลิอิเล็กโทรไลต์**

พอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีความเป็นขั้ว หรือมีประจุในสายโซ่พอลิเมอร์ และสามารถละลายน้ำได้ เมื่อละลายน้ำแล้วจะเกิดการแตกตัวเป็นพอลิไอออน (polyion) ซึ่งจะมีประจุบวก (+) หรือลบ (-) ก็ได้ เช่น กรดพอลิอะคริลิก (polyacrylic acid) แตกตัวให้พอลิอะคริเลต (polyacrylate) ที่มีประจุลบ (-) และพอลิไวนิลเอมีน (polyvinyl amine) ละลายในกรด แตกตัวให้พอลิแอมโมเนียม (polyammonium) ที่มีประจุบวก (+) มีความสามารถในการนำไฟฟ้า (electrically conductive) หรือการนำอิเล็กตรอน ใช้เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) เพื่อผลิตแบตเตอรี่สำหรับมือถือ คอมพิวเตอร์ เครื่องคิดเลข และเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดพกพา

**poly(methyl methacrylate) (PMMA) พอลิเมทิลเมทาคริเลต (พีเอ็มเอ็มเอ)**

เทอร์มอพลาสติกที่เป็นอสัณฐาน สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ (methyl methacrylate monomer) มีชื่อทางการค้าว่า เพลกซิกลาส (plexiglass) ลูไซต์ (lucite) และอะคริไลต์ (acrylite) มีสมบัติใส โปร่งแสง ทนแรงกระแทก ทนสภาพดินฟ้าอากาศ มีความต้านทานน้ำ ด่าง และกรดเจือจางได้ดี ความหนาแน่น 1.150-1.190 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าแก้ว เมื่อเปรียบเทียบสมบัติกับแก้วและพอลิสไตรีน (ดู polystyrene) มีความทนแรงกระแทกสูงกว่า แต่ยังน้อยกว่าพอลิคาร์บอเนต (ดู polycarbonate) และพอลิเมอร์วิศวกรรมบางชนิด เนื่องจากสมบัติที่โปร่งใสเหมือนแก้ว เหนียวและย้อมสีได้ง่าย จึงนิยมนำมาใช้ในการผลิตกระเบื้องลอนมุงหลังคาแบบใส ชิ้นส่วนประกอบรถยนต์ ใช้ทำตู้ปลาขนาดใหญ่ (aquarium) เลนส์ (lenses) ห้องนักบิน (aircraft cockpits) หัวครอบเฮลิคอปเตอร์ (helicopter canopy) วัสดุทันตกรรม กระจกหน้ารถยนต์ ช่องหน้าต่างบนหลังคา (skylight) นอกจากนี้ยังใช้เป็นวัสดุทำอ่างอาบน้ำ ฝักบัว และใช้เป็นวัสดุใสแทนแก้วอื่นๆ ที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมาก



ช่องแสงบนหลังคา



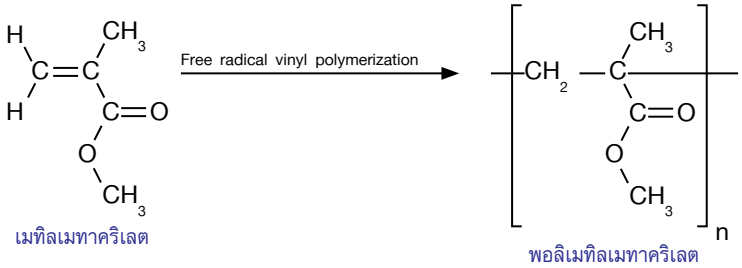
วัสดุใสแทนแก้ว



ตู้ปลาขนาดใหญ่



คอนแทคเลนส์



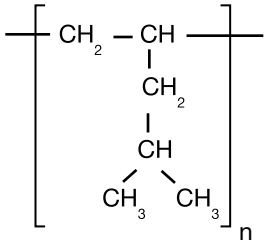

เมทิลเมทาคริเลต

พอลิเมทิลเมทาคริเลต

ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์พอลิเมทิลเมทาคริเลต

**poly(methyl pentene) (PMP) พอลิเมทิลเพนทีน (พีเอ็มพี)**

เทอร์มอพลาสติก สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของเมทิลเพนทีนมอนอเมอร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา (Ziegler-Natta catalyst) มีความโปร่งใส (transparency) และความหนาแน่นต่ำมาก (0.84 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) อุณหภูมิหลอมเหลวสูงถึง 245 องศาเซลเซียส ทนสารเคมีได้ดี ยกเว้นคีโทน (ดู ketone) แอโรแมติกส์ (ดู aromatics) และไฮโดรคาร์บอนที่เติมคลอรีน (chlorinated hydrocarbon) มีสมบัติในการดูดซึมความชื้นต่ำและก๊าซซึมผ่านได้ดี เป็นฉนวนไฟฟ้า เนื่องจากมีความเสถียรต่อความร้อนที่ดี จึงใช้ผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่สามารถฆ่าเชื้อโรคได้ด้วยความร้อนในหม้อนึ่งอัดไอ (autoclave) และอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ ส่วนประกอบของเตาไมโครเวฟ และอุปกรณ์ประกอบอาหาร ใช้ทำฟิล์มและสารเคลือบสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่ก๊าซสามารถผ่านได้ นอกจากนี้ ยังมีสมบัติทางด้านเสียงสะท้อนที่ดี จึงใช้ทำอุปกรณ์ผลิตเสียง (sound equipment) เช่น ส่วนประกอบของลำโพง และเครื่องกราดตรวจด้วยอัลตราโซนิก (ultrasonic scanner) เป็นต้น



พอลิเมทิลเพนทีน

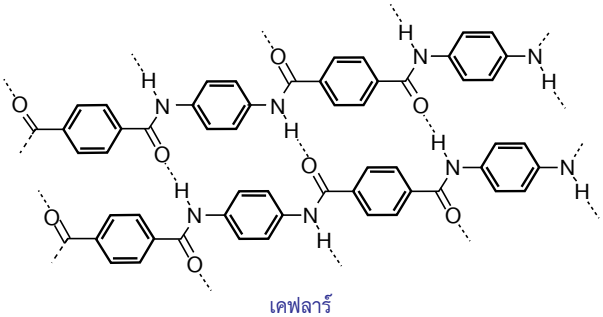


อุปกรณ์ประกอบอาหาร


อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

**poly(paraphenylene terephthalamide) (PPTA, Kevlar) พอลิพาราเฟนิลีนเทเรฟแทลาไมด์ (พีพีทีเอ, เคฟลาร์)**

เทอร์มอพลาสติกวิศวกรรม สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของพาราเฟนิลีนไดเอมีนมอนอเมอร์ (para-phenylenediamine) และเทเรฟแทโลอิลคลอไรด์ (terephthaloyl chloride) เมื่อขึ้นรูปเป็นเส้นใยมีความต้านแรงดึงสูง (tensile strength) เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่คาร์บอนิลและหมู่เอมีน (-NH) แต่มีความแข็งแรงน้อยเมื่อถูกบีบอัด มีความต้านทานความร้อนและการติดไฟ มีน้ำหนักเบากว่าเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) และมีความต้านแรงดึงใกล้เคียงกับวัสดุเชิงประกอบเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber composites) นำไปใช้อย่างกว้างขวางในงานวัสดุเชิงประกอบ (composite) นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ผลิตเสื้อผ้าป้องกันลำตัว เช่น เสื้อเกราะ สารเสริมแรงที่มีสภาพยืดหยุ่น นำไปใช้ทำสายยาง สายพานขับเคลื่อน เชือกและสายไฟ รวมทั้งผ้าที่ทนแรงยืดดึงและมีค่ามอดุลัสยืดดึงสูง (tensile modulus) เช่น ผ้าใบเรือที่มีประสิทธิภาพสูง



เคฟลาร์



ผ้าทอเส้นใยเคฟลาร์



หมวกทหารผลิตจากเส้นใยเคฟลาร์



เสื้อเกราะ

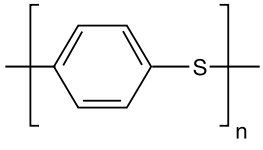


สายรัดพยุงตัว



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพีพีทีเอ

**poly(phenyl sulphide) (PPS) พอลิเฟนิลซัลไฟด์ (พีพีเอส)** เทอร์มอพลาสติกวิศวกรรมที่มีประสิทธิภาพสูง โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) ต่อกับซัลไฟด์ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมซัลไฟด์ (sodium sulfide) และพาราไดคลอโรเบนซีน (p-dichlorobenzene) มีความเป็นผลึกสูง แตกเปราะง่าย มีความต้านทานต่อความเค้นในสภาพแวดล้อม ทนร้อน กรด ด่าง สารฟอกขาว แสงแดด การเกิดเชื้อรา การขัดถู และการย้อมสี นอกจากนี้ ยังมีสมบัติในการเป็นสารหน่วงไฟ (flame retardant) เส้นใยและสิ่งทอที่ทำจากพอลิเฟนิลซัลไฟด์มีสมบัติทนสารเคมีและความร้อน จึงเหมาะสำหรับใช้ทำผ้ากรองสำหรับกรองฝุ่นจากหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหิน แผ่นเยื่อ (membrane) ปะเก็น (gasket) นอกจากนี้ยังใช้ทำฉนวนไฟฟ้า แผงวงจรไฟฟ้า (printed circuits) ส่วนประกอบของเตาไมโครเวฟ และเครื่องเป่าผม รวมทั้งใช้ทำส่วนประกอบของปั๊ม เช่น จานใบพัด เครื่องประกอบเพลา เครื่องประกับเพลา (bushing) และบอลวาล์ว (ball valve)



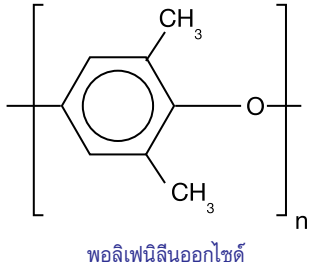
พอลิเฟนิลซัลไฟด์






ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพีพีเอส

**poly(phenylene oxide) (PPO) พอลิเฟนิลีนออกไซด์ (พีพีโอ)** เทอร์มอพลาสติกวิศวกรรมที่มีประสิทธิภาพสูง ชื่อทางเคมีคือ พอลิ-2,6-ไดเมทิล-พาราเฟนิลีนอีเทอร์ (poly-2,6-dimethyl-p-phenylene ether) สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบคู่ควบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative coupling polymerization) ของ 2,6-ไดเมทิลฟีนอลมอนอเมอร์ (2,6-dimethyl phenol) หรือแบบควบแน่น พอลิเมอร์กึ่งผลึก (semi-crystalline polymer) มีความต้านทานความร้อน มีอุณหภูมิแปรสภาพแก้วสูงมากถึง 210 องศาเซลเซียส แตกเปราะได้ง่าย ไม่สามารถนำพอลิเฟนิลีนออกไซด์บริสุทธิ์มาขึ้นรูปได้ เนื่องจากไม่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิสูงจึงต้องนำมาผสมกับพอลิสไตรีนทนแรงกระแทกสูง (high impact polystyrene หรือ (HIPS)) เพื่อให้ขึ้นรูปได้ง่าย และยังทำให้มีสมบัติในการเด้งกลับ (resilience) พอลิเฟนิลีนออกไซด์ที่ปรับสมบัติแล้ว (modified PPO) มีชื่อทางการค้าคือ นอริล (Noryl) มีความเป็นอสัณฐาน ทึบแสง มีความต้านทานความล้าและตัวทำละลายต่ำ มีความเสถียรต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ดู hydrolysis) และการคงสภาพเชิงมิติสูง (hydrolytic and dimensional stabilities) ดูดความชื้นได้น้อย มีความเป็นฉนวน มักนำไปใช้ผลิตส่วนประกอบของโทรทัศน์ (television accessories) เครื่องซักผ้า เครื่องล้างจาน ฉนวนเตา ไมโครเวฟ อุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ และเนื่องจากมีสมบัติที่เสถียรต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจึงนิยมนำไปใช้ทำปั๊ม เครื่องวัดน้ำ ระบบเครื่องฉีดน้ำสปริงเกลอร์ และถังเก็บน้ำร้อน



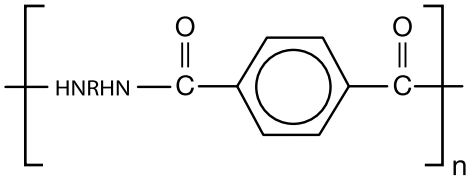
พอลิเฟนิลีนออกไซด์


ฉนวนเครื่องล้างจาน


ใช้ผลิตส่วนประกอบของโทรทัศน์


ปั๊มสำหรับสระว่ายน้ำ

**polyphthalamide (PPA) พอลิพทาลาไมด์ (พีพีเอ)**
สารพอลิเอไมด์กึ่งแอโรแมติก (semi-aromatic polyamide) ของกรดเทเรฟแทลิก (terephthalic acid (TPA)) และ/หรือ กรดไอโซพทาลิก (isophthalic acid (IPA))



สูตรโครงสร้างของพอลิพทาลาไมด์

เป็นได้ทั้งกึ่งผลึก (semi-crystalline) และอสัณฐาน (amorphous) อุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (glass transition temperature) อยู่ในช่วงประมาณ 124 องศาเซลเซียส มีความแข็งตึง (stiffness) ความแข็งแรง (strength) ไวต่อความชื้น และค่าความสามารถในการทนความร้อน (thermal capability) มากกว่าแอลิเฟทิกพอลิเอไมด์ เช่น ไนลอน 6,6 (ดู nylon 6,6) มีสมบัติการคืบ (creep) ความล้า (fatigue) แต่ดึงยืดเป็นเส้นได้ (ductile) น้อยกว่าไนลอน 6,6 โดยทั่วไปมีความต้านทานดีเยี่ยมต่อสารประกอบแอลิเฟทิกส์ (ดู aliphatics) สารประกอบแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (chlorinated hydrocarbon) เอสเทอร์ (ester) คีโทน (ดู ketone) แอลกอฮอล์ (alcohol) และสารละลายน้ำ (aqueous solutions) เกือบทุกชนิด ทนสภาวะแวดล้อมได้ดีเยี่ยมแต่มีสารบางประเภทที่มีผล เช่น กรดแก่ (strong acid) และตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง (strong oxidising agent) ฟีนอล (ดู phenol) และครีซอล (cresol) ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่สามารถละลายพอลิทาลาไมด์ได้ นิยมนำไปผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น อุปกรณ์สะท้อนแสงของไฟหน้าของรถยนต์ (head lamp reflector) และวัสดุแทนที่โลหะและอุปกรณ์ไฟฟ้าในรถยนต์


ชิ้นส่วนรถยนต์


ชิ้นส่วนรถยนต์

**polypropylene glycol (PPG) พอลิโพรพิลีนไกลคอล (พีพีจี)**
พอลิเมอร์ที่ผลิตจากโพรพิลีนออกไซด์ (ดู propylene oxide) มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วงกว้างจนถึง 750 พีพีจี น้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถละลายน้ำได้ แต่การละลายลดลงที่น้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายหลากหลาย นำไปใช้เช่นเดียวกับพอลิเอทิลีนไกลคอล (ดู polyethylene glycol) และเป็นสารมัธยันตร์ที่สำคัญสำหรับสังเคราะห์พอลิยูริเทน (ดู polyurethane) ผ่านปฏิกิริยาของไดไอโซไซยาเนต (ดู diisocyanate)



พอลิโพรพิลีนไกลคอล

**polystyrene (PS), general purpose polystyrene พอลิสไตรีน (พีเอส), พอลิสไตรีนอเนกประสงค์**
เทอร์มอพลาสติกแบบอสัณฐาน สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบเติม (addition polymerization) ของสไตรีน-มอนอเมอร์ (ดู styrene monomer) มีอุณหภูมิหลอมเหลวเป็นช่วงกว้างทำให้หล่อขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ได้ง่าย มีความโปร่งใส สมบัติเชิงแสงดีมาก (optical properties) และค่าความแข็งตึงสูง (stiffness) แต่เปราะ (brittle) มีความเป็นฉนวน (insulation) ไม่ดูดความชื้น (humidity) เกิดไฟฟ้าสถิตได้ง่าย (electrostatic) ทำให้ดูดติดฝุ่นละอองได้ง่าย ไม่ทนสภาพสิ่งแวดล้อมภายนอก ผิวเสื่อมสภาพเร็วเพราะไม่ทนการขีดข่วน แต่ถ้ามีการจัดเรียงตัวแบบ 2 ทาง (biaxially orientation) แล้วจะมีความยืดหยุ่น (flexibility) และความทนทานมากขึ้น (durability) ละลายในตัวทำละลายประเภทแอโรแมติกส์และคีโทนบางชนิด ราคาย่อมเยา ใช้กันแพร่หลายในการผลิตของเล่น ขวดน้ำดื่ม อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ภาชนะบรรจุที่ใช้แล้วทิ้ง ถาดที่ใช้ในการแพทย์และในธุรกิจโรงแรม เป็นต้น



แก้วน้ำและกล่องเอกประสงค์ที่ทำจากพอลิสไตรีน

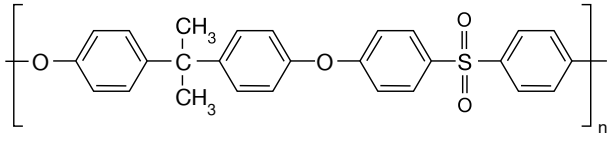


แผงสวิทช์ไฟ



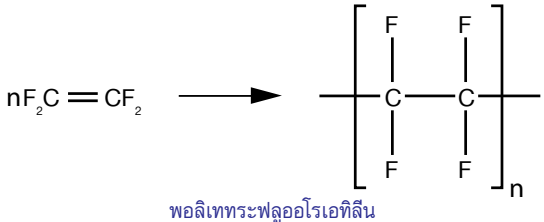
เครื่องชงกาแฟ

**polysulfone (PSO) พอลิซัลโฟน (พีเอสโอ)**
พอลิเมอร์ที่มีหน่วยซัลโฟนเป็นองค์ประกอบ สังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างไดเอริลซัลโฟน (diaryl sulfone) และบิสฟีนอลเอ (ดู bisphenol-A) โปร่งใส (transparent) มีความต้านทานกรด เบส (acid-base resistance) สารละลายเกลือ (salt solution) สารซักฟอก (detergent) น้ำมัน (oil) และแอลกอฮอล์ (alcohol) ได้ดี มีสมบัติต้านทานความร้อน (heat resistance) การหน่วงเปลวไฟ (flame retardation) และให้ควันออกมาน้อยเมื่อติดไฟ และมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าคือจะไม่นำไฟฟ้าจนกว่าจะถึงอุณหภูมิที่ใกล้กับอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (glass transition temperature) ที่ 198 องศาเซลเซียส นิยมใช้ผลิตจานหมุนหรือถาดในตู้ไมโครเวฟ ฝาเครื่องต้มกาแฟ อุปกรณ์การแพทย์ที่ต้องการฆ่าเชื้อ เลนส์ กระเป๋ากล้องถ่ายภาพ แผงวงจรไฟฟ้า




ตัวเก็บประจุที่ใช้พอลิสไตรีนเป็นส่วนประกอบ

**polytetrafluoroethylene (PTFE), teflon พอลิเททระ-ฟลูออโรเอทิลีน (พีทีเอฟอี), เทฟลอน**
เทอร์มอพลาสติกที่สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระของเททระฟลูออโรเอทิลีน เป็นพอลิเมอร์สัณฐานแบบโซ่ตรง จุดหลอมเหลวประมาณ 327 องศาเซลเซียส ความต้านทานความร้อนและสารเคมีดีมาก มีความต้านทานสารเคมีเกือบทุกชนิดยกเว้นโลหะแอลคาไล มีความเสถียรความร้อน คงสมบัติเชิงกลและทางไฟฟ้าได้เป็นเวลานานจนถึงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส แต่แตกสลายได้โดยรังสีที่มีพลังงานสูง ไม่ดูดน้ำ ก๊าซและความชื้นสามารถแพร่ผ่านได้ มีความเหนียวและมีสมบัติการเป็นฉนวนที่ดี แต่ข้อเสียที่สำคัญของพอลิเมอร์ชนิดนี้คือ กระบวนการผลิตยากมาก จากสมบัติด้านความต้านทานไฟฟ้าและความร้อนที่ดีมากจึงนำไปใช้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าที่หลากหลาย เช่น สายไฟ สายเคเบิลที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ฉนวนสำหรับเครื่องยนต์ ตัวเก็บประจุ ขดลวด และหม้อแปลง อุปกรณ์เครื่องครัวที่ทนความร้อน นอกจากนี้ยังใช้ผลิตอุปกรณ์ทางเคมี เช่น ส่วนของวาล์วและวงแหวนอัดลูกสูบ




พอลิเททระฟลูออโรเอทิลีน

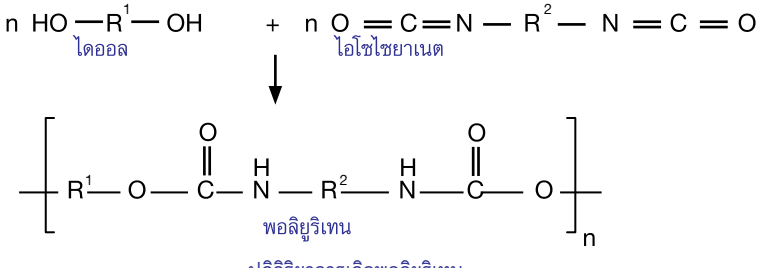





ผลิตภัณฑ์จากเทฟลอน

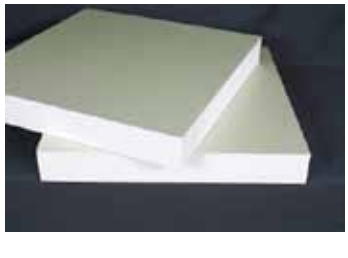
**polyurethane (PU) พอลิยูริเทน (พียู)**

พอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนต (ดู isocyanate) กับพอลิออล เกิดเป็นพันธะยูริเทน มีสมบัติความแข็งเกร็ง (rigid) ไปจนยืดหยุ่น (elastomeric) เป็นได้ทั้งวัสดุเทอร์มอพลาสติกและเทอร์มอเซต (ดู thermoset) สมบัติของพอลิยูริเทนขึ้นอยู่กับสารที่มาเป็นพอลิเมอร์ร่วม (ดู copolymer) มี 3 กลุ่มคือ ไดไอโซไซยาเนต (ดู diisocyanate) ไดออลโซ่สั้นและไดออลโซ่ยาว (ดู diol) จำแนกจากชนิดของพอลิออล เช่น พอลิเอสเทอร์พอลิยูริเทนหรือพอลิอีเทอร์พอลิยูริเทน พอลิอีเทอร์พอลิยูริเทนมีความต้านทานการแตกสลายด้วยน้ำมากกว่าพอลิเอสเทอร์พอลิยูริเทน และมีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วต่ำกว่า ในขณะที่พอลิเอสเทอร์พอลิยูริเทนต้านทานน้ำมันและน้ำมันเชื้อเพลิงดีกว่า โดยทั่วไป พอลิยูริเทนมีสมบัติต้านทานการขัดถู (abrasion resistance) ต้านทานการตัดขาด (cut resistance) ต้านทานสภาพอากาศ และต้านทานการเกิดรา นอกจากนี้ยังมีความต้านทานน้ำมัน ตัวทำละลาย โอโซน และการเกิดออกซิเดชันได้ดี พอลิยูริเทนที่ผ่านการบ่มมีลักษณะเป็นยางแข็งที่มีความเหนียวและยืดหยุ่น มีผลให้ยางมีความยืดหยุ่นสูง ต้านทานการขัดถู การสึก และต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น โดยความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่าของยางธรรมชาติ พอลิยูริเทนต้านทานน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเกิน 79 องศาเซลเซียสได้ไม่ดี นำไปใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น สารเคลือบผิว วัสดุยืดหยุ่น โฟม และเส้นใย นอกจากนี้ ยังใช้เป็นตัวเสริมกันการกระแทกให้กับพลาสติกอื่นอีกด้วย




ปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูริเทน



ผลิตภัณฑ์จากพอลิยูริเทน

**polyurethane-polyurea copolymer, spandex พอลิเมอร์ร่วมพอลิยูริเทนพอลิยูเรีย, สแปนเด็กซ์**

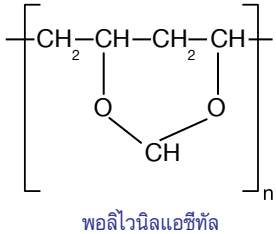
เส้นใยวัสดุยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยพอลิยูริเทน (ดู polyurethane) อย่างน้อยร้อยละ 85 ผลิตโดยบริษัท ดูปองท์ เมื่อเทียบกับเส้นใยชนิดอื่น สแปนเด็กซ์มีน้ำหนักเบากว่า ทนทานและยืดหยุ่นได้ง่ายกว่า สามารถดึงยืดได้หลายครั้งถึงร้อยละ 500 และกลับเข้าสู่ความยาวเดิมได้ทันที ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันเหมือนเส้นใยของยาง และสามารถทนน้ำมันจากร่างกาย เหงื่อ ครีมบำรุงผิว หรือสารซักฟอก ใช้ทำเสื้อผ้า ชุดว่ายน้ำ ถุงเท้า และสายรัดผ้า



เสื้อผ้าสแปนเด็กซ์

**polyvinyl acetal พอลิไวนิลแอซีทัล**

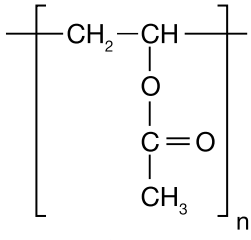
เทอร์มอพลาสติกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาของแอลดีไฮด์ (aldehydes) กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หรือพีวีเอ (ดู poly(vinyl alcohol) (PVA)) เป็นอสัณฐาน (amorphous) ความแข็งเกร็ง (rigidity) และอุณหภูมิอ่อนตัว (softening point) อาจสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแอลดีไฮด์ สำหรับเกรดที่ใช้ในทางการค้ามีปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลน้อย ตัวอย่างของพอลิเมอร์ชนิดนี้ เช่น พอลิไวนิลฟอร์มัล (ดู polyvinyl formal) พอลิไวนิลบิวทิรัล (ดู poly(vinyl butyral)) ไม่ใช้เป็นสารประกอบขึ้นรูป (moulding compound) ในทางการค้า แต่ใช้ในสารเคลือบ (coating) กาว (adhesive) และเป็นสารปรับสภาพ (modifier) ในเรซินชนิดอื่นๆ



พอลิไวนิลแอซีทัล

**poly(vinyl acetate) (PVAC) พอลิไวนิลแอซีเทต (พีวีเอซี)**

เทอร์มอพลาสติกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ (free radical polymerization) ของมอนอเมอร์ไวนิลแอซีเทต โดยมีระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization) ของพอลิไวนิลแอซีเทตอยู่ระหว่าง 100-5,000 หมู่เอสเทอร์ของพอลิไวนิลแอซีเทตมีความว่องไวต่อด่างและจะค่อยๆ เปลี่ยนไปเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกรดแอซีติก (ดู acetic acid) พอลิไวนิลแอซีเทตใช้ทำกาวทาไม้ กระดาษและผ้า ใช้เป็นกาวเข้าปกหนังสือ รวมทั้งใช้เป็นสารเคลือบในกระดาษและสิ่งทอ และอุตสาหกรรมการเคลือบอื่นๆ



พอลิไวนิลแอซีเทต



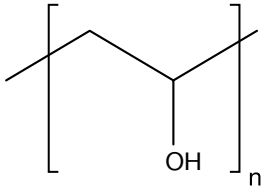



กาวทาไม้

**poly(vinyl alcohol) (PVA) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (พีวีเอ)**

พอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ละลายน้ำได้ มีความต้านทานน้ำมัน จาระบี (grease) และตัวทำละลาย ไม่มีกลิ่นและไม่มีพิษ มีความต้านแรงดึงสูง (tensile strength) มีความอ่อนตัว (flexibility) และย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ (fully degradable) ดูดความชื้นเมื่ออยู่ในที่ที่มีความชื้นสูง ทำให้ความต้านแรงดึงลดลงแต่ความต้านทานการยืดและการฉีดขาดเพิ่มขึ้น จุดหลอมเหลว 230 องศาเซลเซียส ย่อยสลายที่อุณหภูมิสูง (สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส) ได้รวดเร็ว ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพอลิเมอร์

หลายชนิด เช่น พอลิไวนิลไนเทรต (polyvinyl nitrate) พอลิไวนิลแอซีทัล (ดู polyvinyl acetal) พอลิไวนิลบิวทีรัล (ดู poly(vinyl butyral)) หรือพีวีบี และพอลิไวนิลฟอร์มัล (ดู polyvinyl formal) เป็นต้น ใช้ผลิตกาวสำหรับกระดาษ ไม้ สิ่งทอ หนัง และวัสดุดูดน้ำอื่นๆ ใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชัน (emulsifier) และคอลลอยด์ (colloid) ในการผลิตเรซิน นอกจากนี้ ยังใช้เคลือบเส้นด้ายยืนในกระบวนการทอและขั้นตอนการตกแต่งสิ่งทอ ใช้เป็นสารช่วยถอดแบบ รวมทั้งใช้เป็นตัวประสานสำหรับสารเคลือบเม็ดสีกระดาษ เซรามิก และผ้าไม่ทอ (nonwoven fabrics)




พอลิไวนิลแอลกอฮอล์



เคลือบเส้นด้ายยืนในกระบวนการทอ

**poly(vinyl butyral) (PVB) พอลิไวนิลบิวทิรัล (พีวีบี)**
เรซินชนิดหนึ่งที่สังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ (ดู poly(vinyl alcohol) (PVA)) และบิวทิรัลดีไฮด์ (butylraldehyde) ไม่มีพิษ ไม่กัดกร่อน (noncorrosive) โปร่งแสง (transparent) มีสมบัติที่ดีหลายอย่างคือ เป็นฉนวนไฟฟ้า ขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดี และยังทนแรงกระแทก (impact resistance) มีความต้านแรงดึง (tensile strength) มีสมบัติการยึดเกาะติดแน่น (adhesiveness) มีความยืดหยุ่น (elasticity) ดัดงอได้ มีความเหนียว ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ คีโทน เบนซีน และตัวทำละลายผสม เป็นต้น ยังใช้เป็นแผ่นบางเชื่อมกระจกสองแผ่นเข้าด้วยกัน นิยมนำมาใช้ในงานสถาปัตยกรรมและงานยานยนต์ นอกจากนี้ยังใช้ในการเคลือบ (coating) วัสดุต่างๆ เช่น โลหะ เหล็กกล้า อะลูมิเนียม เหล็กชุบสังกะสี ทองแดง และอื่นๆ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเรือ เครื่องบิน เป็นต้น การเคลือบกันน้ำ (waterproof coating) ในผลิตภัณฑ์ เช่น การทำเต็นท์ เสื้อกันหนาว การเคลือบเพื่อความแวววาวในงานหัตถกรรมไม้ เพื่อความแข็งแรง และกันความชื้นของบรรจุภัณฑ์ที่ทำด้วยฟอยล์โลหะสำหรับอาหารและยา เป็นต้น



เครื่องบิน

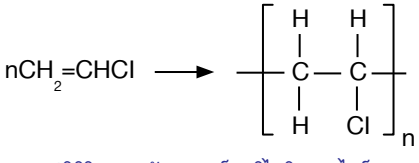


เต็นท์

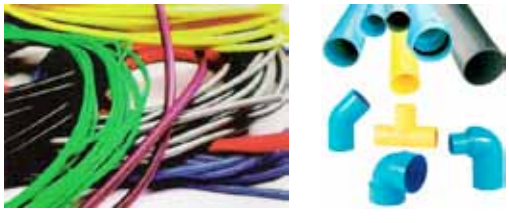



เสื้อกันหนาว

**polyvinyl chloride (PVC) พอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี)** เทอร์มอพลาสติกพอลิเมอร์สังเคราะห์จากไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ (ดู vinyl chloride monomer) สังเคราะห์โดยการเกิดพอลิเมอร์แบบเติม (addition polymerzation) ซึ่งใช้สารเริ่มปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (ดู free radical initiator) ผลิตได้ 4 วิธี คือ แบบแขวนลอย แบบมวลรวม แบบอิมัลชันและแบบสารละลาย นอกจากนี้ ยังมีการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบกระจายตัว (dispersion polyvinyl chloride) และพีวีซีที่เติมคลอรีนด้วย (ดู chlorinated polyvinyl chloride) พีวีซีจากการผลิตแบบมวลรวมและแบบแขวนลอยเป็นผงสีขาว ขนาด 90-200 ไมครอน พีวีซีจากการผลิตแบบอิมัลชันมีขนาด 0.5-2 ไมครอน ส่วนพีวีซีแบบกระจายตัวเป็นของเหลว พีวีซีทั่วไปมีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส พีวีซีที่เติมคลอรีนมีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วสูงขึ้น ความต้านทานการเผาไหม้ดีขึ้น การเกิดควันน้อยลง ความต้านแรงดึง (tensile strength) และค่ามอดุลัสการดึงเพิ่มขึ้น มีสมบัติที่ดีด้านการคงสภาพเชิงมิติ (dimensional stability) ความต้านทานสารเคมีและสมบัติที่ดีด้านไฟฟ้า พีวีซีสลายตัวได้ง่ายเมื่อสัมผัสความร้อน โดยจะเริ่มสลายที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ให้กรดไฮโดรคลอริกออกมา ทำให้เกิดเป็นโซ่หลักไม่อิ่มตัว เปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลและสีดำ พีวีซีส่วนใหญ่ใช้ผลิตท่อ เครื่องกรอง ฟิล์มใสและขุ่นสำหรับห่อผลิตภัณฑ์ ส่วนพีวีซีที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบกระจายตัวใช้เป็นสารเคลือบผิว เช่น วัสดุที่ใช้ทำพื้นห้อง ผนัง หนังเทียม เป็นต้น




ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิไวนิลคลอไรด์

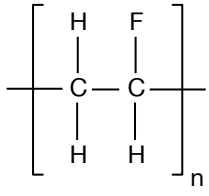


ผลิตภัณฑ์จากพอลิไวนิลคลอไรด์



หนังเทียม

**poly(vinyl fluoride) (PVF) พอลิไวนิลฟลูออไรด์ (พีวีเอฟ)** เทอร์มอพลาสติก มีความเป็นผลึก การขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ง่าย มีสมบัติก๊าซซึมผ่านได้น้อย ดูดความชื้นได้น้อย และมีความเสถียรต่อความร้อน เผาไหม้ช้า ทนสภาพอากาศได้ดี อีกทั้งทนสารเคมี ยกเว้นคีโทน (ดู ketone) และเอสเทอร์ มักใช้เป็นสารเคลือบผิวสำหรับงานตกแต่งภายในห้องโดยสารภายในเครื่องบิน สารเคลือบไม้ โลหะที่ใช้ในงานก่อสร้าง เนื่องจากมีสมบัติที่ดีในการเผาไหม้ได้ช้า




พอลิไวนิลฟลูโอไรด์



ห้องโดยสารภายในเครื่องบิน



ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิไวนิลฟลูออไรด์

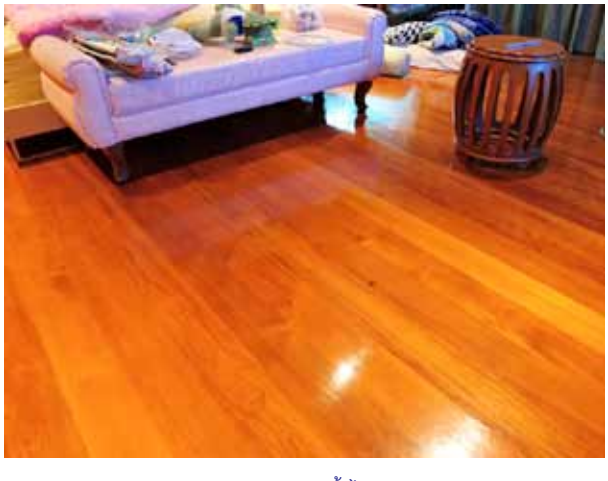
**polyvinyl formal (PVFO, PVFM) พอลิไวนิลฟอร์มัล (พีวีเอฟโอ, พีวีเอฟเอ็ม)**

เทอร์มอพลาสติก หนึ่งในตระกูลพอลิไวนิลแอซีทัล (ดู polyvinyl acetal) สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น (polycondensation) ของฟอร์มัลดีไฮด์ (ดู formaldehyde) กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หรือพีวีเอ (ดู poly(vinyl alcohol) (PVA)) ทนไขข้นและน้ำมันได้ดี นิยมใช้เคลือบเส้นลวด (wire enamel) เคลือบกระป๋อง และสารเคลือบสีหรือเนื้อไม้ (wash primer)




พอลิไวนิลฟอร์มัล

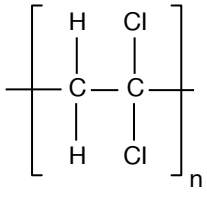




สารเคลือบเนื้อไม้

**polyvinylidene chloride (PVDC) พอลิไวนิลิดีนคลอไรด์ (พีวีดีซี)**

เทอร์มอพลาสติกที่คล้ายกับพอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี (ดู polyvinyl chloride (PVC)) แต่อะตอมคลอรีนทั้งสองอะตอมเกาะอยู่ที่อะตอมคาร์บอนเดียวกัน สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบเติม (ดู addition polymerization) มีสมบัติในการกั้นการซึมผ่านของความชื้น กลิ่น และก๊าซ มีความสามารถในการยึดติดแน่นดี (cling properties) นิยมใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ห่ออาหาร และบรรจุภัณฑ์สำหรับยา เครื่องสำอาง




สูตรโครงสร้างของไวนิลิดีนคลอไรด์





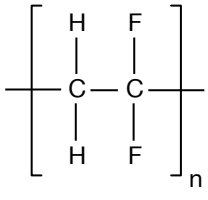

บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิไวนิลิดีนคลอไรด์



ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิไวนิลิดีนคลอไรด์

**poly(vinylidene fluoride) (PVDF) พอลิไวนิลิดีนฟลูโอไรด์ (พีวีดีเอฟ)**

เทอร์มอพลาสติกประเภทหนึ่ง สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ (free radical polymerization) ของไวนิลิดีนฟลูโอไรด์มอนอเมอร์ มีความเป็นผลึกสูง อุณหภูมิแปรสภาพแก้ว -35 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลวประมาณ 170 องศาเซลเซียส ขึ้นรูปได้ง่ายโดยกระบวนการหลอมเหลว มีความต้านทานไฟฟ้าสูงและต้านทานการติดไฟ ทนทานต่อสภาพอากาศ ทนสารเคมี แต่ไม่ทนตัวทำละลายที่มีขั้วมากจึงนิยมนำมาใช้ทำท่อและขวดใส่สารเคมีในอุตสาหกรรมสารเคมี มีความต้านทานการคืบ (creep) และการบิดเบี้ยว (distortion) ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง ความหนาแน่นต่ำที่ 1.78 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีราคาถูกกว่าฟลูโอโรพอลิเมอร์ชนิดอื่น มีสมบัติเป็นไพอิโซอิเล็กทริก (piezoelectric) คือ เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นได้เมื่อถูกบีบอัด จึงมักนำพอลิเมอร์ชนิดนี้มาใช้ทำอุปกรณ์รับรู้ (sensor) และแบตเตอรี่ (battery) สีที่มีความแวววาวและทนทาน เป็นที่นิยมใช้ทาสีตึกที่มีชื่อเสียงหลายแห่งทั่วโลก เช่น อาคารเปโตรนาสในประเทศมาเลเซีย นอกจากนี้ ยังใช้ทำฉนวนหุ้มสายไฟและสายเคเบิล โดยเฉพาะสายไฟที่มีความร้อนเกิดขึ้นขณะใช้งาน



พอลิไวนิลิดีนฟลูโอไรด์

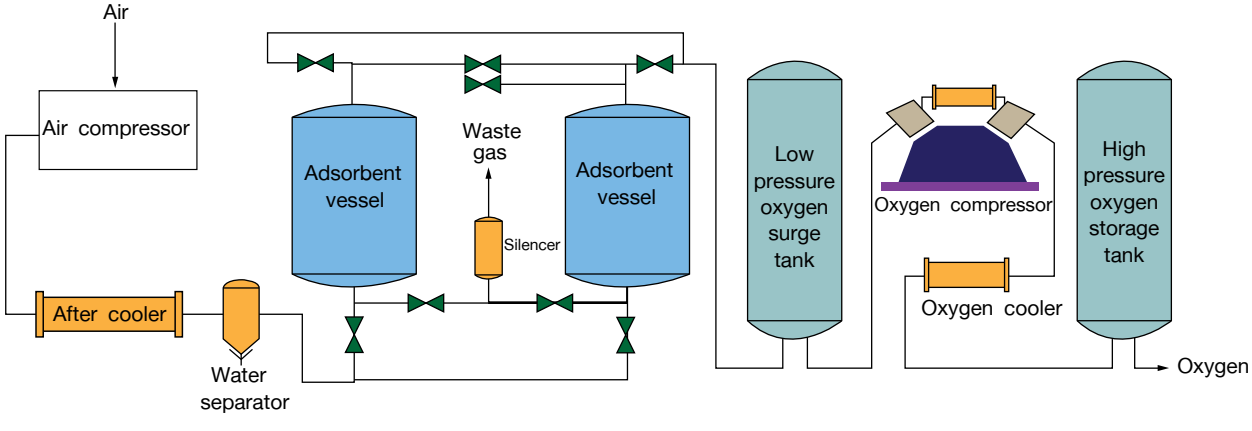

แผ่นพอลิไวนิลิดีนฟลูโอไรด์




ท่อและขวดใส่สารเคมี

**precipitation polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบตกตะกอน**
การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยอาศัยความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันระหว่างมอนอเมอร์ (ดู monomer) กับพอลิเมอร์ มอนอเมอร์จะละลายในตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวกลางในการสังเคราะห์ ส่วนพอลิเมอร์ที่ได้ซึ่งไม่ละลายในมอนอเมอร์ จะตกตะกอนออกมาระหว่างการเกิดพอลิเมอร์ลักษณะของพอลิเมอร์ที่ได้มีลักษณะเป็นผง (powder) หรือเม็ดเล็กๆ (granular) ตัวอย่างของพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride (PVC)) พอลิอะคริโลไนไทรล์ (ดู polyacrylonitrile fiber)

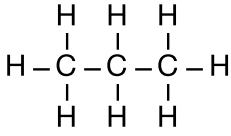
**pressure swing adsorption (PSA) การดูดซับชนิดสลับความดัน (พีเอสเอ)**
เทคโนโลยีการแยกก๊าซออกจากก๊าซผสม โดยอาศัยหลักการดูดซับเมื่อให้ความดันและการปลดปล่อยเมื่อความดันลดลง ปัจจัยหลักคือ ลักษณะโมเลกุลของก๊าซแต่ละชนิดที่แตกต่างกันและความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ ในขณะที่ระบบมีความดันสูง ก๊าซจะเข้ายึดเกาะบนพื้นผิวและเกิดการดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับ เมื่อระบบมีความดันลดลง แรงยึดเกาะของก๊าซบนพื้นผิวลดลงจึงถูกปลดปล่อยออกจากสารดูดซับ ตัวอย่างของกระบวนการนี้ ได้แก่ กระบวนการแยกก๊าซออกซิเจนออกจากอากาศเพื่อนำไปใช้เป็นออกซิเจนสำหรับผู้ป่วย ผ่านอากาศซึ่งเป็นก๊าซผสมระหว่างไนโตรเจน(ร้อยละ 78) ออกซิเจน (ร้อยละ 21) และก๊าซอื่นๆ (ร้อยละ 1) ที่ถูกอัดเพิ่มความดันถึงประมาณ 1.5 บาร์ และลดอุณหภูมิเข้าหอดูดซับที่ 1 (adsorbent vessel) ที่ภายในบรรจุด้วยซีโอไลต์ (ดู zeolite) ไนโตรเจนถูกดูดซับบนพื้นผิวซีโอไลต์ได้ดีกว่าออกซิเจน ทำให้อากาศที่ไหลผ่านออกจากหอดูดซับมีก๊าซออกซิเจนเข้มข้นขึ้นและถูกส่งไปยังถังเก็บออกซิเจน (oxygen surge tank) เมื่อหอดูดซับดูดซับไนโตรเจนจนอิ่มตัว จะต้องทำให้คืนสภาพ (regenerate) พร้อมกับสลับหอดูดซับที่ 2 มาดูดซับอากาศแทน การทำให้คืนสภาพทำโดยลดความดันของหอดูดซับให้เท่ากับความดันบรรยากาศเพื่อปลดปล่อยไนโตรเจนออกจากซีโอไลต์ เพื่อให้หอดูดซับพร้อมรับอากาศเข้ามาแยกออกซิเจนในรอบต่อไป




ตัวอย่างกระบวนการใช้การดูดซับชนิดสลับความดันแยกออกซิเจนออกจากอากาศ

**propane โพรเพน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวประเภทแอลเคน (ดู alkane) โครงสร้างประกอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม สูตรโมเลกุล $C_3H_8$



โพรเพน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่พบได้ทั้งในก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ สามารถแยกออกจากวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดได้โดยการกลั่น (distillation) ใช้เป็นเชื้อเพลิง วัตถุดิบตั้งต้นของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีสำหรับผลิตสารโอเลฟิน (ดู olefin) หรือผสมกับก๊าซบิวเทน (ดู butane) ในสัดส่วนต่างๆ เช่น 70:30 เพื่อผลิตก๊าซปิโตรเลียมเหลว (liquefied petroleum gas) สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน ยานยนต์ อุตสาหกรรม และวัตถุดิบอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในการผลิตโอเลฟินและแอโรแมติกส์ (ดู aromatics)



ก๊าซหุงต้มเพื่อใช้ในครัวเรือน




ถังบรรจุก๊าซหุงต้ม



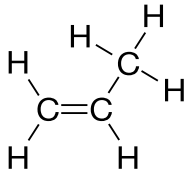

หัวจ่ายก๊าซปิโตรเลียมเหลว




ก๊าซโพรเพนแบบพกพา

**propene, propylene โพรพีน, โพรพิลีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวประเภทแอลคีน (ดู alkene) โครงสร้างประกอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน 1 พันธะอยู่ในสายโซ่ สูตรโมเลกุล $C_3H_6$



โพรพีน

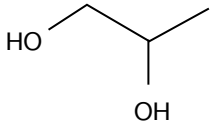
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบและการแตกตัว (cracking) ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่างๆ เช่น แนฟทา (ดู naphtha) และก๊าซธรรมชาติ นอกจากนี้ ยังสังเคราะห์ได้จากการดึงไฮโดรเจน (dehydrogenation) ออกจากสารตั้งต้นโพรเพน (propane) ที่ภาวะอุณหภูมิ 550-680 องศาเซลเซียส และความดัน 5-20 บรรยากาศ

$$\underset{\text{โพรเพน}}{CH_3CH_2CH_3} \longrightarrow \underset{\text{โพรพีน}}{CH_2{=}CH\text{-}CH_3} + \underset{\text{ไฮโดรเจน}}{H_2}$$

เป็นวัตถุดิบตั้งต้นของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่สามารถนำไปผลิตสารเคมีอื่นๆ เช่น พอลิโพรพิลีน (polypropylene) แอซีโทน (ดู acetone) ฟีนอล (ดู phenol) อะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile) โพรพิลีนออกไซด์ (ดู propylene oxide) เอพิคลอโรไฮดริน (epichlorohydrin) เป็นต้น

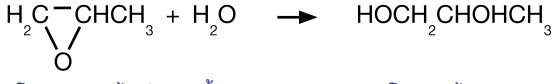
**propylene glycol (PG) โพรพิลีนไกลคอล (พีจี)**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทไดออล (ดู diol) หรือไกลคอล (ดู glycol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) 2 หมู่ แทนที่อะตอมไฮโดรเจนตำแหน่งที่ 1 และ 2 ของโครงสร้างโพรพิลีน (ดู propylene) สูตรโมเลกุล $C_3H_8O_2$




โพรพิลีนไกลคอล

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวหนืดใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีกลิ่นหอมหวานจางๆ สังเคราะห์จากสารตั้งต้นโพรพิลีนออกไซด์ (ดู propylene oxide) ทำปฏิกิริยากับน้ำมากเกินพอที่อุณหภูมิ 200-220 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเกิดสารโอลิโกเมอร์ (oligomer) ได้แก่ ไดโพรพิลีนไกลคอล (dipropylene glycol) ไทรโพรพิลีนไกลคอล (tripropylene glycol) จนถึงพอลิโพรพิลีนไกลคอล (ดู polypropylene glycol)




โพรพิลีนออกไซด์ น้ำ โพรพิลีนไกลคอล

ส่วนใหญ่ใช้ผลิตพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว (unsaturated ester) นอกจากนี้ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง เนื่องจากไม่เป็นพิษและใช้เป็นสารกันเยือกแข็ง (antifreeze) สำหรับหม้อน้ำรถยนต์ในประเทศที่มีภูมิอากาศหนาวเย็น



โพรพิลีนไกลคอลนำมาเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางชนิดต่างๆ



โพรพิลีนไกลคอล



ในฤดูหนาวรถที่จอดทิ้งไว้จำเป็นต้องเติมสารกันเยือกแข็งในหม้อน้ำ




การเติมน้ำยาที่เป็นสารกันเยือกแข็งในหม้อน้ำรถยนต์




สารกันเยือกแข็ง

**propylene oxide (PO) โพรพิลีนออกไซด์ (พีโอ)**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทอิพ็อกไซด์ (ดู epoxide) โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนอิพ็อกไซด์ที่มีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) 1 หมู่ เชื่อมกับวงแหวนอิพ็อกไซด์ภายในโครงสร้าง สูตรโมเลกุล $C_3H_6O$




โพรพิลีนออกไซด์

สังเคราะห์จากปฏิกิริยาคลอโรไฮดริเนชัน (chlorohydrination) ระหว่างสารตั้งต้นโพรพิลีน (ดู propylene) กับกรดไฮโปคลอรัส (hypochlorous) เพื่อให้ได้โพรพิลีนคลอโรไฮดริน (propylene chlorohydrin) ที่ภาวะอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ

$$CH_3CH{=}CH_2 + HOCl \longrightarrow CH_3CHOHCH_2Cl$$

โพรพิลีน กรดไฮโปคลอรัส โพรพิลีนคลอโรไฮดริน

$$2CH_3CHOHCH_2Cl + Ca(OH)_2 \longrightarrow 2CH_3CH\!-\!CH_2 + CaCl_2 + 2H_2O$$

โพรพิลีนคลอโรไฮดริน แคลเซียมไฮดรอกไซด์ โพรพิลีนออกไซด์ แคลเซียมคลอไรด์ น้ำ

นอกจากนี้ ยังสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้นเอทิลเบนซีนไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (ethylbenzene hydroperoxide) กับโพรพิลีนที่ภาวะอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความดัน 35 บาร์ โดยมีโมลิบดินัม (molybdinum) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

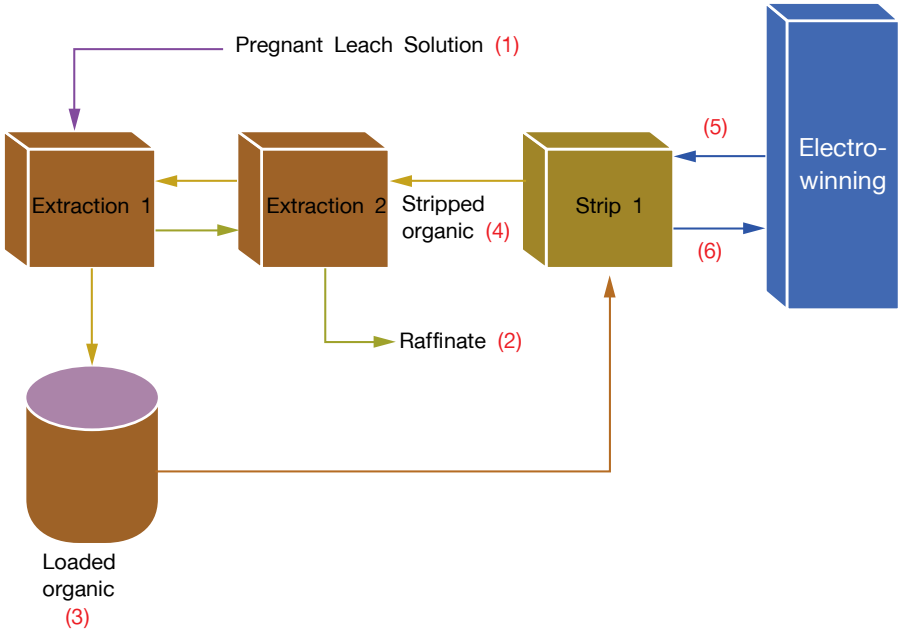
$$C_6H_5\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}COOH + CH_3CH{=}CH_2 \longrightarrow CH_3{-}\underset{\displaystyle O}{CH}{-}CH_2 + C_6H_5CHCH_3\ (OH)$$

เอทิลเบนซีนไฮโดรเพอร์ออกไซด์ โพรพิลีน โพรพิลีนออกไซด์ แอลฟาฟีนิลเอทิลแอลกอฮอล์

ส่วนใหญ่ใช้สังเคราะห์โพรพิลีนไกลคอล (ดู propylene glycol) นอกจากนั้น ใช้สังเคราะห์โพรพิลีน-คาร์บอเนต (propylene carbonate) และทำปฏิกิริยาการเปลี่ยนไอโซเมอร์ (isomerization) เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างเป็นแอลลิลแอลกอฮอล์ (allyl alcohol)

**radiation polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบเหนี่ยวนำด้วยรังสี**
การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบสายโซ่โดยการฉายรังสีพลังงานสูง เช่น ลำอิเล็กตรอน (electron beam) ลำนิวตรอน (neutron beam) ลำอนุภาคแอลฟา (alpha beam) รังสีเอกซ์ (X-ray) หรือรังสีแกมมา ($\gamma$-ray) ให้มอนอเมอร์ จากนั้นมอนอเมอร์จะแตกตัวเป็นแคตไอออนอนุมูลอิสระ (free radical cation) เพื่อเป็นสารเริ่มปฏิกิริยา แล้วเริ่มเกิดเป็นพอลิเมอร์ ตัวอย่างเช่น การเกิดพอลิเมอร์ของไอโซโพรพิลไวนิลอีเทอร์ (isopropyl vinyl ether) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

**raffinate แรฟฟิเนต**
ของเหลวที่เหลือหลังจากการสกัด (ดู extraction) ในขั้นตอนการสกัด ตัวทำละลายจะละลายสารที่ต้องการออกไปจากสารผสม ได้สารละลายที่เรียกว่า ผลสกัด (ดู extract) ซึ่งประกอบด้วยสารที่ต้องการ และตัวทำละลายส่วนใหญ่แยกชั้นออกจากแรฟฟิเนต ซึ่งประกอบด้วยสารที่ไม่ต้องการและสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในสารผสมเริ่มต้น รวมทั้งตัวทำละลายส่วนน้อย

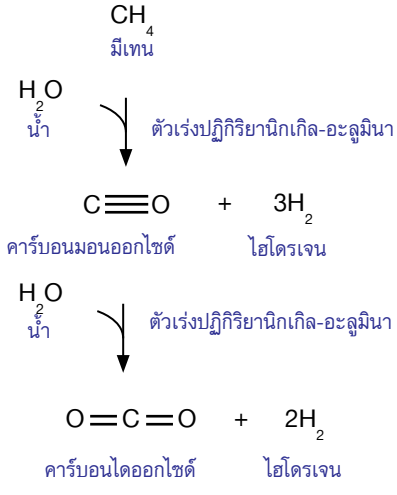


แผนภูมิกระบวนการสกัด

**redox polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบรีดอกซ์**
การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระโดยอาศัยสารเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ (redox initiator) เป็นสารสร้างอนุมูลอิสระ (free radical) ตัวอย่างเช่น ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) กับเฟอร์ริกไอออน ($Fe^{3+}$) ข้อดีของการใช้สารเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์คือมีค่าคงตัวของอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง และสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้ที่อุณหภูมิในช่วงกว้างและต่ำได้จนถึง –50 องศาเซลเซียส

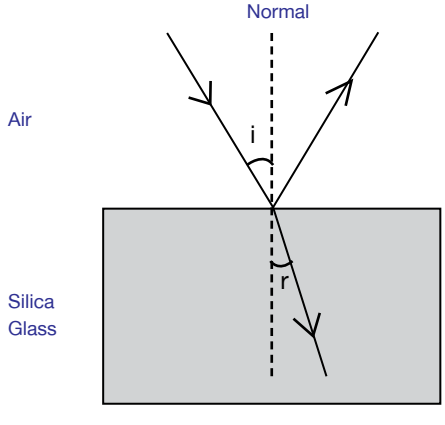
**reformate รีฟอร์มเมต**
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรีฟอร์ม (ดู reforming) ตัวอย่างเช่น สารแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ที่ได้จากการรีฟอร์มแนฟทา (ดู naphtha) ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมในกระบวนการแพลทฟอร์มมิง (platforming)

**reforming รีฟอร์มมิง, การรีฟอร์ม**
การเปลี่ยนโครงสร้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอน วิธีหนึ่งของการเปลี่ยน (conversion) ด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น การเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวโซ่ตรงให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแอโรแมติก โดยการรีฟอร์มแนฟทา (ดู naphtha) ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแพลทฟอร์มมิง (platforming) หรือการเปลี่ยนมีเทน (ดู methane) เป็นไฮโดรเจนโดยกระบวนการมีเทนรีฟอร์มมิง (methane reforming)




แผนภูมิกระบวนการมีเทนรีฟอร์มมิง

**refractive index, index of refraction ดัชนีหักเห**
อัตราส่วนของความเร็วแสงในสุญญากาศต่อความเร็วแสงที่ผ่านวัสดุ ซึ่งแสดงในรูปอัตราส่วนของมุมตกกระทบต่อมุมหักเห (sin i/sin r) สารหนึ่งๆ มีค่าดัชนีหักเหเฉพาะตัว เป็นสมบัติที่ใช้วัดความบริสุทธิ์หรือระบุชนิดของพอลิเมอร์ และลักษณะทางแสงของพอลิเมอร์ วัดโดยวิธีมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน ASTM D542 ใช้ประโยชน์ในการออกแบบการหักเหของแสงในเส้นใยนำแสง (optic fiber) เพื่อใช้ในการส่งผ่านข้อมูลโดยแสง




การหักเหของแสง





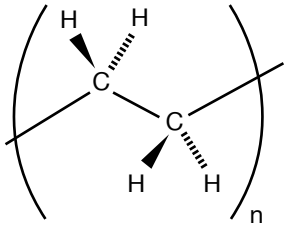
การหักเหของแสง

**ตัวอย่างค่าดัชนีหักเหในพลาสติก**

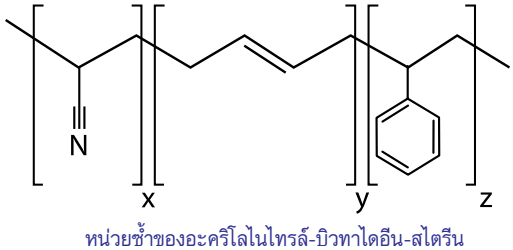
| พลาสติก | ค่าดัชนีหักเห |
|---|---|
| พอลิเททระฟลูออโรเอทิลีน | 1.35 |
| พอลิเอทิลีน | 1.51-1.52 |
| พีวีซี | 1.52-1.55 |
| พอลิสไตรีน | 1.59-1.60 |
| พอลิซัลโฟน | 1.633 |

**repeating unit หน่วยซ้ำ**

หน่วยโครงสร้างที่เล็กและง่ายที่สุดของพอลิเมอร์ บ่งชี้ถึงประเภทและสมบัติของพอลิเมอร์ โดยปกติ มอนอเมอร์จะเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่จะประกอบรวมกันเป็นพอลิเมอร์ โครงสร้างที่ง่ายที่สุดของหน่วยซ้ำเขียนแทนด้วย $+M+_n$ เมื่อ M คือ หน่วยซ้ำ และ n คือ ระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีน (ดู polyethylene) ($+CH_2\text{-}CH_2+_n$) หน่วยซ้ำคือ เอทิลีน (ดู ethylene) ($CH_2\text{-}CH_2$) ในหน่วยของพอลิเมอร์ร่วม (ดู copolymer) มีหน่วยซ้ำมากกว่า 1 ชนิด เช่น อะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (ดู acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)) และพอลิเมอร์บางชนิดไม่สามารถหาหน่วยซ้ำได้ เนื่องจากมีการเชื่อมขวางมาก เช่น ยางธรรมชาติ (ดู natural rubber) ที่ผ่านการบ่มแล้ว




หน่วยซ้ำของพอลิเอทิลีน




หน่วยซ้ำของอะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน

**resin เรซิน**

วัสดุของแข็งหรือกึ่งของแข็งที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และไม่มีจุดหลอมเหลวที่ชัดเจน มีแนวโน้มไหลได้เมื่อมีความเค้น และแตกร้าวได้เมื่อมีการดึงยืด ในความหมายเดิมหมายถึง วัสดุอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งได้จากพืชหรือต้นไม้โดยเฉพาะตระกูลสน เช่น กำยาน ยางสน แต่ปัจจุบันรวมถึงพอลิเมอร์ด้วย โดยทั่วไปเรียกแทนกันได้ระหว่างเรซิน พอลิเมอร์ และพลาสติก ถึงแม้จะมีความหมายต่างกัน สามารถนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง เช่น เครื่องประดับ รูปหล่อปั้น ของตกแต่งของเล่น เป็นต้น



เรซิน



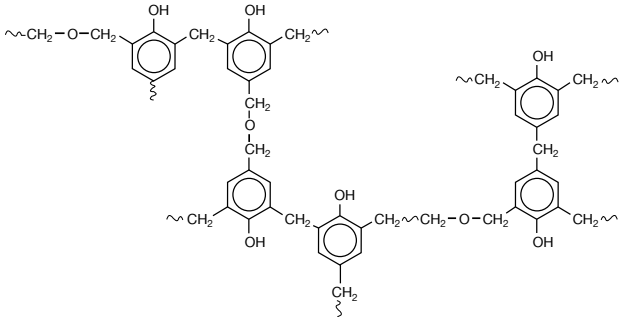
เครื่องประดับ วัสดุทำจากเรซิน



รูปหล่อเรซิน

**resole resin เรซินรีโซล**

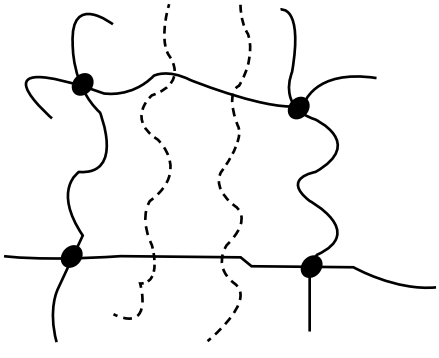
พอลิเมอร์ประเภทเทอร์มอเซต (ดู thermosetting polymer) เรซินฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ (ดู phenol-formaldehyde resin) ประเภทหนึ่งที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์ (ดู formaldehyde) มากเกินพอกับฟีนอล (ดู phenol) ในภาวะที่มีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถเกิดการเชื่อมขวางโครงสร้างเป็นร่างแหได้เอง โดยไม่ต้องเติมสารเชื่อมขวาง (crosslinking agent)



โครงสร้างของเรซินรีโซล

**semi-interpenetrating polymer network (SIPN) โครงข่ายพอลิเมอร์แบบกึ่งสอดไขว้ (เอสไอพีเอ็น)**

โครงสร้างของพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย 2 ชนิดขึ้นไป ที่สายโซ่สอดไขว้กันโดยไม่เกิดพันธะโคเวเลนต์ สังเคราะห์โดยการเติมมอนอเมอร์ (ดู monomer) เข้าไปในพอลิเมอร์ที่มีโครงตาข่ายโดยไม่ใช้สารเชื่อมขวาง เกิดเป็นพอลิเมอร์ชนิดที่สองสอดไขว้กับโครงตาข่ายของพอลิเมอร์ชนิดแรกโดยไม่มีการเชื่อมขวาง ตัวอย่างเช่น โครงสร้างโครงข่ายพอลิเมอร์แบบกึ่งสอดไขว้ของยางบิวทาไดอีน (ดู butadiene rubber) ในร่างแหของพอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethyl methacrylate)



โครงสร้างโครงข่ายพอลิเมอร์แบบกึ่งสอดไขว้

**separation การแยก**

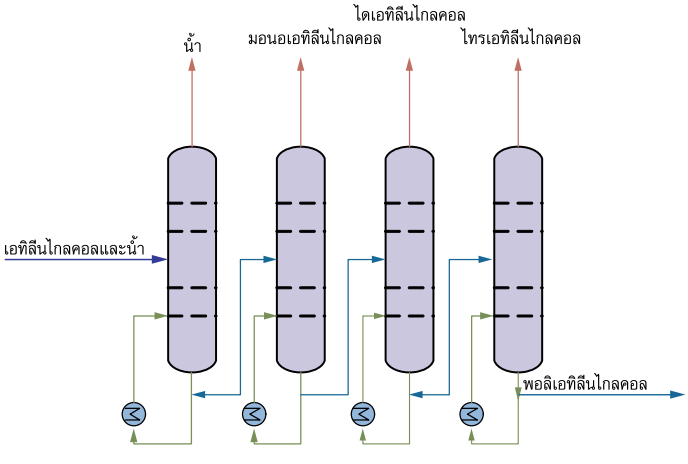
การแยกสารผสมออกจากกันโดยการแยกวัฏภาค (phase) เช่น การแยกวัฏภาคไอ-ของเหลว สารละลาย-พื้นผิวรูพรุนของเหลว-ของแข็ง กระบวนการแยกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้แก่

1) การกลั่น (ดู distillation) เป็นการแยกสารโดยใช้ความแตกต่างของความดันไอ (vapor pressure) ขององค์ประกอบแต่ละชนิดในสารผสม เมื่อได้รับความร้อนจนถึงจุดเดือด ตัวอย่างเช่น การแยกเอทิลีนไกลคอล (ดู ethylene glycol) ออกจากน้ำด้วยการกลั่นลำดับส่วน

2) การดูดซับ (ดู adsorption) เป็นการแยกสารโดยใช้สารดูดซับ (adsorbent) ที่มีขนาดของช่องว่างของรูพรุนที่เหมาะกับตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ตัวอย่างเช่น การแยกพาราไซลีน (p-xylene) ออกจากไซลีนผสม (mixed xylene) ด้วยการดูดซับโดยใช้ตัวกรองระดับโมเลกุล (molecular sieve)

3) การสกัด (ดู extraction) เป็นการแยกสารโดยใช้ความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันขององค์ประกอบแต่ละชนิดในตัวทำละลาย (solvent) ที่ใช้สกัด ตัวอย่างเช่น การแยกบิวทาไดอีน (ดู butadiene) ออกจากซี 4 ผสม (ดู mixed C4) ด้วยการสกัดโดยใช้แอซิโทไนไทรล์ (ดู acetonitrile) เป็นตัวทำละลาย

4) การตกผลึก (ดู crystallization) เป็นการแยกสารโดยใช้ความแตกต่างของจุดเยือกแข็ง (freezing point) ขององค์ประกอบแต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น การแยกพาราไซลีนออกจากเมทาไซลีน (m-xylene) ด้วยการตกผลึก



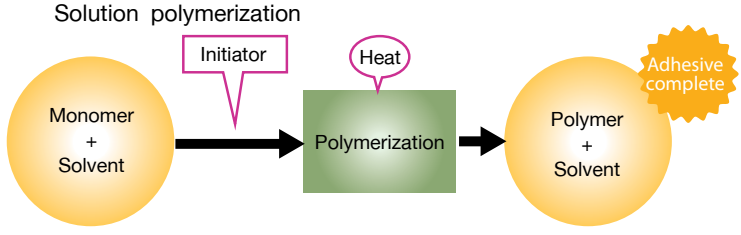

การกลั่นแยกผลิตภัณฑ์เอทิลีนไกลคอลออกจากน้ำ และการกลั่นเพื่อให้ได้สารบริสุทธิ์ชนิดต่างๆ

**shift conversion การเปลี่ยนแบบเลื่อน**

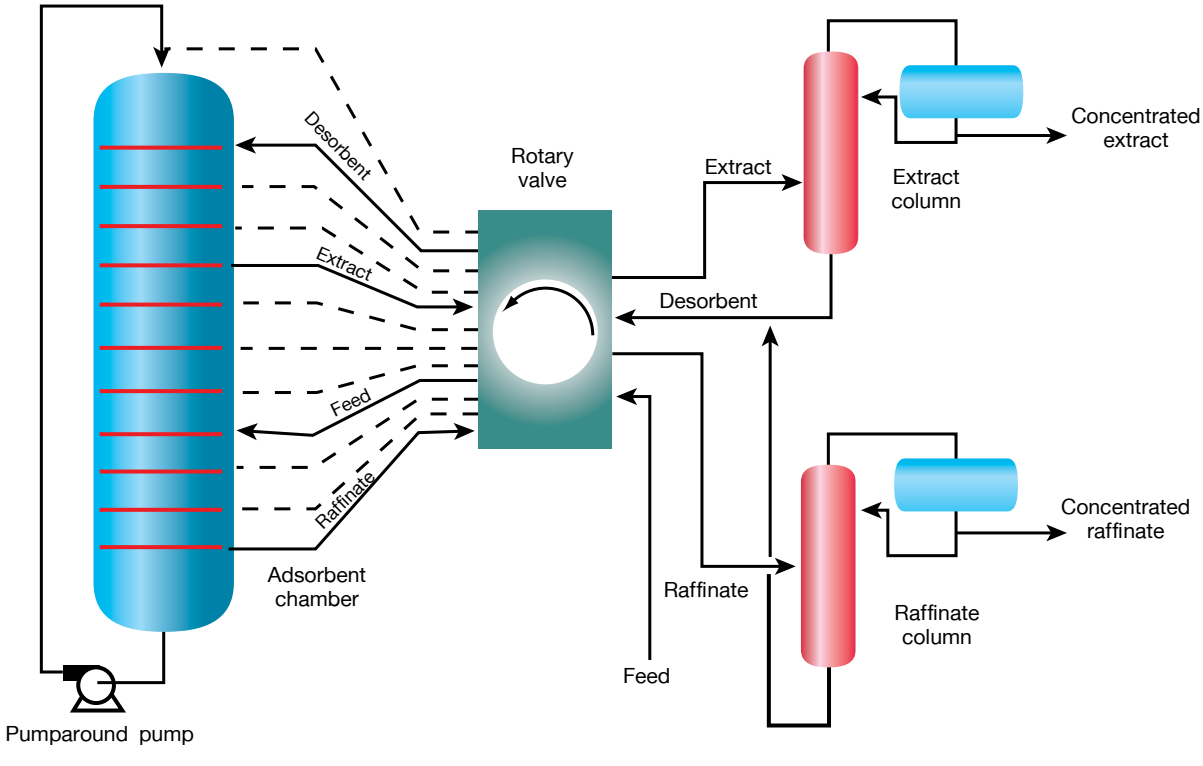
ดู steam reforming

**solution polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบสารละลาย**

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายการเกิดพอลิเมอร์แบบบัลก์ (ดู bulk polymerization) แต่ใช้ตัวทำละลาย (ดู solvent) ที่ละลายได้ทั้งมอนอเมอร์ (ดู monomer) และพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นต้องเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีสมบัติเหมาะสมคือ ไม่ไวต่อการถ่ายโอนสายโซ่หรือต้องไม่มีสารปนเปื้อนที่ไวต่อปฏิกิริยา การใช้ตัวทำละลายช่วยให้เกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึง ลดความไวของปฏิกิริยาของมอนอเมอร์บางชนิดที่สูงมาก และเพื่อไม่ให้ความหนืดของระบบสูงเกินไป รวมทั้งช่วยระบายความร้อนออก แต่มีข้อเสียคือ ความยุ่งยากในการแยกตัวทำละลายออกจากพอลิเมอร์และต้องเสียค่าใช้จ่ายมากในการผลิตระดับอุตสาหกรรม ตัวอย่างกระบวนการผลิตทางการค้า เช่น กระบวนการผลิตพอลิเมอร์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย เช่น แล็กเกอร์หรือกาว



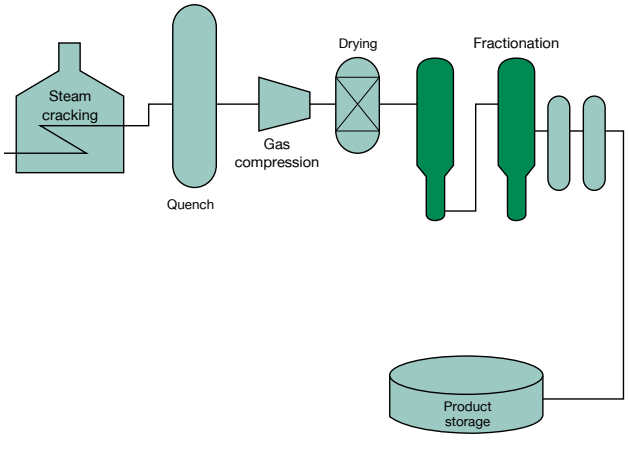

แผนภาพการเกิดพอลิเมอร์แบบสารละลาย




การดูดซับพาราไซลีนโดยใช้ตัวกรองระดับโมเลกุลของบริษัท ยูโอพี

**solvent ตัวทำละลาย**
ของเหลวหรือตัวทำละลายที่ใช้สกัดตัวถูกละลายที่ต้องการออกจากของผสม ตัวอย่างเช่น แอซีโทไนไทรล์ (ดู acetonitrile) เป็นสารที่ใช้สกัดบิวทาไดอีน (ดู butadiene) ออกจากซี 4 ผสม (ดู mixed C4)

**steam cracking การแตกตัวโดยใช้ไอน้ำร่วมด้วย**
การแตกตัวสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (saturated hydrocarbon) เช่น แนฟทา (ดู naphtha) ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (liquefied petroleum gas) และอีเทน (ดู ethane) ให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon) หรือโอเลฟิน (ดู olefin) ที่มีขนาดเล็กลง ได้แก่ เอทิลีน (ดู ethylene) โพรพิลีน (ดู propylene) โดยให้ความร้อนแก่อีเทน ผสมกับไอน้ำที่ไหลผ่านท่อที่อุณหภูมิระหว่าง 815-927 องศาเซลเซียส โดยใช้ช่วงเวลาสั้นๆ เป็นเศษส่วนของวินาที ไอน้ำทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไป โดยเกิดปฏิกิริยากับถ่านโค้กและลดโอกาสการสะสมที่ผนังท่อ ก๊าซผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ได้จากกระบวนการผ่านเข้าสู่ระบบทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (quench) เพื่อลดอุณหภูมิของก๊าซผลิตภัณฑ์ลงที่ประมาณ 550-600 องศาเซลเซียส ช่วยป้องกันการสลายตัวของสารโอเลฟินและเป็นการเพิ่มปริมาณเอทิลีนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลัก เอทิลีนและโพรพิลีนที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปเข้ากระบวนการการเกิดพอลิเมอร์เพื่อสังเคราะห์เป็นพอลิเอทิลีน (ดู polyethylene) และพอลิโพรพิลีน (ดู polypropylene) ตามลำดับ




การผลิตโอเลฟินโดยการแตกตัวโดยใช้ไอ

**steam reforming การรีฟอร์มด้วยไอน้ำ**
การผลิตก๊าซสังเคราะห์ (ดู synthesis gas) จากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเบา (light ends) ได้แก่ มีเทน (ดู methane) อีเทน (ดู ethane) และโพรเพน (ดู propane) ตัวอย่างเช่น การผลิตก๊าซสังเคราะห์จากมีเทน ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน
1) การรีฟอร์ม (ดู reforming) เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนมีเทนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) และไฮโดรเจน โดยทำปฏิกิริยากับไอน้ำ ณ อุณหภูมิ 760-816 องศาเซลเซียส โดยมีนิกเกิลออกไซด์ (nickel oxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$CH_4 + H_2O \longrightarrow CO + 3H_2$$
มีเทน ไอน้ำ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน

2) ชิฟท์คอนเวอร์ชัน (shift conversion) เป็นปฏิกิริยาของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide) ณ อุณหภูมิ 343 องศาเซลเซียส โดยมีโครเมียม (chromium) และเหล็กออกไซด์ (iron oxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$$
คาร์บอนมอนอกไซด์ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน

3) การทำให้ก๊าซบริสุทธิ์ (gas purification) เป็นการขจัดคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยการดูดซึม (ดู absorption) โดยใช้สารละลายเอมีน (ดู amine) หรือโพแทสเซียมคาร์บอเนตร้อน (potassium carbonate)

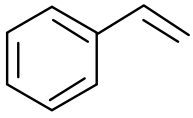
4) การสังเคราะห์มีเทน (methanation) เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลืออยู่ให้เป็นมีเทน โดยทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน ณ อุณหภูมิ 370-427 องศาเซลเซียส โดยมีโลหะนิกเกิล (nickel) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$CO + 3H_2 \longrightarrow CH_4 + H_2O$$
คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน ไอน้ำ

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$$
คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน ไอน้ำ

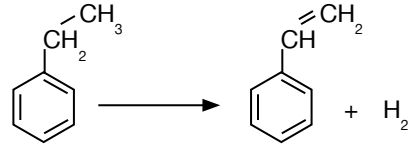
**styrene, styrene monomer (SM) สไตรีน, สไตรีนมอนอเมอร์ (เอสเอ็ม)**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทไวนิล (vinyl) ที่มีหมู่แอโรแมติกส์ (ดู aromatics) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนในโครงสร้างเอทิลีน (ดู ethylene) สูตรโครงสร้าง $C_8H_8$



สไตรีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลวคล้ายน้ำมัน ไม่มีสี กลิ่นหอมหวาน ระเหยได้ง่าย ไม่ละลายน้ำ ว่องไวต่อปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) เมื่อได้รับแสงหรือมีอนุมูลอิสระ (free radical) เป็นสารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการดึงไฮโดรเจน (ดู dehydrogenation) ออกจากสารตั้งต้นเอทิลเบนซีน (ดู ethyl benzene) ที่ภาวะอุณหภูมิ 600-700 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ โดยใช้เหล็ก (III) ออกไซด์ (iron (III) oxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



เอทิลเบนซีน สไตรีน ไฮโดรเจน

ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิสไตรีน (ดู polystyrene) และพอลิเมอร์ร่วมอื่นๆ (ดู copolymer) เช่น ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน (styrene-butadiene rubber) และพอลิเมอร์ร่วมอะคริโลไนไทรล์-สไตรีน-บิวทาไดอีน (polyacrylonitrile-styrene-butadiene) เป็นต้น



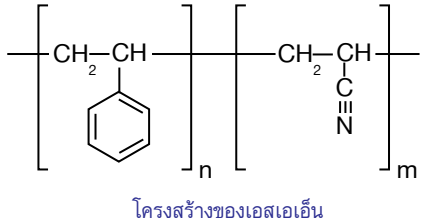

สไตรีนมอนอเมอร์



ยางสไตรีนบิวทาไดอีน

**styrene-acrylonitrile (SAN) สไตรีน-อะคริโลไนไทรล์ (เอสเอเอ็น)**

พอลิเมอร์ร่วม (ดู copolymer) ระหว่างสไตรีน (ดู styrene) กับอะคริโลไนไทรล์ (ดู acrylonitrile) มีสายโซ่ตรงและลักษณะเป็นอสัณฐาน (amorphous) สังเคราะห์จากการเกิดพอลิเมอร์แขวนลอยมวลแบบต่อเนื่อง (continuous mass suspension polymerization) หรือการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (ดู emulsion polymerization) มีลักษณะโปร่งใส (transparent) และความต้านทานสารเคมีหลายชนิด (chemical resistance) เช่น สารไฮโดรคาร์บอนแอลิเฟทิก (aliphatic hydrocarbon) กรดที่ไม่เป็นตัวเติมออกซิเจน ด่าง (alkalis) น้ำมันจากพืช วัตถุดิบ ประกอบอาหาร แอลกอฮอล์บางชนิด (alcohol) และสารซักฟอก (detergent) แต่ไม่ทนสารแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon) คีโทน (ดู ketone) เอสเทอร์ (ester) และสารไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (chlorinated hydrocarbon) มีความต้านทานแรงกระแทก (impact resistance) และมีจุดอ่อนตัว (softening point) สูงกว่าพอลิสไตรีน (polystyrene) สมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณอะคริโลไนไทรล์มอนอเมอร์ในสายโซ่ นิยมผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เช่น ถังใส่น้ำแข็ง ถาดเสิร์ฟอาหาร ลิ้นชักในตู้เย็น บรรจุภัณฑ์เครื่องสำอาง ด้ามแปรงสีฟัน ปลอกปากกาดินสอ เป็นต้น



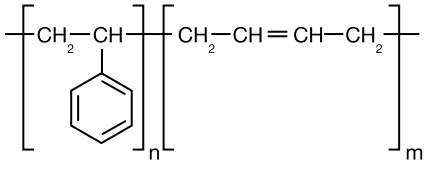
โครงสร้างของเอสเอเอ็น



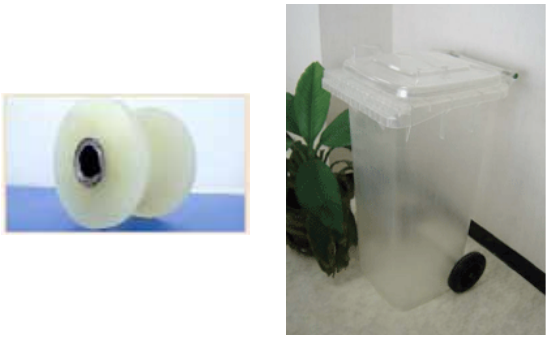
เหยือกน้ำและแก้วน้ำ

**styrene-butadiene copolymer พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-บิวทาไดอีน**

พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก (block copolymer) ที่มีสไตรีน (ดู styrene) มากกว่าร้อยละ 50 สังเคราะห์จากการเกิดพอลิเมอร์แบบสารละลาย (solution polymerization) และใช้แอลคิลลิเทียม (alkyl lithium) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนที่เป็นพอลิสไตรีนในสายโซ่แสดงสมบัติของเทอร์มอพลาสติก มีสภาพแข็งเกร็ง (rigidity) มันวาว (gloss) และมีสภาพเข้ากันได้ (compatibility) กับพอลิเมอร์ตัวอื่นๆ ที่มีสไตรีนเป็นองค์ประกอบ ส่วนพอลิบิวทาไดอีนแสดงสมบัติด้านความเหนียว (toughness) และความต้านทานแรงกระแทก (impact resistance) มักใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ เช่น แผงบรรจุภัณฑ์ยา (blister packs) ผลิตส่วนประกอบในของเล่น หรือผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเครื่องมือแพทย์ อุปกรณ์สำนักงาน บรรจุภัณฑ์ใช้แล้วทิ้ง เช่น แก้วน้ำ พลาสติกห่ออาหาร ผัก และผลไม้ เป็นต้น



สูตรโครงสร้างของพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-บิวทาไดอีน



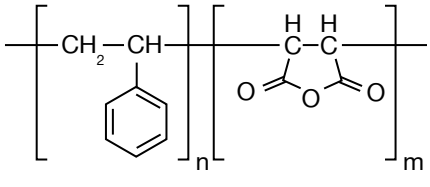
ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-บิวทาไดอีน




แผงบรรจุภัณฑ์ยา

**styrene-maleic anhydride (SMA) สไตรีน-มาเลอิก-แอนไฮไดรด์ (เอสเอ็มเอ)**

พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่มระหว่างสไตรีน (ดู styrene) กับมาเลอิก-แอนไฮไดรด์ (ดู maleic anhydride) มีมาเลอิกแอนไฮไดรด์เกาะบนสายโซ่ของพอลิสไตรีนแบบสุ่ม (ดู polystyrene) พอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ทนความร้อนได้สูง มีความเสถียรในโครงสร้างทิศทางการเรียงตัว หน่วยของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ในสายโซ่พอลิเมอร์ส่งผลให้อุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (glass transition temperature) และอุณหภูมิโก่งตัวด้วยความร้อนสูงขึ้น (heat deflection temperature, HDT) มีความเสถียรความร้อนสูง (thermal stability) อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปในแม่แบบฉีดสูงได้ถึง 287 องศาเซลเซียส นิยมใช้ทำชิ้นส่วนภายในรถยนต์ ถาดที่ใช้ในโรงพยาบาล ถาดและภาชนะที่ใช้กับเตาไมโครเวฟ ตะแกรงในเครื่องปรับอากาศ เลนส์ ถ้วยชามภาชนะบรรจุของร้อน



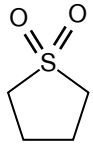
โครงสร้างพอลิเมอร์ร่วมเอสเอ็มเอ



ภายในรถยนต์

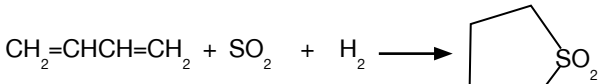
**sulfolane ซัลโฟเลน**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทออร์แกโนซัลเฟอร์ (organo sulfur) ที่มีหมู่ซัลโฟนิล (sulfonyl group, $SO_2$) อยู่ในโครงสร้างวงแหวนห้าเหลี่ยม สูตรโมเลกุล $C_4H_8O_2S$




ซัลโฟเลน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ละลายน้ำได้ดี สังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้น 1,3-บิวทาไดอีน (1,3-butadiene) ทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) และไฮโดรเจน

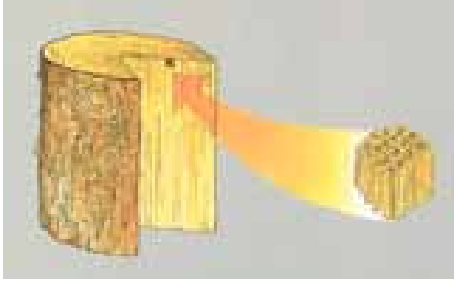



1,3-บิวทาไดอีน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ซัลโฟเลน

เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ และเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม เพื่อขจัดลิกนิน (lignin) ออกจากเนื้อไม้ นอกจากนั้นยังใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์และการปั่นเส้นใย (fiber spinning) เป็นตัวทำละลายสำหรับแยกแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) จากรีฟอร์มเมต (ดู reformate)



ซัลโฟเลน



ลิกนินจากเนื้อไม้



อุตสาหกรรมต่อเนื่องบางประเภทที่นำลิกนินมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ







การปั่นเส้นใยเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

**surfactant สารลดแรงตึงผิว**

สารที่เมื่อละลายน้ำแล้วช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัวเป็นหมู่ชอบน้ำ (hydrophilic) และ ส่วนหางเป็นหมู่ไม่ชอบน้ำแต่ชอบน้ำมัน (hydrophobic) สารลดแรงตึงผิวมี 4 ชนิด คือ ประเภทแอนไอออนนิก (anionic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำเป็นประจุลบ ประเภทแคตไอออนนิก (cationic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำเป็นประจุบวก ไม่สามารถทำหน้าที่ได้ในภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง คือค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระหว่าง 10–11 ประเภทนอนไอออนนิกหรือไม่มีประจุ (nonionic surfactant) และประเภทแอมโฟเทอริก (amphoteric surfactant หรือ zwitterion) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าส่วนที่ชอบน้ำ เป็นได้ทั้งประจุบวกและลบขึ้นอยู่กับภาวะแวดล้อม ถ้าภาวะแวดล้อมเป็นด่าง (ค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงกว่า 7) ประจุไฟฟ้าจะเป็นลบ ถ้าภาวะแวดล้อมเป็นกรด (ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่า 7) ประจุไฟฟ้าจะเป็นบวก เป็นผลิตภัณฑ์สำคัญของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ใช้เป็นองค์ประกอบหลักในผลิตภัณฑ์ประเภทชำระล้างทำความสะอาดต่างๆ เช่น ผงซักฟอก น้ำยาปรับผ้านุ่ม สบู่ แชมพูสระผม ครีมนวดผม เป็นต้น นอกจากนี้ ยังนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการแยกต่างๆ เช่น การขจัดน้ำมัน หรือโลหะหนักออกจากน้ำเสีย เป็นต้น




ผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่มีสารลดแรงตึงผิวประเภทแอนไอออนนิก




น้ำยาปรับผ้านุ่มที่มีสารลดแรงตึงผิวประเภทแคตไอออนนิก



ผงซักฟอกและน้ำยาปรับผ้านุ่ม

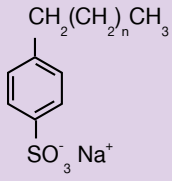


ไฮดรอกซีเมทิลเซลลูโลส

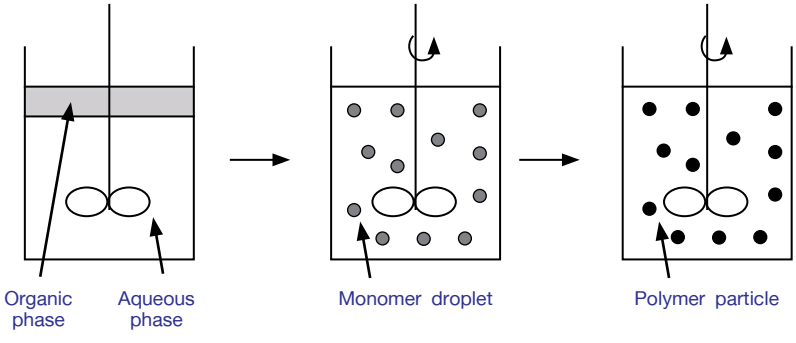


สารลดแรงตึงผิวประเภทนอนไอออนนิก

**ตารางประเภทของสารลดแรงตึงผิวและการใช้ประโยชน์**

| ประเภท | คำอธิบาย | ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิว | การใช้ประโยชน์ |
|---|---|---|---|
| 1. สารลดแรงตึงผิวประเภทแอนไอออนนิก (anionic surfactant) | สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำเป็นประจุลบ ส่วนมากอยู่ในรูปของคาร์บอก-ซิเลต (carboxylate) ซัลเฟต (sulfate) ซัลโฟเนต (sulfonate) หรือฟอสเฟต (phosphate) |  <br>โซเดียมแอลคิลเบนซีนซัลโฟเนตเชิงเส้น (sodium linear alkylbenzenesulfonate (LAS))<br><br>$R\text{-}CH_2OSO_3^-\ Na^+$<br>โซเดียมแอลคิลซัลเฟต (sodium alkyl sulfate (AS))<br><br>$R\text{-}O(PO_3)^{2-}\ 2Na^+$<br>โซเดียมแอลคิลฟอสเฟต (sodium alkyl phosphate) | ผงซักฟอกและน้ำยาล้างจาน |
| 2. สารลดแรงตึงผิวประเภทแคตไอออนนิก (cationic surfactant) | สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำเป็นประจุบวก โดยส่วนใหญ่เป็นเกลือควอเทอร์-นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium salt) ซึ่งมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถทำงานในภาวะที่มีความเป็นด่างสูง (pH10-11) เนื่องจากเกลือแอมโมเนียมจะเกิดการตกตะกอน | $[RCOO\text{-}CH_2N(CH_3)^+_2(CH_2)^-_2 OOCR]\ Cl^-$<br>เกลือแอลคิลเอสเทอร์แอมโมเนียม (alkyl ester ammonium salts)<br><br>$[\ R\text{-}N^+(CH_3)_3]X^-$<br>เกลือแอลคิลไทรเมทิลแอมโมเนียม (alkyltrimethylammonium salts) | น้ำยาปรับผ้านุ่ม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับการจัดแต่งทรงผม |
| 3. สารลดแรงตึงผิวประเภทนอนไอออนนิก (nonionic surfactant) | สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุโดยมีสารพอลิอีเทอร์ (polyether) หรือพอลิไฮดรอกซิล (polyhydroxyl) เป็นกลุ่มแสดงสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ | $CH_3(CH_2)_{11}\text{-}O\text{-}(CH_2\text{-}CH_2\text{-}O)_7H$<br>แอลกอฮอล์อิทอกซิเลต (alcohol ethoxylates (AE)) | ผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน และผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว |
| 4. สารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าส่วนที่ชอบน้ำเป็นทั้งประจุบวกและลบ (amphoteric surfactant) | สารลดแรงตึงผิวที่แสดงประจุเป็นลบ เมื่อภาวะแวดล้อมเป็นด่าง และแสดงประจุเป็นบวกเมื่อภาวะแวดล้อมเป็นกรด | $RN^+(CH_3)_2CH_2COO^-$<br>แอลคิลบีเทน (alkyl betaine)<br>$RCONH(CH_2)_3N^+(CH_3)_2CH_2COO^-$<br>แอลคิลแอมิโดโพรพิลบีเทน (alkylamidopropyl betaine) | ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิวหรือเส้นผม |

**suspension polymerization, bead polymerization, pearl polymerization, การเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอย, การเกิดพอลิเมอร์แบบเม็ด, การเกิดพอลิเมอร์แบบไข่มุก**
การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่วิธีการคล้ายการเกิดพอลิเมอร์แบบสารละลาย (ดู solution polymerization) แต่มอนอเมอร์อยู่ในวัฏภาคไม่ต่อเนื่อง หรือในวัฏภาคอินทรีย์ (organic phase) เกิดการแขวนลอยเป็นหยดเล็กๆ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.01-1.0 มิลลิเมตรในน้ำซึ่งเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ใช้การกวนและสารช่วยแขวนลอยเพื่อป้องกันไม่ให้หยดมอนอเมอร์รวมตัวกัน สารเคมีที่ใช้เป็นสารช่วยแขวนลอยมี 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์ที่ละลายได้ในน้ำ (water soluble polymer) และสารประกอบอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble inorganic) ปริมาณสารแขวนลอยที่ใช้น้อยกว่าร้อยละ 0.3 เทียบกับน้ำหนักมอนอเมอร์ (ดู monomer) สารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) ละลายได้ในหยดมอนอเมอร์ ภายในหยดมอนอเมอร์แต่ละหยดที่แขวนลอยมีลักษณะคล้ายเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กจนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ในแต่ละหยดเหมือนกับการเกิดพอลิเมอร์แบบบัลก์ (ดู bulk polymerization) ตัวอย่างการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอย เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride (PVC)) โดยใช้ไวนิลคลอไรด์เป็นมอนอเมอร์ในน้ำที่มีพอลิไวนิลแอซีเทต (ดู poly(vinyl acetate)) เป็นสารช่วยแขวนลอย และสารเริ่มปฏิกิริยาคือเพอร์ออกไซด์



การเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอย

**suspension polyvinyl chloride พอลิไวนิลคลอไรด์แบบแขวนลอย**
พีวีซี (ดู polyvinyl chloride (PVC)) ที่สังเคราะห์ได้จากการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอย มีลักษณะเป็นเม็ดหรือเป็นผง นำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ท่อเป็นตลาดใหญ่ที่สุดของพีวีซีแบบแขวนลอย นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง สายเคเบิล ขวด และใช้ห่ออาหาร


ท่อทำจากพีวีซีแบบแขวนลอย

**synthesis gas, syn gas ก๊าซสังเคราะห์**

ก๊าซผสมระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนในสัดส่วนต่างๆ สังเคราะห์จากสารตั้งต้นที่มีไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ในสภาวะก๊าซ ของเหลว หรือของแข็ง ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ แนฟทา (ดู naphtha) ถ่านหิน เป็นต้น หรือจากชีวมวลที่มีเซลลูโลส (ดู cellulose) เป็นองค์ประกอบหลัก ใช้ปฏิกิริยาการรีฟอร์มด้วยไอน้ำ (steam reforming) ออกซิเดชันบางส่วน (partial oxidation) หรือการแปรสภาพเป็นก๊าซ (gasification) สัดส่วนระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนขึ้นอยู่กับทั้งวัตถุดิบที่ใช้ ปฏิกิริยา และภาวะการผลิต และปรับให้สอดคล้องกับความต้องการใช้ก๊าซสังเคราะห์ ในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดได้ ปฏิกิริยาการสังเคราะห์และภาวะการผลิตขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ

(1) การรีฟอร์มก๊าซธรรมชาติ (มีเทน) ด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส โดยมีนิกเกิล (nickel) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$\underset{\text{มีเทน}}{CH_4} + \underset{\text{ไอน้ำ}}{H_2O} \longrightarrow \underset{\text{คาร์บอนมอนอกไซด์}}{CO} + \underset{\text{ไฮโดรเจน}}{3H_2}$$

(2) ออกซิเดชันบางส่วนของก๊าซธรรมชาติ

$$\underset{\text{มีเทน}}{CH_4} + \underset{\text{ออกซิเจน}}{\tfrac{1}{2}O_2} \longrightarrow \underset{\text{คาร์บอนมอนอกไซด์}}{CO} + \underset{\text{ไฮโดรเจน}}{2H_2}$$

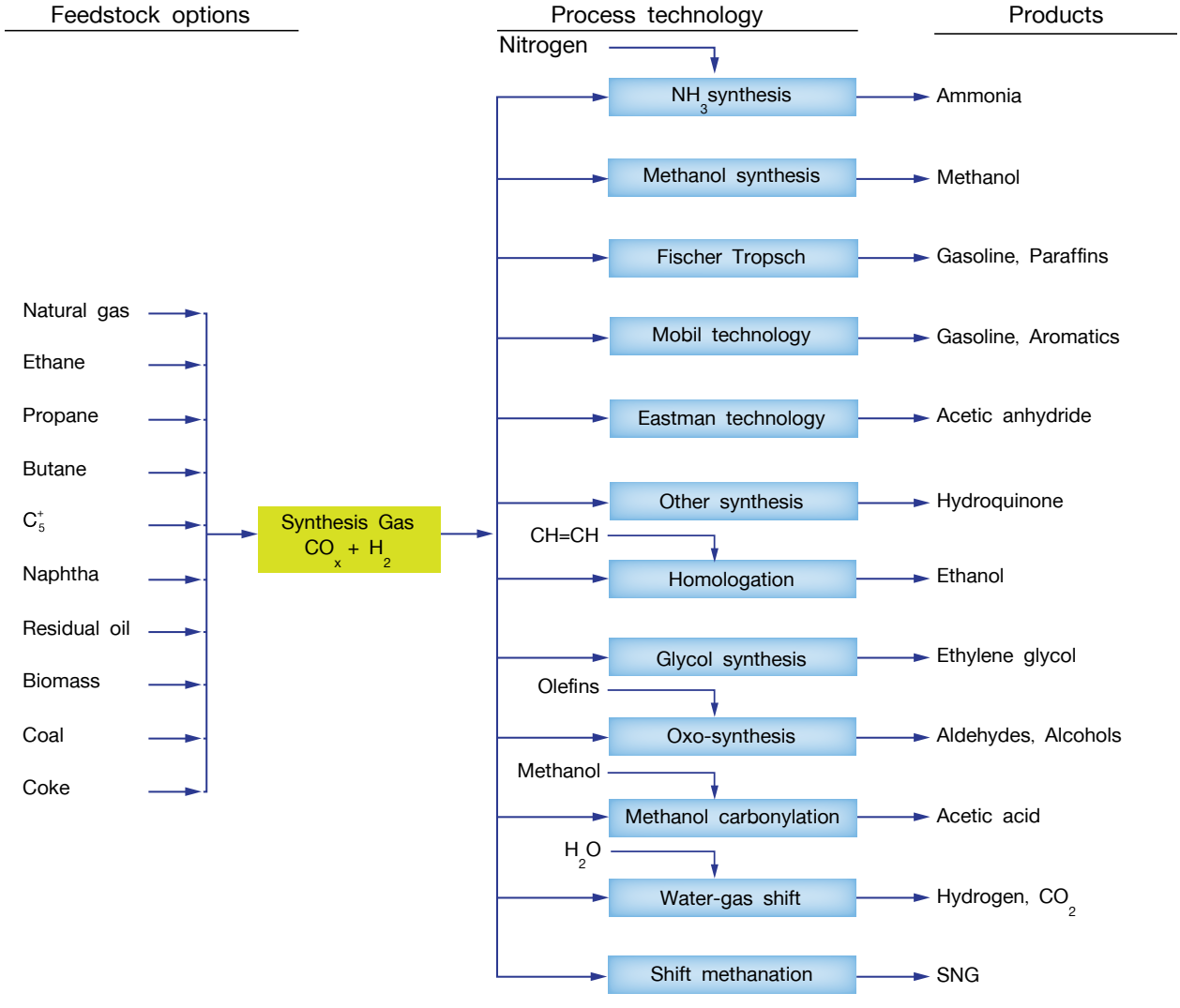
(3) การรีฟอร์มแนฟทา ซึ่งเป็นของผสมของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีอะตอมคาร์บอน 5-10 อะตอม 9 (C5-C10) ด้วยไอน้ำ ใช้เฮพเทน (heptane) เป็นตัวแทนในปฏิกิริยา

$$\underset{\text{แนฟทา}}{CH_3(CH_2)_5CH_3} + \underset{\text{ไอน้ำ}}{7H_2O} \longrightarrow \underset{\text{คาร์บอนมอนอกไซด์}}{7CO} + \underset{\text{ไฮโดรเจน}}{15H_2}$$

(4) การแปรสภาพเป็นก๊าซ (gasification) ของถ่านหิน ใช้คาร์บอนเป็นตัวแทนในปฏิกิริยา

$$\underset{\text{ถ่านหิน}}{3C} + \underset{\text{ออกซิเจน}}{O_2} + \underset{\text{ไอน้ำ}}{H_2O} \longrightarrow \underset{\text{คาร์บอนมอนอกไซด์}}{3CO} + \underset{\text{ไฮโดรเจน}}{H_2}$$

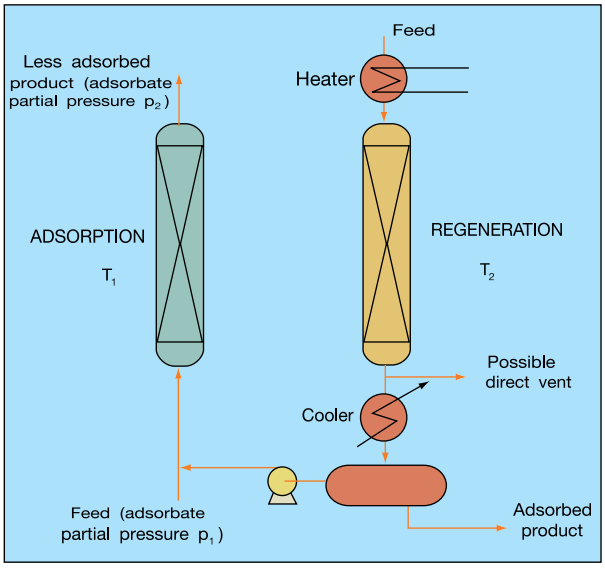
วัตถุดิบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (สัดส่วนระหว่างอะตอมคาร์บอนต่อไฮโดรเจนสูง) ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อไฮโดรเจนสูง ตัวอย่างเช่น เปรียบเทียบการใช้วัตถุดิบระหว่างเฮพเทน (heptane) อีเทน (ดู ethane) และมีเทน (ดู methane) จะให้สัดส่วนระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อไฮโดรเจน เท่ากับ 1:2.1 1:2.5 และ 1:3 ตามลำดับ นอกจากการเลือกใช้วัตถุดิบแล้ว อาจใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย หรือใช้ปฏิกิริยาอื่นช่วยปรับสัดส่วนภายหลัง เช่น ปฏิกิริยาเลื่อนระหว่างไอน้ำกับก๊าซ (water-gas shift reaction) เป็นต้น ก๊าซสังเคราะห์เป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) ที่สำคัญในการผลิตเมทานอล (methanol) สารตั้งต้นของสารเคมีอื่นๆ นอกจากนี้ ยังใช้ผลิตก๊าซแอมโมเนีย (ดู ammonia) แนฟทา และก๊าซออยล์ (gas oil) โดยการสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปช์ (Fisher-Tropsch synthesis) และใช้ในกระบวนการไฮโดรฟอร์มิลเลชัน (ดู hydroformylation) เพื่อผลิตออกโซแอลดีไฮด์ (oxoaldehyde) และแอลกอฮอล์ เป็นต้น




แผนภาพการนำก๊าซสังเคราะห์ไปใช้ผลิตสารต่างๆ

**temperature swing adsorption (TSA) การดูดซับชนิดสลับอุณหภูมิ (ทีเอสเอ)**

เทคโนโลยีการแยกก๊าซออกจากก๊าซผสม เนื่องจากก๊าซมีความสามารถในการดูดซับบนสารดูดซับต่างกันที่อุณหภูมิต่างกัน ตัวอย่างเช่น การแยกก๊าซผสมที่มีองค์ประกอบคือ A และ B ที่อุณหภูมิต่ำ องค์ประกอบ B มีความสามารถในการดูดซับมากกว่า A ก๊าซผสมไหลเข้าหอดูดซับที่ 1 ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ (โดยทั่วไปอยู่ที่อุณหภูมิห้อง) องค์ประกอบ B ถูกดูดซับภายในหอดูดซับนี้ ส่วนองค์ประกอบ A ที่ไม่ถูกดูดซับไหลออกทางด้านบนของหอดูดซับที่ 1 เมื่อสารดูดซับในหอดูดซับที่ 1 อิ่มตัวจะถูกทำให้คืนสภาพ (regenerate) โดยเพิ่มอุณหภูมิหอดูดซับแล้วผ่านก๊าซเฉื่อยเข้าไปเพื่อไล่ก๊าซ B ออกไปจากสารดูดซับ จากนั้นจึงลดอุณหภูมิของหอดูดซับที่ 1 เพื่อเตรียมรับก๊าซผสมเข้ามาแยกในรอบต่อไป พร้อมกับสลับผ่านก๊าซผสมไปยังหอดูดซับที่ 2 เพื่อทำหน้าที่ดูดซับแทนหอดูดซับที่ 1 นิยมใช้การดูดซับชนิดสลับอุณหภูมิน้อยกว่าการดูดซับชนิดสลับความดัน



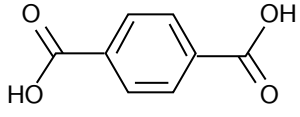

แผนผังกระบวนการดูดซับชนิดสลับอุณหภูมิ

**template polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบใช้แผ่นแบบ**

วิธีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ โดยเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์บนสายโซ่พอลิเมอร์ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้เป็นแผ่นแบบ วิธีการนี้สามารถควบคุมการจัดเรียงตัวโครงสร้างของพอลิเมอร์ได้อย่างจำเพาะ ขึ้นอยู่กับพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นแผ่นแบบ เริ่มจากโมเลกุลของมอนอเมอร์ (ดู monomer) ที่จะใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์ถูกดูดซับบนสายโซ่พอลิเมอร์ที่ใช้เป็นแผ่นแบบ เป็นโมเลกุลเชิงซ้อน (complex molecule) ของมอนอเมอร์ตลอดความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์แผ่นแบบ และจะเกิดปฏิกริยาการเกิดพอลิเมอร์เมื่อมีสารเริ่มปฏิกิริยาแบบอนุมูลจากรอบๆ สายโซ่โมเลกุลเข้าทำปฏิกิริยา และเกิดปฏิกิริยาขั้นแผ่สายโซ่ (propagation step) อย่างรวดเร็ว การสังเคราะห์โดยวิธีนี้ช่วยให้ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เร็วขึ้น โดยทั่วไปเร่งปฏิกิริยาได้ 2-5 เท่า ตัวอย่างปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ เช่น ปฏิกิริยาระหว่างแอลฟาแอมิโนแอซิดกับพอลิสไตรีน-4-ซัลโฟนิกแอซิด หรือเอ็มเอ็มเอพีเอ็มเอ็มเอหรือกรดอะคริลิกกับพอลิเอทิลีนแอมีน เป็นต้น

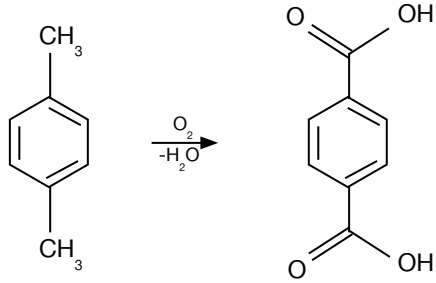
**terephthalic acid (TA, TPA, PTA) กรดเทเรฟแทลิก (ทีเอ, ทีพีเอ, พีทีเอ)**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ที่มีหมู่คาร์บอกซิล 2 หมู่ (carboxylic group, -COOH) อยู่ในตำแหน่งพารา (para position) บนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) เป็นไอโซเมอร์ (isomer) กับกรดพทาลิก (ดู phthalic acid) และไอโซพทาลิก (ดู isophthalic acid) สูตรโมเลกุล $C_8H_6O_4$




กรดเทเรฟแทลิก

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของแข็งสีขาว กลิ่นออกเปรี้ยวเล็กน้อย และระเหิดที่อุณหภูมิ 402 องศาเซลเซียส สังเคราะห์ได้จากการออกซิเดชัน (oxidation) ของสารตั้งต้นพาราไซลีน (p-xylene) โดยใช้โคบอลท์แอซีเทต (cobalt acetate) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและโซเดียมโบรไมด์ (sodium bromide) หรือกรดไฮโดรโบรมิก (hydrobromic acid) เป็นสารเสริม (promoter) ในตัวกลางกรดแอซีติก (ดู acetic acid) ที่ภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และความดัน 15 บาร์




พาราไซลีน เทเรฟแทลิก

เป็นมอนอเมอร์ (ดู monomer) สำหรับผลิตพอลิเอทิลีนเทเรฟ-แทเลต (ดู polyethylene terephthalate (PET)) พอลิเมอร์ที่ใช้ผลิตขวดใสที่เรียกกันทั่วไปว่า ขวดเพ็ต (PET) เส้นใย และแผ่นฟิล์ม



กรดเทเรฟแทลิก



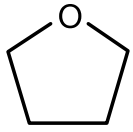
แผ่นฟิล์มเพ็ต





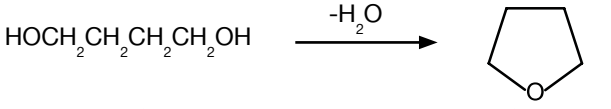
ขวดเพ็ตขนาดและรูปแบบต่างๆ

**tetrahydrofuran (THF) เททระไฮโดรฟูแรน (ทีเอชเอฟ)** สารประกอบอินทรีย์ประเภทอีเทอร์ (ether) โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนห้าเหลี่ยม ที่มีอะตอมออกซิเจนเชื่อมต่อกับอะตอมคาร์บอน 4 อะตอม สูตรโมเลกุล $C_4H_8O$



เททระไฮโดรฟูแรน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ละลายน้ำได้ดี สังเคราะห์โดยการดึงน้ำ (ดู dehydration) ออกจากโมเลกุลสารตั้งต้น 1,4-บิวเทนไดออล (1,4-butanediol)




1,4-บิวเทนไดออล เททระไฮโดรฟูแรน

นอกจากนี้ ยังเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิต 1,4-บิวเทนไดออล โดยใช้สารตั้งต้น 1,3-บิวทาไดอีน (1,3-butadiene) ปฏิกิริยาเกิดผ่าน 1,4-ไดแอซีทอกซีเลต-2-บิวทีน (1,4-diacetoxylate-2-butene)

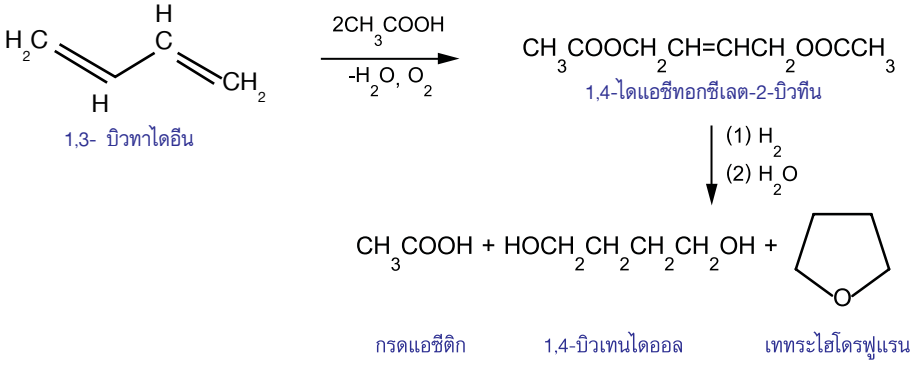
ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride (PVC)) และน้ำมันขัดเงา (varnish) และใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี นอกจากนี้ ยังใช้ผลิตพอลิเททระเมทิลีนอีเทอร์ไกลคอล (polytetramethylene ether glycol) ซึ่งใช้ผลิตเส้นใยพอลิยูริเทน (ดู polyurethane)




เททระไฮโดรฟูแรน



น้ำมันขัดเงาใช้ทาเนื้อไม้




1,3- บิวทาไดอีน 1,4-ไดแอซีทอกซีเลต-2-บิวทีน

กรดแอซีติก 1,4-บิวเทนไดออล เททระไฮโดรฟูแรน



น้ำมันขัดเงาใช้เคลือบเงาเฟอร์นิเจอร์



ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิยูริเทน



วัสดุทำด้วยพอลิยูริเทน

**tex เท็กซ์**

หน่วยที่ใช้วัดความหนาแน่นเชิงเส้น (linear mass density) ของเส้นใย เทียบน้ำหนักเป็นหน่วย กรัมต่อ 1000 เมตร และยังมีหน่วยดีเท็กซ์ (detex) เทียบน้ำหนักเป็นหน่วย กรัมต่อ 10,000 เมตร ใช้กับเส้นใยหลายเส้นที่มัดรวมกัน (filament tex) เท็กซ์ใช้บ่งบอกขนาดของไฟเบอร์ในหลายๆ ชนิด เช่น ก้นกรองบุหรี่ (cigarette filter) เส้นด้ายหนาที่ใช้สำหรับถัก (yarn) และแผ่นผ้าหรือสิ่งทอ (fabric) และสามารถคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยหลายเส้นที่มัดรวมกัน (filament) โดยใช้หน่วยของดีเท็กซ์ (detex) ดังสมการ

$$\phi = \sqrt{\frac{4 \times 10^{-6}\ \text{dtex}}{\pi\rho}}$$

เมื่อ $\rho$ คือ ความหนาแน่นของเส้นใยในหน่วย กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ $\phi$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

**thermal cracking การแตกตัวด้วยความร้อน**

การแตกตัวสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็กโดยใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว ตัวอย่างเช่น กระบวนการแตกตัวของก๊าซออยล์ (gas oil) หรือน้ำมันเตา (fuel oil) ได้น้ำมันเบาที่มีมูลค่าสูงขึ้น เช่น น้ำมันดีเซล (diesel oil) หรือแก๊โซลีน (gasoline)

**thermoplastic elastomers (TPEs), thermoplastic rubber วัสดุยืดหยุ่นเทอร์มอพลาสติก (ทีพีอี), ยางเทอร์มอพลาสติก**
วัสดุที่แสดงสมบัติทั่วไปของยางเทอร์มอเซต (thermoset rubber) เป็นสมบัติหลัก มีความสามารถในการขึ้นรูป (processability) และเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้เช่นเดียวกับเทอร์มอพลาสติก (thermoplastic) ประกอบด้วยพอลิเมอร์อย่างน้อย 2 วัฏภาค (phase) คือ วัฏภาคแข็งที่เป็นเทอร์มอพลาสติก (thermoplastic) และวัฏภาคอ่อนของวัสดุยืดหยุ่น (ดู elastomer) แสดงสมบัติที่เป็นสมบัติรวมของแต่ละวัฏภาค อุณหภูมิหลอมมีผลมาจากวัฏภาคเทอร์มอพลาสติก และอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วมีผลมาจากวัฏภาควัสดุยืดหยุ่น ตัวอย่างของทีพีอี เช่น พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-บล็อก-บิวทาไดอีน-บล็อก-สไตรีน



ยางเทอร์มอพลาสติก




สายนาฬิกาผลิตจากวัสดุยืดหยุ่นเทอร์มอพลาสติก



วัสดุยืดหยุ่นเทอร์มอพลาสติก

**thermoplastic olefin elastomers, olefinic TPEs (TPOs) วัสดุยืดหยุ่นโอเลฟินเทอร์มอพลาสติก, โอเลฟินนิกทีพีอี (ทีพีโอ)**
วัสดุยืดหยุ่นเทอร์มอพลาสติก (ดู thermoplastic elastomers) ประเภทหนึ่งที่มีพอลิโพรพิลีน (polypropylene) เป็นองค์ประกอบหลัก ผสมกับยาง (rubber) ได้วัสดุยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยเทอร์มอพลาสติกของพอลิโอเลฟินแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline thermoplastic polyolefin) และวัสดุยืดหยุ่นแบบอสัณฐาน (amorphous elastomer) จึงมีความอ่อนนุ่มมากและยืดหยุ่น ไปจนถึงมีความแข็งมากและเปราะ ชนิดที่พบได้มากที่สุดคือ พอลิโพรพิลีนเอกพันธ์ (polypropylene homopolymer) หรือพอลิเมอร์ร่วมเอทิลีนโพรพิลีนและยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน เทอร์มอพลาสติกอิลาสโตเมอร์โอเลฟินมีสมบัติรวมกันของความต้านทานแรงกระแทกได้ดีมากที่อุณหภูมิต่ำ ความแข็งตึงสูง อัตราการไหลเมื่อหลอมดี และสามารถควบคุมการหดตัวขณะขึ้นรูปได้ ส่วนใหญ่นำไปทำชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องยนต์ สายไฟและสายเคเบิลที่เป็นฉนวน



เม็ดทีพีโอ





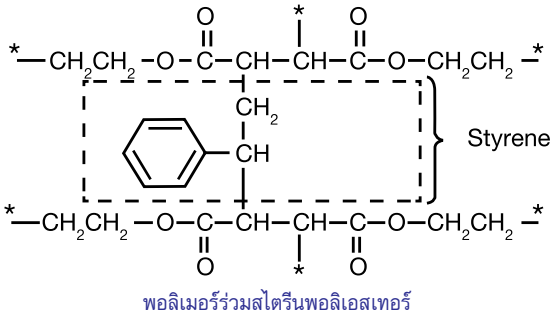
อุปกรณ์ประกอบรถยนต์



อุปกรณ์ประกอบรถยนต์

**thermoset, thermoset plastic เทอร์มอเซต, เทอร์มอเซตพลาสติก**
พอลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายและ/หรือนำมาหลอมใหม่ได้ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างถาวรระหว่างการขึ้นรูปแล้วจึงไม่สามารถนำมาขึ้นรูปใหม่ได้ เป็นผลมาจากโครงสร้างที่เชื่อมโยงเป็นตาข่าย ซึ่งเชื่อมโยงพันธะโคเวเลนต์ตลอดทั้งสายโซ่ แต่จะเกิดปฏิกิริยาการสลาย (degradation) ได้กับความร้อน ตัวเร่งปฏิกิริยา แสงยูวี ตัวอย่างเทอร์มอเซตพอลิเมอร์ เช่น เรซินฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (ดู phenolic resin) เรซินเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (melamine-formaldehyde resin) เรซินยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ยางธรรมชาติ (ดู natural rubber) หรือยางสังเคราะห์ (synthetic rubber) ที่แปรสภาพให้เกิดการเชื่อมโยง (cross-linked) หลังการบ่ม (curing)

**thermosetting polyester พอลิเอสเทอร์ประเภทเทอร์มอเซต**
พอลิเมอร์ประเภทเทอร์มอเซต (ดู thermosetting polymer) ของพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (ดู unsaturated polyester) ที่ใช้มอนอเนอร์เป็นสารเชื่อมขวาง เช่น สไตรีน (ดู styrene) เป็นต้น ผ่านการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ (free radical polymerization) และเพอร์ออกไซด์อินทรีย์ เช่น เบนซิลเพอร์ออกไซด์ (benzyl peroxide) เป็นแหล่งให้อนุมูลอิสระ (free radical) โดยการแตกตัวด้วยความร้อน เช่น พอลิเอสเทอร์ของเอทิลีน-ไกลคอลมาลิเอต (ethylene glycol maleate polyester) ทำปฏิกิริยากับสไตรีนมอนอเมอร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือความร้อน เกิดเป็นพอลิเอสเทอร์ที่เป็นโครงตาข่าย

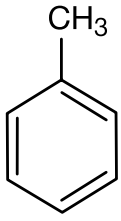



พอลิเมอร์ร่วมสไตรีนพอลิเอสเทอร์

**thermosetting polymer พอลิเมอร์ประเภทเทอร์มอเซต**
พอลิเมอร์ที่เกิดจากโมเลกุลของโอลิโกเมอร์หรือพรีพอลิเมอร์ ที่ทำให้เกิดการเชื่อมขวางต่อไปได้ โดยใช้ความร้อนหรือตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม หรือทั้ง 2 ปัจจัยร่วมกัน เช่น โนโวแล็ก (novolac)

**toluene ทอลิวอีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ที่มีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) สูตรโมเลกุล $C_7H_8$




ทอลิวอีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ไม่ละลายน้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ที่พบได้เล็กน้อยในน้ำมันดิบ ส่วนใหญ่ผลิตจากกระบวนการรีฟอร์มมิง (ดู reforming) หรือจากการแตกตัว (cracking) ของแนฟทา (ดู naphtha) ในโรงงานผลิตโอเลฟิน (ดู olefin) เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารแอโรแมติกส์ที่มูลค่าสูงกว่า เช่น เบนซีน (ดู benzene) โดยการดึงหมู่แอลคิล (ดู dealkylation) และของผสมเบนซีนและไซลีน (ดู xylene) จากดิสพรอพอร์ชันเนชัน (disproportionation) ซึ่งนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารอื่นๆ ต่อไป นอกจากนี้ ยังใช้เป็นตัวทำละลายในสีทาบ้าน กาว แล็กเกอร์ และทินเนอร์ เป็นต้น




ทอลิวอีน



ทอลิวอีนใช้เป็นตัวทำละลายในสีทาบ้าน



สีทาบ้าน




แล็กเกอร์ทาเนื้อไม้



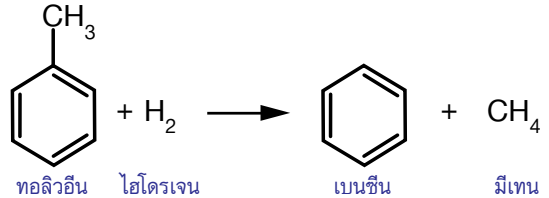
หัตถกรรมงานไม้ที่เคลือบเงาด้วยแล็กเกอร์



ไม้ที่นำมาทำพื้นหรือเฟอร์นิเจอร์สวยงามขึ้นเงาเมื่อทาแล็กเกอร์

**toluene dealkylation การดึงหมู่แอลคิลจากทอลิวอีน**

การสังเคราะห์เบนซีน (ดู benzene) โดยดึงหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) ออกจากโมเลกุลของทอลิวอีน (ดู toluene) โดยใช้ไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ความดัน 40 บรรยากาศ โดยมีโลหะนิกเกิล (nickel) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



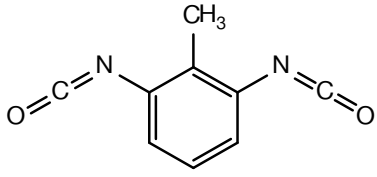

ทอลิวอีน ไฮโดรเจน เบนซีน มีเทน

**toluene diisocyanate (TDI) ทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนต (ทีดีไอ)**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ที่มีหมู่ไอโซไซยาเนต (ดู isocyanate) 2 หมู่ เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนทอลิวอีน (ดู toluene) เกิดโครงสร้างได้ 2 ไอโซเมอร์ (isomer) คือ 2,4-ทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนต (2,4-toluenediisocyanate) ที่มีหมู่ไอโซไซยาเนตอยู่ในตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่ 2 และ 4 และ 2,6-ทอลิวอีน-ไดไอโซไซยาเนต (2,6-toluenediisocyanate) ที่มีหมู่ไอโซไซยาเนตอยู่ในตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่ 2 และ 6 จากการผลิตได้สัดส่วนของทั้งสองไอโซเมอร์เป็น 80:20 ดังนั้น เมื่อกล่าวถึงทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนตจึงหมายถึง 2,4-ทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนตเป็นหลัก สูตรโมเลกุล $C_9H_6N_2O_2$

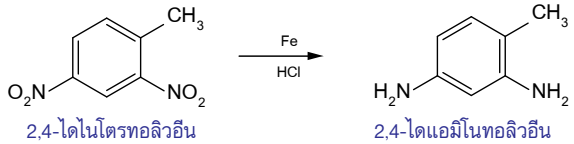



2,4-ทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนต

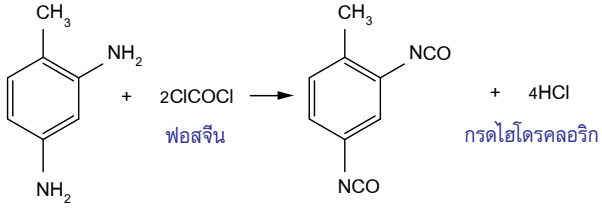



2,6-ทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนต

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวใส สีเหลืองอ่อน มีกลิ่นฉุน ไม่ละลายน้ำ สังเคราะห์โดยใช้ไดไนโตรทอลิวอีน (dinitrotoluene) เป็นสารตั้งต้น ผ่านการเติมไฮโดรเจน (ดู hydrogenation) ที่มีเหล็ก (iron) และกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลผลิต 2,4-ไดแอมิโนทอลิวอีน (2,4-diaminotoluene) ซึ่งทำปฏิกิริยาต่อกับฟอสจีน (ดู phosgene) ได้ทอลิวอีน-ไดไอโซไซยาเนตเป็นผลผลิตหลัก และกรดไฮโดรคลอริกเป็นผลผลิตพลอยได้



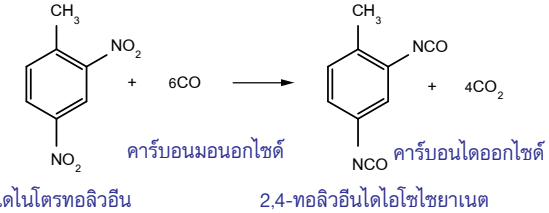

2,4-ไดไนโตรทอลิวอีน 2,4-ไดแอมิโนทอลิวอีน




ฟอสจีน กรดไฮโดรคลอริก

2,4-ไดแอมิโนทอลิวอีน 2,4-ทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนต

นอกจากนี้ยังสังเคราะห์ได้จากคาร์บอนิลเลชัน (ดู carbonylation) ของไดไนโตรทอลิวอีนกับคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ความดัน 200 บาร์ โดยมีแพลลาเดียม (II) คลอไรด์ (palladium (II) chloride) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



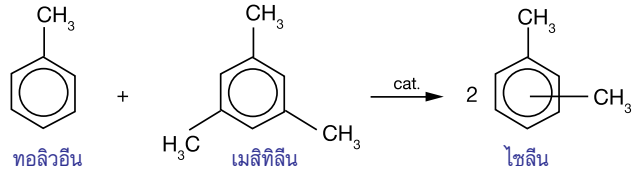

คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์

2,4-ไดไนโตรทอลิวอีน 2,4-ทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนต

เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตพอลิยูริเทน (ดู polyurethane) โดยทำปฏิกิริยากับสารพอลิออล (polyol) ที่มีหมู่แอลกอฮอล์ในโครงสร้าง

**transalkylation การแลกเปลี่ยนหมู่แอลคิล**

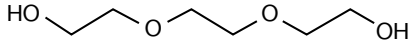
ปฏิกิริยาเคมีการเคลื่อนย้ายหมู่แอลคิล (alkyl group, R) จากโมเลกุลเดิมไปยังโมเลกุลอื่น ทำให้ได้โมเลกุลใหม่ 2 โมเลกุล ตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์ไซลีน (ดู xylene) จากการแลกเปลี่ยนหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) 1 หมู่ จากโมเลกุลเมสิทิลีน (mesitylene) กับอะตอมไฮโดรเจนของโมเลกุลทอลิวอีน (ดู toluene)




ทอลิวอีน เมสิทิลีน ไซลีน

**triethylene glycol (TEG) ไทรเอทิลีนไกลคอล (ทีอีจี)**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทไกลคอลหรือไดออล (ดู glycol, diol) ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของเอทิลีนไกลคอล 3 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วยพันธะออกซิเจน มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) ที่ปลายสายโซ่ทั้งสองด้าน สูตรโมเลกุล $C_6H_{14}O_4$




ไทรเอทิลีนไกลคอล

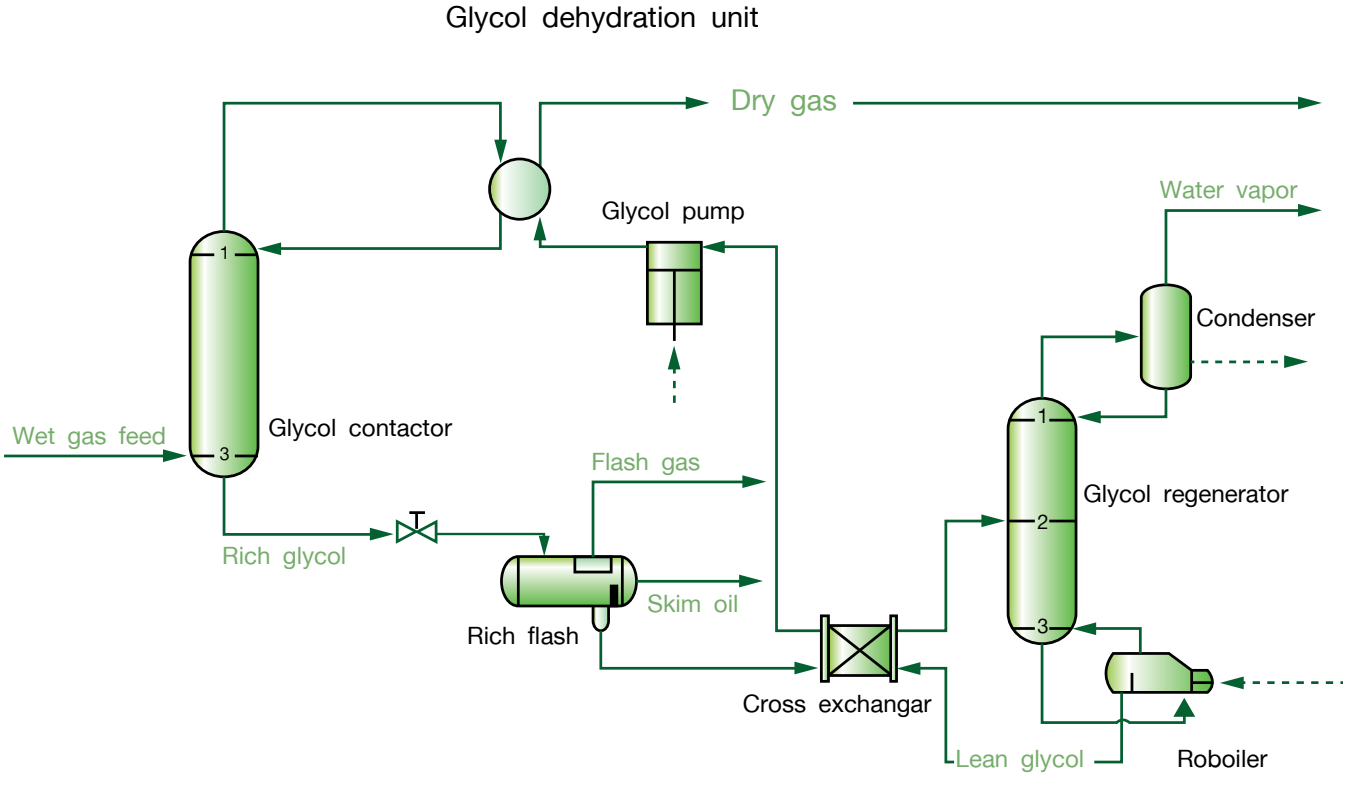
ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวหนืดใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดูดความชื้น และละลายน้ำ เป็นผลผลิตพลอยได้จากการผลิตเอทิลีนไกลคอล (ดู ethylene glycol) จากปฏิกิริยาระหว่างเอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) กับน้ำ ใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) สำหรับพลาสติกกลุ่มไวนิล เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride) ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรค สารดูดซับน้ำออกจากก๊าซธรรมชาติ และระบบปรับอากาศ นอกจากนี้ ยังเป็นสารเติมแต่งสำหรับน้ำมันไฮดรอลิก (hydraulic fluid) และน้ำมันเบรก (brake fluid)




น้ำมันเบรก




น้ำยาฆ่าเชื้อโรค




แผนภูมิกระบวนการดูดซับน้ำออกจากก๊าซธรรมชาติด้วยสารประกอบไกลคอล

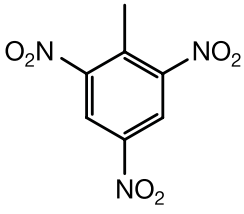


น้ำมันไฮดรอลิก

คำอธิบายผังกระบวนการดูดซับน้ำ

ก๊าซเปียก (wet gas feed) จะเข้าสู่หอดูดซับ (glycol contactor) ภายในมีสารไกลคอล เช่น ไทรเอทิลีนไกลคอล ฉีดลงจากยอดหอสวนทางกับก๊าซเปียก ก๊าซที่ปราศจากความชื้นหรือก๊าซแห้ง (dry gas) ไหลออกทางด้านบนของหอดูดซับ ส่วนไกลคอลที่ดูดซับความชื้นไว้ (rich glycol) ไหลออกจากก้นหอดูดซับเข้าสู่ถังลดความดันแบบแฟลช (rich flash) เพื่อไล่ก๊าซออกจากของเหลว จากนั้นของเหลวที่ได้ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (cross exchanger) ก่อนเข้าสู่หอคืนสภาพไกลคอล (glycol regenerator) เพื่อกลั่นแยกน้ำออกจากไกลคอล ไอน้ำถูกไล่ออกสู่ยอดหอและผ่านหน่วยเครื่องควบแน่น ส่วนไกลคอลแห้ง (lean glycol) ที่ได้จากใต้หอกลั่นผ่านหม้อต้มซ้ำ (reboiler) ก่อนหมุนวนมาใช้ใหม่ในหอดูดซับ

**trinitrotoluene (TNT) ไทรไนโตรทอลิวอีน (ทีเอ็นที)**
สารประกอบอินทรีย์ประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ที่มีหมู่ไนโตร (nitro group, $NO_2$) 3 หมู่ เป็นหมู่แทนที่ไฮโดรเจนบนวงแหวนทอลิวอีน (ดู toluene) ในตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่ 2 4 และ 6 ตามลำดับ สูตรโมเลกุล $C_7H_5N_3O_6$



ไทรไนโตรทอลิวอีน

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของแข็ง สีเหลือง ไม่ละลายน้ำ เป็นวัตถุระเบิด สังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้นไดไนโตรทอลิวอีน (dinitrotoluene) เกิดปฏิกิริยาไนเตรชัน (nitration reaction) กับไนโตรเนียมไอออน (nitronium ion, $NO_2^+$) ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดไนทริก (nitric acid) กับกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) ใช้ผลิตระเบิดทางทหาร และอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น การทำเหมืองแร่ การระเบิดตึก ซึ่งมักใช้ในกรณีที่ต้องการสร้างตึกใหม่แทนตึกเก่า ช่วยย่นระยะเวลา ทำให้การทำงานรวดเร็วขึ้น

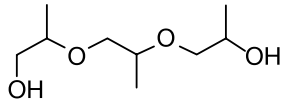

สารไทรไนโตรทอลิวอีน


การใช้ระเบิดทีเอ็นทีเพื่อกิจการทางทหาร




การระเบิดตึก

**tripropylene glycol ไทรโพรพิลีนไกลคอล**
สารประกอบอินทรีย์ประเภทไกลคอลหรือไดออล (ดู glycol, diol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) เชื่อมต่อที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ของสายโซ่หลักที่มีพันธะออกซิเจน (-O-) 2 พันธะอยู่ในโมเลกุล สูตรโมเลกุล $C_9H_{20}O_4$



ไทรโพรพิลีนไกลคอล

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ของเหลวหนืด ไม่มีสี ละลายน้ำ มีความเป็นพิษต่ำ ผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตโพรพิลีนไกลคอล (ดู propylene glycol) ที่มีโพรพิลีนออกไซด์ (propylene oxide) และน้ำเป็นสารตั้งต้น ใช้ผลิตพอลิเอสเทอร์ (ดู polyester) และใช้เป็นส่วนผสมของสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) น้ำมันหล่อลื่น (lubricant) และสารกันเยือกแข็ง (antifreeze)

**ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ**

พอลิเอทิลีน (ดู polyethylene) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากเป็นพิเศษ อยู่ในช่วง 1-3 ล้าน สังเคราะห์โดยวิธีเดียวกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (ดู high density polyethylene (HDPE)) แต่มีการควบคุมสิ่งปนเปื้อน (impurities) ในระดับหนึ่งในร้อยล้านส่วน มีความหนาแน่นประมาณ 0.97 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีสมบัติต้านทานการขัดถู (abrasion resistance) มีความเหนียวสูง (toughness) แม้ในภาวะอุณหภูมิเย็นยิ่งยวด (cryogenic temperature) มีความต้านทานการแตกร้าวจากความเค้นสูง (stress cracking resistance) ทนการขัดถู (abrasion resistance) มีความสามารถหล่อลื่นในตัว (self-lubricating) ทนสารเคมีดีเยี่ยม (chemical resistance) รวมถึงกรดและด่างเข้มข้น นิยมใช้ทำวัสดุสำหรับบุรองเครื่องมือกระบวนการทางเคมี (liners for chemical processing equipment) สารเคลือบหล่อลื่นผิวโลหะ อุปกรณ์นันทนาการ (recreational equipment) เช่น ฐานกระดานสกี (ski base) และอุปกรณ์ทางการแพทย์ (medical device) นอกจากนั้นยังนิยมขึ้นรูปเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูง (high strength fiber) เพื่อผลิตเสื้อเกราะกันกระสุนเช่นเดียวกับเส้นใยเคฟลาร์ (ดู Kevlar) และใช้เสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ (ดู composite material)



เส้นใยที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ



หมวกกันกระสุน



หมวกและเสื้อเกราะกันกระสุน

**unplasticized polyvinyl chloride (uPVC) พอลิไวนิลคลอไรด์ไม่เติมสารเสริมสภาพพลาสติก (ยูพีวีซี)**

พีวีซีที่ไม่เติมสารเสริมสภาพพลาสติก มีความแข็งเกร็งสูง (high rigidity) เป็นพลาสติกที่มีความแข็งแรง (strength) และแข็งตึง (stiffness) มากกว่าพอลิเอทิลีน (ดู polyethylene) และพอลิโพรพิลีน (ดู polypropylene) จึงใช้ในการในการผลิตเป็นบัตรเครดิต วัสดุทนทานติดผนังบ้าน ประตู และท่อน้ำ



ประตู



บานกรอบประตูหน้าต่าง



ผลิตภัณฑ์จากยูพีวีซี

**unsaturated polyester (UP) พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (ยูพี)**

กลุ่มของพอลิเอสเทอร์ (ดู polyester) ที่มีหมู่ไวนิล ซึ่งมีความไม่อิ่มตัวหรือมีพันธะคู่ในโครงสร้างสายโซ่หลัก (backbone chain) เป็นผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาการควบแน่น (condensation) ของกรดไดเบสิก (dibasic acid) กับไกลคอล (ดู glycol) ตัวอย่างของกรดไดเบสิก เช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์(ดู maleic anhydride) ตัวอย่างของไกลคอล เช่น โพรพิลีนไกลคอล (ดู propylene glycol) เอทิลีนไกลคอล(ดู ethylene glycol) และไดเอทิลีนไกลคอล (ดู diethylene glycol) เป็นต้น ควบคุมระดับความไม่อิ่มตัวด้วยพทาลิกแอนไฮไดรด์ (ดู phthalic anhydride) กรดไอโซพทาลิก (isophthalic acid) และกรดอะดิพิก (adipic acid) เป็นต้น ละลายพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวในมอนอเมอร์ที่พร้อมเกิดปฏิกิริยา (reactive monomer) ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ไม่อิ่มตัว เช่น สไตรีน (ดู styrene) เพื่อใช้เป็นสารเชื่อมขวาง (crosslinking agent) เกิดการเชื่อมขวางเป็นเทอร์มอเซตติงพอลิเอสเทอร์ (ดู thermosetting polyester) โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างมอนอเมอร์ไม่อิ่มตัวหรือพรีพอลิเมอร์ (prepolymer) กับพันธะคู่ของคาร์บอนในโครงสร้างสายโซ่หลัก พอลิเอสเทอร์เรซินมีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีและมีความต้านทานความร้อน มีสมบัติทางกายภาพอยู่ในช่วงกว้าง ตั้งแต่แข็งแรงและเปราะไปจนถึงมีความเหนียวและต้านทานความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่น (resistant to soft and flexible) ความหนืดอยู่ในช่วงตั้งแต่ 50 ไปจนถึงมากกว่า 25,000 เซนติพอยส์ สามารถใช้งานได้หลากหลายในรูปของแผ่นอัดซ้อน (laminate) วัสดุเชิงประกอบ (composite) เช่น แท็งก์ ตัวเรือ เสาไฟถนน ตู้เก็บผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

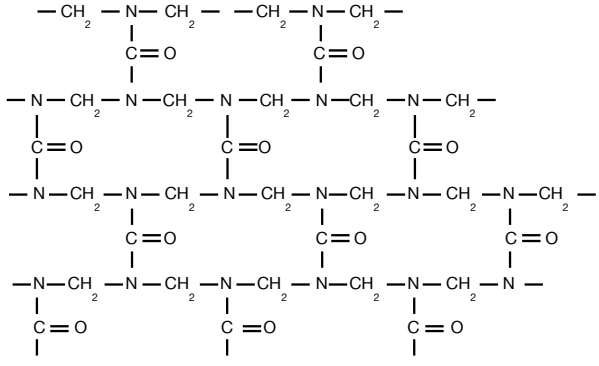




ผลิตภัณฑ์จากพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว

**urea-formaldehyde resin (UF), urea เรซินยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (ยูเอฟ), ยูเรีย**

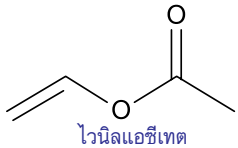
พอลิเมอร์ประเภทเทอร์มอเซต (ดู thermosetting polymer) สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่างยูเรีย (คาร์บาไมด์) กับฟอร์มัลดีไฮด์ (ดู formaldehyde) หรือจากพอลิเมอร์ของยูเรียเอง



เรซินยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์

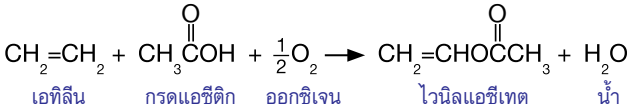
**vinyl acetate ไวนิลแอซีเทต**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทไวนิล (vinyl) ที่มีหมู่แอซีเทต (acetate group, $CH_3COO$-) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนโครงสร้างเอทิลีน (ดู ethylene) สูตรโมเลกุล $C_4H_6O_2$



ไวนิลแอซีเทต

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศของเหลวใส ไม่มีสี หรือมีสีเหลืองอ่อน กลิ่นฉุน สังเคราะห์โดยใช้เอทิลีน เป็นสารตั้งต้นทำปฏิกิริยากับกรดแอซีติก (ดู acetic acid) และออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส ความดัน 5 บรรยากาศ โดยมีแพลลาเดียมแอซีเทต (palladium acetate) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา




เป็นมอนอเมอร์ (ดู monomer) สำคัญที่ใช้ผลิตพอลิไวนิลแอซีเทต (ดู poly(vinyl acetate) (PVCA)) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (ดู poly(vinyl alcohol) (PVA)) และพอลิเมอร์ร่วมไวนิล-แอซีเทต (vinyl acetate copolymer)



ไวนิลแอซีเทต

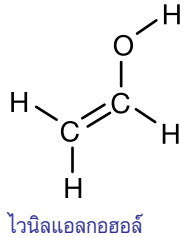


ฟองน้ำพอลิไวนิลแอซีเทต




น้ำตาเทียมที่มีส่วนผสมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

**vinyl alcohol (VA) ไวนิลแอลกอฮอล์ (วีเอ)**
สารอินทรีย์ประเภทไวนิล (vinyl) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) เป็นหมู่แทนที่ บนอะตอมคาร์บอนของโมเลกุลไวนิล เป็นไอโซเมอร์ (isomer) กับแอซีทัลดีไฮด์ (ดู acetaldehyde) และเอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) สูตรโมเลกุล $C_2H_4O$



ไวนิลแอลกอฮอล์

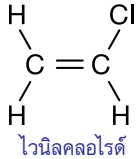
ไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารไม่เสถียร และจะเกิดปฏิกิริยาเทาโทเมอไรเซชัน (tautomerization) เปลี่ยนโครงสร้างเป็นแอซีทัลดีไฮด์

$$CH_2{=}CHOH \longrightarrow CH_3{-}CH{=}O$$

ไวนิลแอลกอฮอล์ แอซีทัลดีไฮด์

**vinyl chloride, vinyl chloride monomer (VCM) ไวนิลคลอไรด์, ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ (วีซีเอ็ม)**

สารประกอบอินทรีย์ประเภทไวนิล (vinyl) ที่มีอะตอมคลอรีน (chlorine, Cl) เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนในโครงสร้างเอทิลีน (ดู ethylene) สูตรโมเลกุล $C_2H_3Cl$



ไวนิลคลอไรด์

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ก๊าซ ไม่มีสี กลิ่นหวาน ไวไฟ ความเป็นพิษสูง และเป็นสารก่อมะเร็ง สังเคราะห์โดยใช้เอทิลีนเป็นสารตั้งต้น ผ่านปฏิกิริยาคลอริเนชันโดยตรง (direct chlorination) กับคลอรีน ที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส ความดัน 4 บาร์ โดยมีเหล็ก (III) คลอไรด์ (ferric (III) chloride) คอปเปอร์ (II) คลอไรด์ (copper (II) chloride) หรือแอนทิโมนี (III) คลอไรด์ (antimony (III) chloride) ได้ผลผลิตเอทิลีนไดคลอไรด์ (ethylene dichloride) ดังสมการปฏิกิริยาเคมี

$$\underset{\text{เอทิลีน}}{CH_2{=}CH_2} + \underset{\text{คลอรีน}}{Cl_2} \longrightarrow \underset{\text{เอทิลีนไดคลอไรด์}}{ClCH_2CH_2Cl}$$

$$\underset{\text{เอทิลีนไดคลอไรด์}}{ClCH_2CH_2Cl} \longrightarrow \underset{\text{เอทิลีน}}{CH_2{=}CHCl} + \underset{\text{กรดไฮโดรคลอริก}}{HCl}$$

$$\underset{\text{เอทิลีน}}{CH_2{=}CH_2} + 2HCl + \underset{\text{ออกซิเจน}}{\tfrac{1}{2}O_2} \longrightarrow \underset{\text{เอทิลีนไดคลอไรด์}}{ClCH_2CH_2Cl} + \underset{\text{น้ำ}}{H_2O}$$

เป็นมอนอเมอร์ (ดู monomer) ที่ใช้ผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride) สำหรับขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ท่อ หนังเทียม และบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น


ท่อชนิดต่างๆ


ผลิตภัณฑ์ทำจากหนังเทียม


บรรจุภัณฑ์

**weight-average molecular weight น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเชิงน้ำหนัก**

ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์แบบหนึ่ง ที่ใช้น้ำหนักของพอลิเมอร์เป็นฐานในการคำนวณ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\overline{M}_w$ โดยพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะส่งผลต่อค่า $\overline{M}_w$ มากกว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

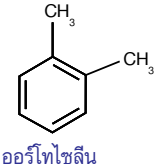
$$\overline{M}_w = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i^2}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i}$$

เมื่อ $N_i$ คือ จำนวนโมลของพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุล $M_i$
$M_i$ คือ น้ำหนักโมเลกุลของแต่ละสายโซ่พอลิเมอร์ที่ i

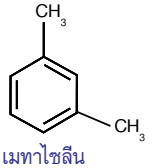
**xylene ไซลีน**

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวประเภทแอโรแมติกส์ (ดู aromatics) ที่มีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) 2 หมู่เป็นหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีน (ดู benzene) สูตรโมเลกุล $C_8H_{10}$ จัดโครงสร้างได้ 3 ไอโซเมอร์ (isomer) ตามตำแหน่งของหมู่เมทิลที่เกาะบนวงแหวน คือ ออร์โทไซลีน (o-xylene) เมทาไซลีน (m-xylene) และพาราไซลีน (p-xylene) ผลิตไซลีนผสม (mixed xylene) จากการรีฟอร์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (ดู catalytic reforming) ของสารตั้งต้นแนฟทา (ดู naphtha) และแยกไอโซเมอร์ออกจากกันด้วยการแยกหลายขั้นตอน โดยแยกออร์โทไซลีนออกจากของผสมและทำให้บริสุทธิ์โดยการกลั่นก่อน (ดู distillation) แล้วจึงแยกเมทาไซลีนออกจากพาราไซลีน โดยการดูดซับด้วยตัวกรอง

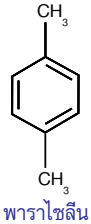
ระดับโมเลกุล (molecular sieve) และการตกผลึก (ดู crystallization process) ส่วนพาราไซลีนซึ่งมีมูลค่ามากที่สุดสามารถใช้ปฏิกิริยาการเปลี่ยนไอโซเมอร์ (ดู isomerization) สังเคราะห์ได้



ออร์โทไซลีน



เมทาไซลีน



พาราไซลีน

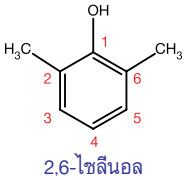
โครงสร้างโมเลกุลทั่วไปของไซลีน



ไซลีน

**xylenol, dimethyl phenol ไซลีนอล, ไดเมทิลฟีนอล**

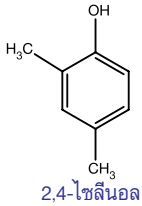
สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนฟีนอล (ดู phenol) มีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) 2 หมู่ เป็นหมู่แทนที่ไฮโดรเจนในวงแหวน แบ่งออกเป็น 6 ไอโซเมอร์ คือ 2,6-ไซลีนอล (2,6-xylenol) 2,5-ไซลีนอล (2,5-xylenol) 2,4-ไซลีนอล (2,4-xylenol) 2,3-ไซลีนอล (2,3-xylenol) 3,4-ไซลีนอล (3,4-xylenol) และ 3,5-ไซลีนอล (3,5-xylenol) โดยไอโซเมอร์ชนิด 2,6-ไซลีนอล ซึ่งมีหมู่เมทิลอยู่ในตำแหน่งออร์โท (ortho position) ของหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) เป็นไอโซเมอร์ที่มีความสำคัญมากที่สุด ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงไซลีนอล โดยทั่วไปจึงหมายถึง 2,6-ไซลีนอลเป็นหลัก ทั้ง 6 ไอโซเมอร์มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลคือ $C_8H_{10}O$



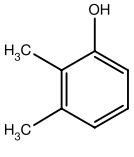
2,6-ไซลีนอล



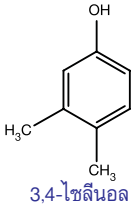
2,5-ไซลีนอล



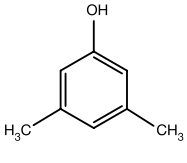
2,4-ไซลีนอล



2,3-ไซลีนอล

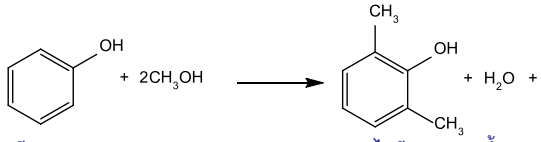


3,4-ไซลีนอล

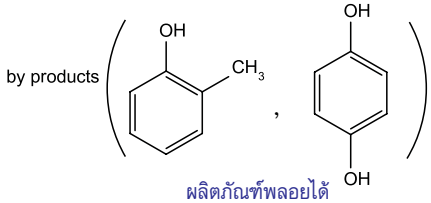


3,5-ไซลีนอล

ลักษณะทางกายภาพ ณ อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ 2,6-ไซลีนอล เป็นของแข็งไม่มีสี หรือสีขาว มีกลิ่นหอมหวานไวไฟ สังเคราะห์จากสารตั้งต้นฟีนอลทำปฏิกิริยาการเติมหมู่เมทิล (methylation) ด้วยเมทานอล (methanol) ในสัดส่วน 1 ต่อ 6 ภายใต้ภาวะอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสความดันบรรยากาศ โดยมีแมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium oxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีออร์โทครีซอล (o-cresol) และพาราครีซอล (p-cresol) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้



ฟีนอล เมทานอล 2,6-ไซลีนอล น้ำ



ผลิตภัณฑ์พลอยได้
(ออร์โทครีซอล และพาราครีซอล)

เป็นมอนอเมอร์ (ดู monomer) สำหรับสังเคราะห์พอลิเฟนีลีน-อีเทอร์ (polyphenylene ether) ซึ่งใช้เป็นพลาสติกวิศวกรรม (engineering plastic)






พลาสติกวิศวกรรมประเภทต่างๆ

**z-average molecular weight น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยแบบแซด**

ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์แบบหนึ่งที่มีความอ่อนไหวต่อโมเลกุลของพอลิเมอร์ขนาดใหญ่มากๆ หาได้โดยการใช้เทคนิคการวัดบางเทคนิค เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\overline{M}_z$ คำนวณได้จากสมการ

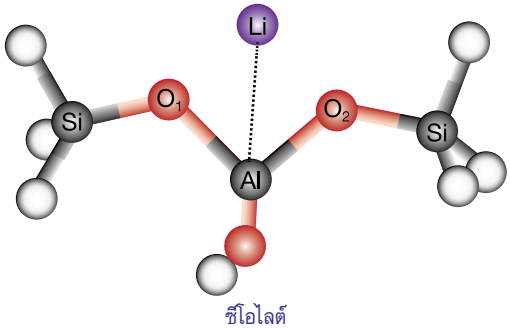
$$\overline{M}_z = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i^3}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i^2}$$

เมื่อ $N_i$ คือ จำนวนโมลของพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุล $M_i$

$M_i$ คือ น้ำหนักโมเลกุลของแต่ละสายโซ่พอลิเมอร์ที่ i

**zeolite ซีโอไลต์**

สารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (alumino silicate) ที่มีหน่วยย่อยประกอบด้วยอะตอมซิลิกอน (silicon) หรืออะลูมิเนียม (aluminium) อย่างละ 1 อะตอม และออกซิเจน 4 อะตอม คือ ซิลิกอนเททระออกไซด์ (silicon tetraoxide) และอะลูมิเนียม-เททระออกไซด์ (aluminium tetraoxide) สร้างพันธะเป็นทรงสี่หน้า (tetrahedron) เชื่อมต่อกันโดยใช้อะตอมออกซิเจนร่วมกัน ทำให้เกิดโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้น และมีช่องว่างระหว่างโมเลกุล (โพรง) ที่เชื่อมต่อกันอย่างเป็นระเบียบในสามมิติ มีขนาดตั้งแต่ 2-10 อังสตรอม (1 อังสตรอมเท่ากับ $1x10^{-10}$ เมตร) นอกจากอะตอมซิลิกอน อะลูมิเนียม และออกซิเจนแล้ว ในโครงสร้างโมเลกุลของซีโอไลต์อาจมีประจุบวกของโลหะอื่น เช่น ลิเทียม (lithium) โซเดียม (sodium) โพแทสเซียม (potassium) แคลเซียม (calcium) อยู่ด้วย ซึ่งเกิดจากการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) กับโปรตอน (proton) ซึ่งเป็นประจุบวก (cation) ที่ตำแหน่งอะตอมอะลูมิเนียมในโครงสร้างของซีโอไลต์



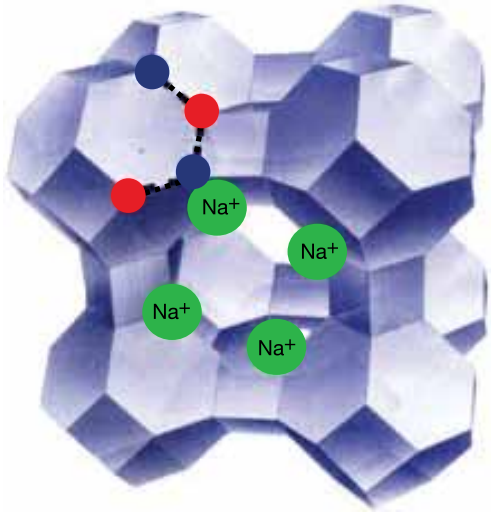

ซีโอไลต์

ผลึกของแข็งที่พบได้ทั้งในธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ได้ซีโอไลต์ที่มีสมบัติเฉพาะเจาะจง สามารถแบ่งกลุ่มตามชนิดของโครงสร้างได้ประมาณ 40 ชนิด ความแตกต่างของโครงสร้าง เช่น โครงสร้างผลึก ความหนาแน่น ขนาดของโพรง ความแข็งแรงของพันธะ เป็นต้น มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของซีโอไลต์ ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม 3 ด้านหลัก คือ

1) เป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchanger) โดยใช้สมบัติการแลกเปลี่ยนประจุกับประจุบวกในโครงสร้าง เช่น ใช้กำจัดแอมโมเนีย (ammonia) ออกจากน้ำเสีย โดยการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแอมโมเนียกับโซเดียมไอออนที่อยู่ในโพรงของซีโอไลต์

2) เป็นสารดูดซับ (adsorbent) โดยใช้สมบัติการเป็นตัวกรองในระดับโมเลกุล (molecular sieve) เช่น ใช้ดูดซับพาราไซลีน (p-xylene) ออกจากของผสมแอโรแมติกส์ (ดู aromatics)

3) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ดู catalyst) ในกระบวนการปิโตรเคมีต่างๆ โดยใช้สมบัติความเป็นกรดเนื่องจากมีโปรตอนในโครงสร้าง เช่น ใช้ในการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking) หรือการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน (ดู hydrocracking) การเปลี่ยนไอโซเมอร์ (ดู isomerization) การเติมหมู่แอลคิล (ดู alkylation) เป็นต้น



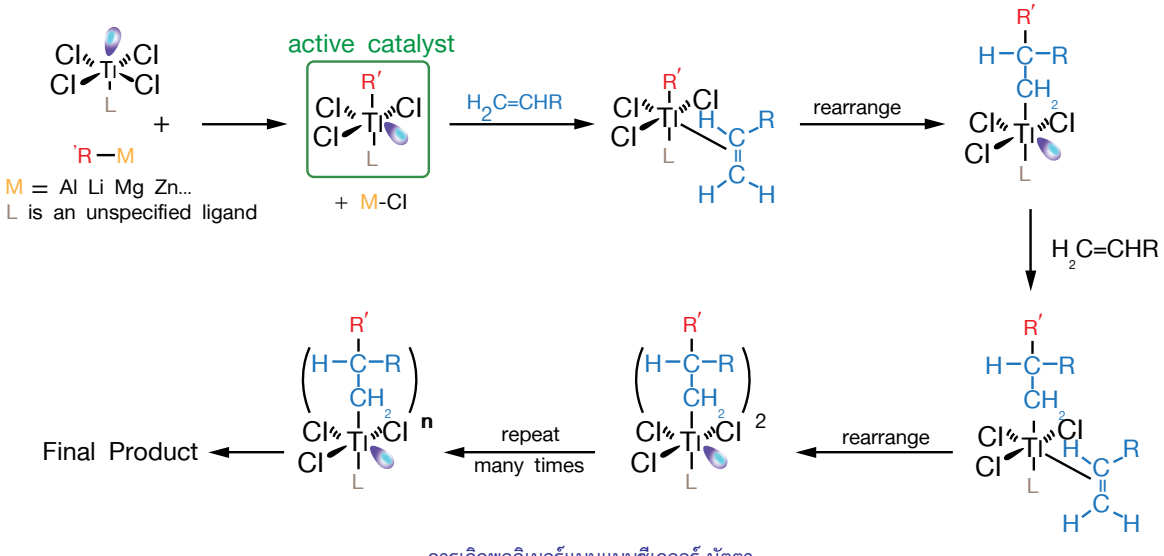

โครงสร้างของซีโอไลต์ที่แสดงให้เห็นช่องว่างระหว่างโมเลกุล (โพรง)



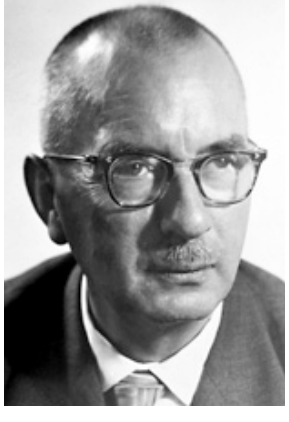
ซีโอไลต์รูปแบบต่างๆ

**Ziegler-Natta polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบซีเกลอร์-นัตตา**

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ในตระกูลไวนิลพอลิเมอร์หรือพอลิโอเลฟินส์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา (Ziegler-Natta catalyst) ซึ่งค้นพบโดยคาร์ล ซีเกลอร์ (Karl Ziegler) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน และ กุยลิโอ นัตตา (Guilio Natta) นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลี การค้นพบครั้งสำคัญนี้ทำให้บุคคลทั้งสองได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีเมื่อ พ.ศ. 2506 แต่การผลิตพอลิเมอร์ในทางการค้าใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตาตั้งแต่ พ.ศ. 2499 เป็นการทำหน้าที่ร่วมกันระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ สารประกอบโลหะแทรนซิชันเฮไลด์ของธาตุหมู่ 4-8 เช่น ไทเทเนียมเททระคลอไรด์กับตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (co-catalyst) ซึ่งเป็นสารประกอบโลหะอินทรีย์ (organometallic compound) ของโลหะหมู่ 1-3 เช่น ไทรเอทิลอะลูมินัม แล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างมอนอนอเมอร์กับตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อสร้างตำแหน่งกัมมันต์ที่สร้างโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการควบคุมการจัดเรียงตัวโครงสร้างโมเลกุลอย่างเฉพาะเจาะจง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพอลิเอทิลีนที่ไม่มีกิ่ง ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (ดู high density polyethylene (HDPE)) และพอลิโพรพิลีนแบบไอโซแทกติก (isotactic polypropylene (iso-PP)) มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การเกิดพอลิเมอร์แบบโคออร์ดิเนต (ดู coordination polymerization) เป็นต้น




การเกิดพอลิเมอร์แบบแบบซีเกลอร์-นัตตา



คาร์ล ซีเกลอร์



กุยลิโอ นัตตา

ผู้ค้นพบตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา

**zip polymerization การเกิดพอลิเมอร์แบบซิป**

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ในปฏิกิริยาที่มีการควบคุมรูปแบบให้เป็นไปตามพอลิเมอร์รุ่นพ่อแม่ โดยมอนอเมอร์เข้ารวมกับพอลิเมอร์ที่มีรูปแบบเกิดเป็นสารเชิงซ้อนและเข้าทำปฏิกิริยาโดยต่อมอนอเมอร์ทีละโมเลกุล ทำให้ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เกิดได้อย่างรวดเร็ว มีความหมายเช่นเดียวกับการเกิดพอลิเมอร์แบบใช้แผ่นแบบ (ดู template polymerization)

# คอมพาวนด์และการปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติก

**additive สารเติมแต่ง**
สารเคมีอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่ใช้ผสมในเม็ดพลาสติกก่อนและระหว่างขึ้นรูป เพื่อปรับปรุงสมบัติขณะขึ้นรูป สารเคมีอินทรีย์ที่เติมแต่งบนผิวผลิตภัณฑ์หลังขึ้นรูปเพื่อปรับปรุงสมบัติผลิตภัณฑ์พลาสติกขณะใช้งาน มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ เช่น เพื่อปรับปรุงพฤติกรรมพลาสติกระหว่างขึ้นรูป ช่วยให้การขึ้นรูปพลาสติกดีขึ้น (processability) ช่วยเพิ่มสมบัติหรือคุณลักษณะบางประการเพื่อความทนทาน/ยืดอายุการใช้งาน (life/survival ability) แก่ผลิตภัณฑ์พลาสติก เพิ่มสมบัติเชิงกล (mechanical properties) หรือปรับปรุงลักษณะปรากฏ เช่น สี ธุรกิจสารเติมแต่งมีอัตราการเติบโตอย่างรวดเร็วตามอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพลาสติก ใช้มากในผลิตภัณฑ์พลาสติกที่เป็นชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนงานก่อสร้าง ชิ้นส่วนเครื่องไฟฟ้าบรรจุภัณฑ์



| | | |
|---|---|---|
| ตัวอย่างสารเติมแต่งช่วยการขึ้นรูป | : | heat stabilizer<br>lubricant/mold releasing agent<br>plasticizer<br>viscosity depressant |
| ตัวอย่างสารเติมแต่งเพิ่มความทนทาน/ยืดอายุการใช้งาน | : | antioxidants<br>carbon black<br>light stabilizer |
| ตัวอย่างสารเติมแต่งปรับปรุงลักษณะปรากฏ | : | colorant<br>optical brightening agent |



ตัวอย่างสารเติมแต่ง

**antiblocking agent สารต้านการแนบติด**

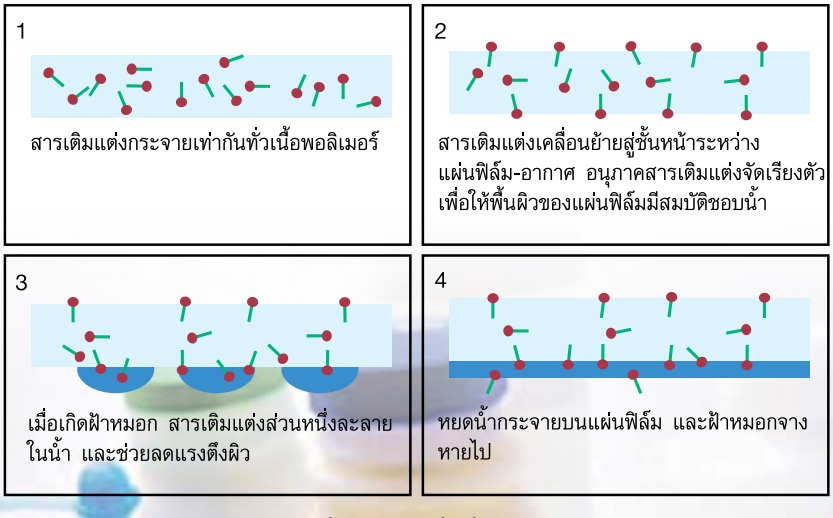
สารเติมแต่ง (ดู additive) อนินทรีย์ที่ใส่ในฟิล์มพลาสติกหรือแผ่นพลาสติกบาง เพื่อป้องกันการแนบติดเมื่อแผ่นฟิล์มพลาสติกสัมผัสกัน ทำให้แยกแผ่นฟิล์มได้ง่ายขึ้น ทำให้สะดวกขณะใช้งาน เช่น การเปิดถุงพลาสติก หรือการหาปลายแผ่นหรือถุงพลาสติกในม้วน ที่นิยมใช้มีหลายชนิด เช่น ดินเบา (diatomaceous earth) มีประสิทธิภาพปานกลางแต่ราคาสูง เมื่อใช้กับแผ่นฟิล์มพอลิโอลิฟินส์ สามารถเกิดรอยขูดขีด ลดความใส (clarity) และการเกิดรอยขุ่นแบบเลือน (haze) ทัลก์ (talc) ใช้กับบรรจุภัณฑ์ที่เป็นถุงหรือแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (linear low density polyethylene (LLDPE)) มีประสิทธิภาพกันการแนบติดได้ปานกลางแต่ราคาถูกกว่าดินเบา แผ่นฟิล์มที่ได้ยังคงความใส การขูดขีดต่ำ แต่รอยขุ่นแบบเลือนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ อาจใช้ซิลิกาหรือซิลิกาสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสูงแต่ราคาแพง ส่วนผงหินเนฟิลีนไซอีไนต์ (nepheline syenite) และผงแร่ฟันม้า (feldspar) ใช้กับแผ่นฟิล์มที่ต้องการความใส เพราะมีดัชนีการหักเหสูง แต่ประสิทธิภาพต้านการแนบติดต่ำมากและเกิดการขูดขีดมาก แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) นับเป็นสารต้านการแนบติดที่มีประสิทธิภาพต่ำแต่ราคาถูก ในการผลิตนิยมใส่แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณมากเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นตัวเติม (ดู filler) ร่วมด้วย สารต้านการแนบติดเป็นสารเติมแต่งที่มีราคาต่ำกว่าราคาของสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ ที่ใส่ในแผ่นฟิล์มพลาสติก

**antidegradant สารต้านการเสื่อม**

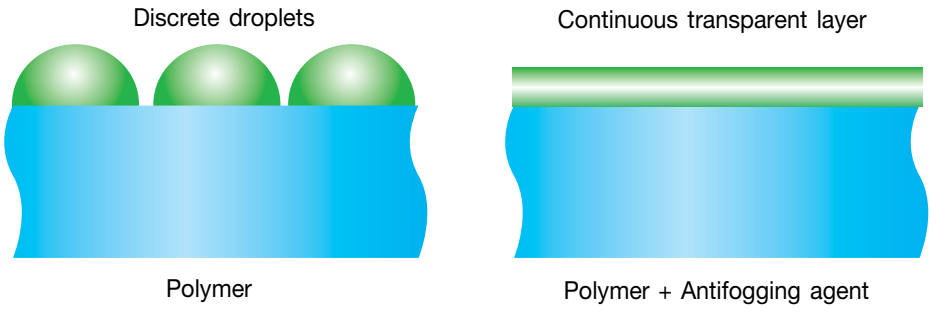
สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ต้านการเสื่อมสลายของผลิตภัณฑ์พลาสติกซึ่งเกิดจากการออกซิไดซ์ความร้อน หรือแสง มีหลายชนิด เช่น ตัวต้านออกซิเดชัน สารเพิ่มเสถียรความร้อน สารเสถียรแสง เป็นต้น

**antifogging agent สารต้านฝ้าหมอก**

สารเติมแต่ง (ดู additive) สำคัญในฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์และฟิล์มพลาสติกใสเพื่อการเกษตร ซึ่งสัมผัสกับความชื้นหรือน้ำ เป็นสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนหัว ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนหาง ชอบและละลายได้ในไขมัน (lipophilic) เมื่อผสมในฟิล์มพลาสติกจะแพร่สู่พื้นผิว ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างพอลิเมอร์ และหยดน้ำที่เกิดจากการกลั่นตัวของความชื้นหรือน้ำ ทำให้หยดน้ำแผ่ขยายออกเป็นฟิล์มบางๆ ทั่วพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก (wetting) มี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้ภายนอก (external) โดยการพ่นเคลือบบนพื้นผิวของพลาสติก ซึ่งแม้จะมีผลต้านการเกิดฝ้าหมอกได้ทันทีแต่ให้ผลระยะสั้นๆ เพราะถูกชะล้างออกได้ง่าย กลุ่มที่ใช้ภายใน (internal) โดยผสมสารกับเนื้อพลาสติกเพื่อให้สารแพร่ (diffuse) อย่างช้าๆ สู่พื้นผิวของพลาสติก ซึ่งมักใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ของอาหาร สารนี้ต้องปลอดภัยใช้สัมผัสอาหารได้ ทนความร้อนได้แม้ขณะหลอมขึ้นรูปพลาสติก ต้องไม่ลดความใสของพลาสติก ไม่เกิดสีหมองคล้ำ ไม่ต้านการพิมพ์ติดบนพื้นผิวฟิล์มพลาสติก ไม่ก่อให้เกิดกลิ่น ไม่ต้านการหลอมติดของแผ่นฟิล์ม (sealing) ต้องเป็นสารที่ปลอดภัย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและราคาไม่แพง ตัวอย่างสารต้านฝ้าหมอก เช่น ซอร์บิทานเอสเทอร์ (sorbitan esters) พอลิออกซิเอทิลีนเอสเทอร์ (polyoxyethylene esters) กลีเซอรอลเอสเทอร์ (glycerol esters) และพอลิกลีเซอรอลเอสเทอร์ (polyglycerol esters) เป็นต้น การเลือกใช้ขึ้นกับหลายปัจจัย ได้แก่ ลักษณะการใช้งาน ความเข้ากันระหว่างสารต้านฝ้าหมอกกับพลาสติก ความเสถียรของสารต้านฝ้าหมอกระหว่างการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก และอิทธิพลของสารต้านฝ้าหมอกที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพลาสติก




การทำงานของสารต้านฝ้าหมอก




การทำงานของสารต้านการเกิดฝ้าหมอก



การใช้สารต้านฝ้าหมอกในแผ่นพลาสติกคลุมเรือนเพาะปลูก



การใช้สารต้านฝ้าหมอกในแผ่นพลาสติกคลุมเรือนเพาะปลูก

**antimicrobials สารต้านจุลินทรีย์**

สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในพลาสติก ยาง หรือเส้นใยสังเคราะห์ เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราและการเติบโตของแบคทีเรียบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์พลาสติก ส่วนใหญ่ใช้ในชิ้นงานพลาสติกพีวีซีแบบอ่อนตัว (flexible PVC) ที่ใช้งานทั้งในที่ร่มและภายนอก โฟมพอลิยูริเทน ฯลฯ ช่วยไม่ให้เกิดรอยเปื้อนจากเชื้อราและแบคทีเรียบนพื้นผิว การเปลี่ยนสี การเกิดกลิ่น การสูญเสียสมบัติเชิงกลในชิ้นงาน อายุการใช้งานลดลง ประสิทธิภาพขึ้นกับความสามารถในการเคลื่อนย้ายสู่พื้นผิวของผลิตภัณฑ์เมื่อเริ่มเกิดเชื้อรา นิยมใส่ในพาหะ (carrier) เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (ดู plasticizers) เพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายสารต้านจุลินทรีย์ไปทั่วชิ้นงานพลาสติก แต่ก็มีผลให้ชะละลาย (leach) ได้ง่ายด้วย จึงต้องรักษาสมดุลระหว่างอัตราการเคลื่อนย้ายและอัตราการชะละลายของสารต้านจุลินทรีย์ สารเคมีจำนวนมากมีสมบัติต้านจุลินทรีย์ แต่ที่นิยมใช้ได้แก่ สารโอบีพีเอ หรือ 10,16-ออกซีบิสฟีนอกซีอาร์ซีน (10,16-oxy-bisphenoxy arsine (OBPA)) ซึ่งมีผลต้านเชื้อราและแบคทีเรียหลายชนิด สารไอโซไทอาโซลิน (isothiazolin) ซึ่งเป็นสารต้านเชื้อราเท่านั้น มักใช้ป้องกันเชื้อราในสี มีทั้งเป็นผง ของเหลว หรือเม็ด ผู้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกสามารถเลือกใช้พาหะได้หลายชนิด เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการอิพอกซิไดซ์ (epoxidized soybean oil) หรือไดไอโซเดกซิลทาเลต (diisodecyl phthalate (DIDP)) หรืออาจใช้พอลิเมอร์ร่วมพีวีซี/พีวีเอหรือพีเอส ปัญหาหลักคือ ความเป็นพิษ (toxicity) ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์อาจเกิดอาการแพ้ จึงต้องใช้ประกอบการพิจารณา



ผ้าม่านในห้องน้ำที่ใส่สารต้านจุลินทรีย์



ท่อพลาสติกที่ใส่สารต้านจุลินทรีย์

**antioxidant ตัวต้านออกซิเดชัน**

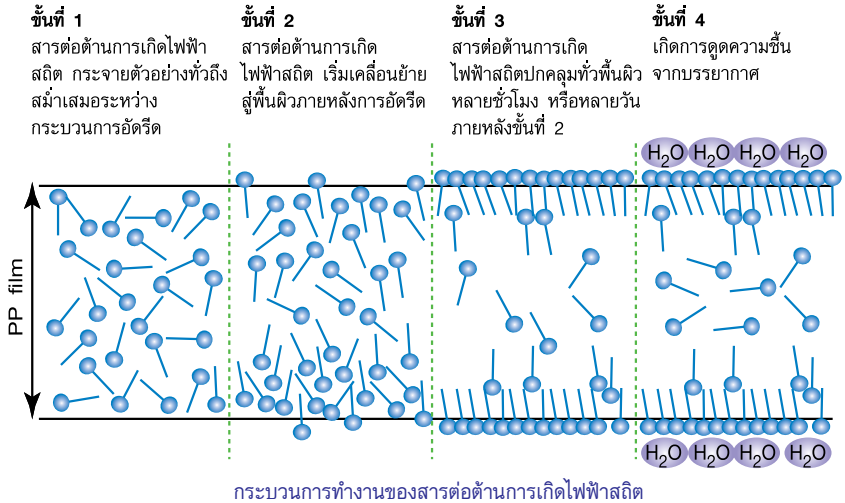
สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในพลาสติกเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างพลาสติกกับออกซิเจน (oxidation) เป็นการเสื่อมสภาพตามอายุ (aging) เกิดขึ้นได้ตั้งแต่ช่วงการผลิตพลาสติกเป็นเรซินหรือเม็ดพลาสติก การเก็บ การทำคอมพาวนด์ การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ จนถึงช่วงการใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติก พลาสติกแต่ละชนิดมีความสามารถต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกัน เพราะองค์ประกอบทางเคมี กระบวนการผลิต สัณฐาน ระดับการเรียงตัวเป็นระเบียบของโมเลกุล และอื่นๆ แตกต่างกัน ปัจจัยที่เร่งการเกิดออกซิเดชัน ได้แก่ ความร้อนและแสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) ในแสงแดด ทำให้เกิดการเสื่อม (degradation) ในรูปแบบต่างๆ เช่น การเปลี่ยนสี (discoloration) จากสีขาวเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำตาล การสูญเสียความเงาหรือความใส การหลุดร่อนออกหรือเกิดรอยแตกที่ผิว (cracks) การสูญเสียสมบัติเชิงกลต่างๆ เช่น แรงกระแทก แรงดึง และการยืดตัว เป็นต้น

**antiozonant สารต้านโอโซน**

สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในพลาสติกเพื่อชะลอการเสื่อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกจากการสัมผัสโอโซน โดยเคลื่อนย้าย (migrate) สู่พื้นผิวผลิตภัณฑ์ เกิดเป็นแนวหรือชั้นปิดกั้นมิให้โอโซนซึมผ่าน สารต้านโอโซนที่มีประสิทธิภาพทำปฏิกิริยาจับโอโซนด้วย

**antistat, antistatic agent สารต่อต้านการเกิดไฟฟ้าสถิต**

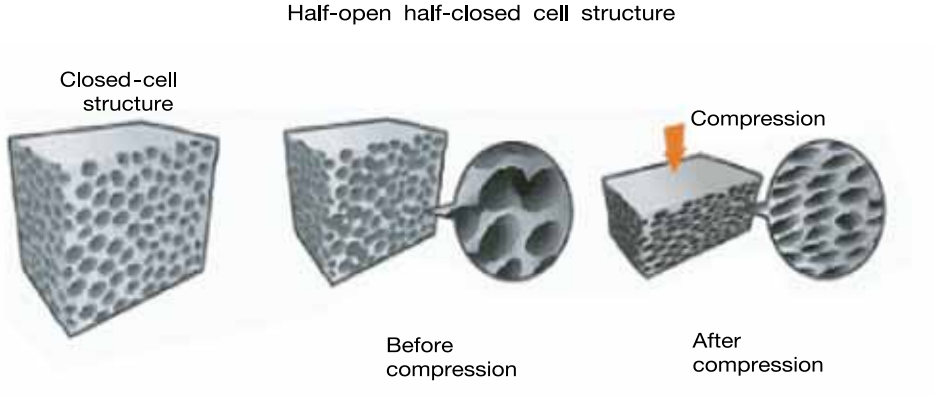
สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในพลาสติกเพื่อขจัดปัญหาการสะสมประจุไฟฟ้าสถิต สารน้ำหนักโมเลกุลต่ำประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนหัวมีประจุและชอบน้ำ ส่วนหางเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ยึดอยู่ในเนื้อพลาสติกและไม่ชอบความชื้น ทำหน้าที่โดยเคลื่อนย้ายไปยังพื้นผิวผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยส่วนหัวดูดความชื้นจากอากาศเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ เพิ่มการนำไฟฟ้าบนพื้นผิว มี 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีประจุ (ionic) และกลุ่มที่ไม่มีประจุ (non-ionic) กลุ่มที่มีประจุแบ่งเป็นชนิดประจุบวก (cationic) ได้แก่ เกลือแอมโมเนียมควอเทอร์นารี (quaternary ammonium salt) และชนิดประจุลบ (anionic) ได้แก่ เกลือโซเดียมซัลโฟเนทและฟอสเฟต (sodium salt of sulfonate and phosphate) กลุ่มที่ไม่มีประจุมักเป็นสารประกอบเอสเทอร์ (ester) หรือ เอมีน (amine) ตัวอย่างเช่น กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (glycerol ester of fatty acid) อิทอกซิเลตเทดเทอร์เชียรีเอมีน (ethoxylated tertiary amine) การสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตที่ผิวผลิตภัณฑ์พลาสติกซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี นำไปสู่การเกิดฝุ่นละอองสะสมบนพื้นผิว การเกิดประกายไฟ การลุกไหม้หรือการระเบิด แบ่งสารต่อต้านการเกิดไฟฟ้าสถิตตามการประยุกต์ใช้เป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบใส่ภายใน (internal antistatic agent) ซึ่งใช้ผสมกับพอลิเมอร์ (พลาสติก) ขณะขึ้นรูป ทำให้สารนี้กระจายไปทั่วเนื้อพลาสติก หลังจากนั้นจึงเคลื่อนย้ายไปยังพื้นผิวผลิตภัณฑ์พลาสติก นิยมใช้กับพอลิโอลิฟินส์ ได้แก่ PE, PP และ PVC ตลอดจนกลุ่มสไตรีน และแบบใส่ภายนอก (external antistatic agent) โดยใส่ที่ผิวผลิตภัณฑ์หลังการขึ้นรูปด้วยการสเปรย์ (spraying) หรือการจุ่ม (dipping) ตามด้วยการทำให้แห้ง เหมาะกับพลาสติกที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงขณะขึ้นรูป เช่น พอลิเอสเทอร์ (PET) พอลิคาร์บอเนต (PC) และพอลิอะคริเลต




กระบวนการทำงานของสารต่อต้านการเกิดไฟฟ้าสถิต

**blowing agent, foaming agent สารฟู, สารทำฟอง**

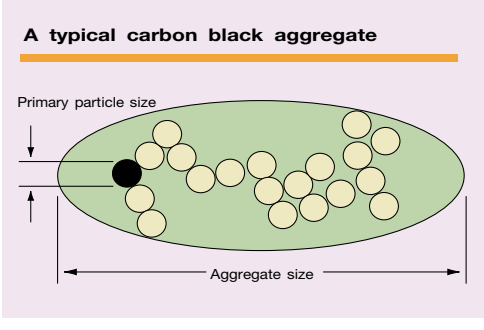
สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในผงหรือเม็ดพลาสติก สารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่ทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุนแบบโฟมเมื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติก หลักการทำงานของสารฟูคือ เมื่อได้รับความร้อนขณะขึ้นรูปพลาสติก สารฟูจะแตกตัวเกิดฟองไอหรือก๊าซจำนวนมากภายในเนื้อพลาสติก หลอมดันให้พลาสติกหลอมฟูขยายตัวและมีโครงสร้างเป็นรูพรุน (cells) ขนาดต่างๆ รูพรุนอาจเชื่อมต่อทะลุถึงกันเป็นโฟมแบบเซลล์เปิด (opened-cell structure) หรือไม่ทะลุถึงกันเป็นโฟมแบบเซลล์ปิด (closed-cell structure) หรืออาจเป็นโครงสร้างผสมคือ มีรูเชื่อมต่อทะลุถึงกันบ้างไม่เชื่อมต่อกันบ้าง (half-open half-closed cell structure) เมื่อโฟมที่มีโครงสร้างนี้ถูกกดขณะขึ้นรูป โฟมจะยุบตัวลง รูพรุนถูกอัดเป็นรูปวงรี ระยะระหว่างรูพรุนในแนวแรงกดลดลงขณะที่เนื้อพลาสติกถูกอัดแน่นปิดช่องเชื่อมระหว่างรู ทำให้โครงสร้างของโฟมเปลี่ยนเป็นแบบเซลล์ปิด ไอหรือก๊าซที่ได้จากสารฟูควรเป็นก๊าซเฉื่อย ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขอนามัยและสิ่งแวดล้อม ไม่ติดไฟ ไม่ทำปฏิกิริยากับพลาสติกที่ทำเป็นโฟม หรือมีผลเชิงลบต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงความร้อนของพลาสติกที่ทำเป็นโฟม ไม่กัดกร่อนพลาสติกหรือทำให้สีของพลาสติกเปลี่ยนไป สารฟูแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารฟูทางกายภาพ (ดู physical blowing agents) และสารฟูทางเคมี (ดู chemical blowing agents)




โครงสร้างโฟมแบบต่างๆ

**carbon black คาร์บอนแบล็ก**

สารเติมแต่ง (ดู additive) ประเภทสารสี (ดู colorant) ที่เป็นสีผง (pigment) สารอนินทรีย์สีดำมีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนอสัณฐาน นอกจากตกแต่งให้เป็นสีดำแล้ว ยังสามารถป้องกันแสงอัลตราไวโอเลตและเพิ่มสมบัติเชิงไฟฟ้า ตลอดจนทำให้พลาสติกทึบแสง สามารถนำความร้อนหรือเสริมความแข็งแรง อนุภาคทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-100 นาโนเมตร พื้นที่ผิว 25-1,500 ตารางเมตร/กรัม มักเกาะกันเป็นกลุ่ม (cluster) และรวมเป็นกลุ่มก้อน (aggregate) กลุ่มก้อนที่มีอนุภาคจำนวนมากต่อกันเป็นสายโซ่และแตกกิ่งมากเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า **“high-structure”** ส่วนกลุ่มก้อนที่มีอนุภาคน้อยเกาะกันเป็นก้อนเล็กๆ เรียกว่า **“low-structure”** มีหลายเกรดแบ่งตามอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวกับขนาดอนุภาค เกรดของคาร์บอนแบล็กมีผลต่อลักษณะปรากฏของพลาสติก คาร์บอนแบล็กที่มีขนาดอนุภาคเล็กและพื้นที่ผิวมากดูดซับและกระจายแสงอัลตราไวโอเลตได้มากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ จึงมีสีดำเข้มกว่า




ก้อนรวมของคาร์บอนแบล็กและการวัดขนาด

**chemical blowing agent สารฟูทางเคมี**
สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในผงหรือเม็ดพลาสติก สารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่ทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุนแบบโฟม เมื่อได้รับความร้อนขณะขึ้นรูปพลาสติก สารฟูทางเคมีจะแตกตัวในช่วงอุณหภูมิแคบๆ ทำให้เกิดฟองก๊าซจำนวนมาก ดันให้พลาสติกขยายตัวฟูขึ้น ได้ชิ้นงานที่มีโครงสร้างโฟม มีน้ำหนักลดลงราวร้อยละ 50-60 เทียบกับชิ้นงานพลาสติกปริมาตรเท่ากัน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สารฟูทางเคมีแบบดูดความร้อน (ดู endothermic chemical blowing agent) และสารฟูทางเคมีแบบคายความร้อน (ดู exothermic chemical blowing agent) สารฟูทางเคมีที่ดีต้องแตกตัวให้ก๊าซเฉื่อย (เช่น ไนโตรเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์) ที่ช่วงอุณหภูมิการแตกตัวแคบๆ ภายในพิกัดอุณหภูมิการขึ้นรูปของพลาสติกที่ต้องการทำเป็นโฟม ให้ปริมาณก๊าซมาก (gas yield) แต่ต้องไม่แตกตัวให้ก๊าซจำนวนมากอย่างเฉียบพลันเพราะจะทำให้เกิดความร้อนสะสมมากเกินไป (กรณีใช้สารฟูทางเคมีแบบคายความร้อน) หรือเกิดความดันก๊าซเพิ่มอย่างเฉียบพลัน ปริมาณสารฟูทางเคมีที่นิยมใช้คือ ร้อยละ 0.5-2.5 โดยน้ำหนัก (ดู blowing agent, foaming agent ประกอบ)

**clarifying agent, clarifier สารเพิ่มความใส**
สารเติมแต่ง (ดู additive) ชนิดสารก่อผลึก (ดู nucleating agent) กลุ่มพิเศษจากซอร์บิทอล (sorbitol) ใส่ในพอลิโพรพิลีน เพื่อเพิ่มความใส ทำให้ผลึกสเฟียรูไลต์ในพอลิโพรพิลีนมีขนาดเล็กมาก จนกระทั่งเล็กกว่าความยาวคลื่นของแสง

**colorant สารสี**
สารเติมแต่ง (ดู additive) สำคัญที่ใส่ในพลาสติกสำหรับตกแต่งเป็นสีต่างๆ เพื่อความสวยงาม หรือเพื่อสร้างเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ สารสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกมี 2 ประเภท ได้แก่
1) สีผง (pigment) เป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์จากธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ ลักษณะเป็นผง ซึ่งอาจมีสีหรือไม่มีสี โปร่งแสงหรือทึบแสง ขนาดอนุภาค 0.01-1 ไมครอน มักเกาะตัวรวมกลุ่ม (aggregate) กันในแนวระนาบ (plane) ซึ่งสามารถเกาะตัวเป็นกลุ่ม (agglomerate) ก่อนการใช้งานต้องแยกก้อนผงสีออกแล้วจึงกระจายสีผงทั่วเนื้อพลาสติกหลอมให้ทั่ว (dispersion) ผงสีขาวที่นิยมใช้ ได้แก่ ออกไซด์ (oxide) หรือซัลไฟด์ (sulfide) ของไทเทเนียม ผงสีดำที่นิยมใช้ได้แก่ คาร์บอนแบล็ก (ดู carbon black) และเฟอร์ริกออกไซด์ (ferric oxide) ส่วนผงสีอื่นๆ เป็นสารประกอบของเหล็ก แมงกานีส โครเมียม สังกะสี โมลิบดีนัม และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง นอกจากนี้ ยังมีสีผงที่ให้ความมันเงาคล้ายโลหะ สีผงที่คล้ายเคลือบด้วยมุก สีผงที่ส่องประกาย สีผงสะท้อนแสง สีผงเรืองแสง ช่วยให้พลาสติกมีความทึบแสงได้มากหรือน้อย ขึ้นกับขนาดอนุภาคและความสามารถหักเหแสง
2) สีย้อม (dye) เป็นสารอินทรีย์จากธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ มีความใสและหลากสี สว่างสดใสกว่าสีผง (pigment) สภาพละลายได้ (solubility) ในพลาสติกเป็นสมบัติที่จำเป็นเพราะต้องละลายได้ในพลาสติกขณะขึ้นรูป ใช้ง่ายเพราะกระจายสีในเนื้อพลาสติกได้ง่าย สีย้อมหลายชนิดมีความเสถียรความร้อนและแสงอัลตราไวโอเลตน้อย เมื่อใช้ในพอลิโอเลฟินส์ (polyolefins) สีอาจตกหรือลอกได้ ไม่นิยมใช้ในพลาสติกวิศวกรรม (engineering plastic) ซึ่งต้องขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง แต่ความใสทำให้สีแดงและสีเหลืองเป็นที่นิยมใช้มากในฝาครอบไฟท้ายรถยนต์



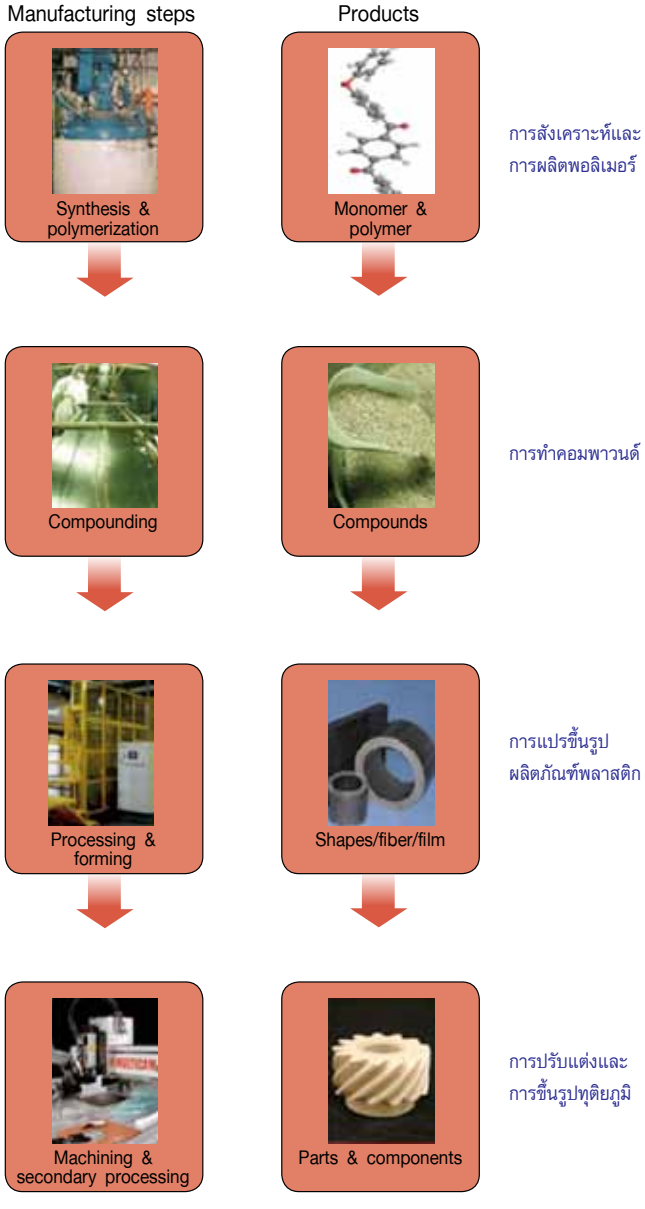
เม็ดสีเข้มข้น

**composite, composite material วัสดุเชิงประกอบ**
วัสดุที่ประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิดขึ้นไปอยู่ร่วมกัน คือ วัสดุที่เป็นเมทริกซ์ (ดู matrix) หรือวัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase) และวัฏภาคเสริมกำลัง (reinforcing phase) เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลแก่วัสดุที่เป็นเมทริกซ์หรือวัฏภาคต่อเนื่อง โดยใส่วัสดุเสริมกำลังซึ่งเป็นวัฏภาคที่มีความแข็งแรงมากกว่าและมีความแข็งตึงสูง (stiffness) ให้กระจายตัวในวัสดุที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ได้วัสดุเชิงประกอบที่มีความแข็งแรงหรือความยืดหยุ่นสูงกว่าวัสดุเดิมที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง มีหลายประเภท เรียกชื่อตามวัสดุพื้นฐานที่ใช้เป็นเมทริกซ์ เช่น วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ (ดู polymer composite หรือ polymer matrix composite (PMC)) วัสดุเชิงประกอบโลหะ (metal composite หรือ metal matrix composite (MMC)) และวัสดุเชิงประกอบเซรามิก (ceramic matrix composite (CMC)) เป็นต้น

**compound คอมพาวนด์**
สารผสมระหว่างพอลิเมอร์ (พลาสติก) กับสารเติมแต่ง (ดู additive) เพื่อให้พลาสติกมีสมบัติตามต้องการ พลาสติกบางชนิด เช่น พอลิเอทิลีน (PE) มีสมบัติหลากหลายและปรับเปลี่ยนได้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล การกระจายน้ำหนักโมเลกุล ระดับความเป็นระเบียบของโครงสร้าง ความหนาแน่น และอื่นๆ แต่พลาสติกบางกลุ่มมีข้อจำกัดทั้งในด้านสมบัติและการปรับเปลี่ยน จึงต้องใช้สารเติมแต่ง ตัวอย่างกลุ่มพลาสติกที่มีข้อจำกัด ได้แก่ เทอร์มอพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride (PVC)) และวัสดุยืดหยุ่น 2 กลุ่ม คือ วัสดุยืดหยุ่นเทอร์มอพลาสติก (thermoplastic elastomer) และวัสดุยืดหยุ่นแบบเชื่อมขวาง (crosslinked elastomer)

**compounding การทำคอมพาวนด์**
การปรับปรุงสมบัติของพลาสติกโดยการผสมเชิงกลพลาสติกกับสารเติมแต่งต่างๆ (ดู additive) ครอบคลุมกระบวนการตั้งแต่ภายหลังการสังเคราะห์ได้เป็นพอลิเมอร์จนถึงก่อนการขึ้นรูป พอลิเมอร์บางชนิดอาจขึ้นรูปเป็นชิ้นงานพลาสติกได้แต่ชิ้นงานที่ได้อาจยังใช้งานตามที่ออกแบบไม่ได้ เพราะขาดสมบัติเชิงกลบางอย่าง การทำคอมพาวนด์จึงเป็นที่นิยมทั้งในกลุ่มผู้ผลิตเม็ดพลาสติก กลุ่มผู้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกและกลุ่มผู้ทำคอมพาวนด์ ซึ่งเป็นกลุ่มกลางระหว่างกลุ่มทั้งสอง

ขั้นตอนหลักการทำคอมพาวนด์ ประกอบด้วย
1) การเตรียมส่วนประกอบ (preparation of ingredients) ได้แก่ การคัดขนาดสาร การอบแห้งซึ่งโดยทั่วไปใช้เตาอบแบบอากาศหมุนเวียน (air circulation oven) ยกเว้นพลาสติกกลุ่มพอลิเอไมด์ ซึ่งต้องอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจึงนิยมใช้เตาอบสุญญากาศ (vacuum drying oven)
2) การผสมล่วงหน้า (premixing) ได้แก่ การผสมแห้งเพื่อให้สารที่จับตัวเป็นก้อน (agglomerate) แตกออก หรือเพื่อกระจายสารเติมแต่งต่างๆ ในพอลิเมอร์แห้ง เครื่องผสมที่ใช้มีหลายประเภท เช่น เครื่องผสมแบบลูกหิน (ball mill) หม้อผสมแบบใช้ใบพัด (propeller) เป็นต้น การผสมอาจเป็นแบบรุ่นผลิต (batch) หรือแบบต่อเนื่อง (continuous)
3) การหลอมผสม (melt-mixing) เพื่อกระจายสารเติมแต่งต่างๆ ให้ทั่วขณะพลาสติกหลอมหรืออ่อนตัว ใช้เครื่องหลอมผสมแบบรุ่นผลิตหรือแบบต่อเนื่อง แบบรุ่นผลิตมีราคาถูก แต่ต้องอาศัยแรงงาน ให้ผลผลิตน้อย และอาจมีความผันผวนระหว่างรุ่นผลิต ตัวอย่างเช่น เครื่องผสมแบบสองลูกรีด (ดู two-roll mill) เครื่องผสมภายใน (internal mixer) และต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อทำเม็ดคอมพาวนด์หรือขึ้นรูป คอมพาวนด์ที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกแบบต่อเนื่องมีราคาสูง ให้ผลผลิตสูงและให้คอมพาวนด์ที่มีคุณภาพดีกว่า ตัวอย่างเช่น เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (single screw extruder) เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (ดู twin screw extruder) เครื่องผสมแบบต่อเนื่องระบบเพลาคู่ (twin-shaft continuous mixer)
4) การทำเม็ดคอมพาวนด์โดยการตัดเม็ดภายหลังการอัดรีดคอมพาวนด์ (extrude)



การทำคอมพาวนด์เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตชิ้นงานพลาสติก

**decomposition activator, kicker สารกระตุ้นการแตกตัว**
สารเคมีที่ใส่ในสารฟูทางเคมี (ดู chemical blowing agent) เพื่อลดอุณหภูมิการแตกตัวของสารฟูทางเคมีแบบคายความร้อน (ดู exothermic chemical blowing agent) ตัวอย่างเช่น พอลิออล (polyol) ยูเรีย (urea) เอมีน (amine) กรดอินทรีย์บางชนิด รวมทั้งสารประกอบของโลหะโดยเฉพาะอย่างยิ่งของตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียม ตลอดจนสารเติมแต่งและสารสีบางชนิด (pigment)

**decomposition inhibitor สารชลอการแตกตัว**
สารเคมีที่ใช้ชลอการแตกตัวของสารฟูทางเคมีแบบคายความร้อน (ดู exothermic chemical blowing agent) ที่ปรับแต่งด้วยสารกระตุ้นการแตกตัว (ดู decomposition activator, kicker) ตัวอย่างเช่น กรดไดคาร์บอกซิลิก (dicarboxylic acid) กรดไทรคาร์บอกซิลิก (tricarboxylic acid) ในรูปที่ปราศจากน้ำ (anhydride) ตลอดจนอนุพันธ์ของเบนโซไทรเอโซล (benzotriazole derivative)

**de-moulding, releasing agent สารช่วยถอดแบบหล่อ**
ดู mould releasing agent

**di-2-ethyl hexyl phthalate (DEHP) ได-2-เอทิลเฮกซิลทาเลต (ดีอีเอชพี)**
ดู dioctyl phthalate (DOP)

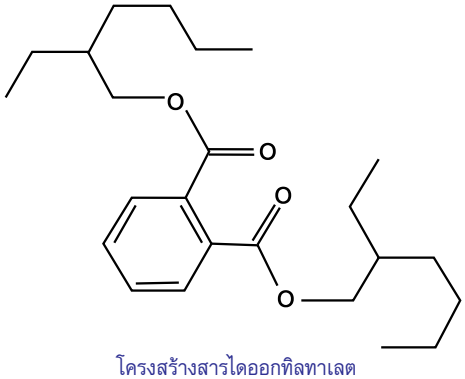
**differential thermal analysis (DTA) การวิเคราะห์ความต่างด้านความร้อน (ดีทีเอ)**
เทคนิคการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของสารที่มีความละเอียดและความไวสูง ใช้ศึกษาพฤติกรรมของพลาสติกเมื่อได้รับความร้อนหรือดึงความร้อนออก ด้วยอัตราที่กำหนดภายใต้การควบคุมอย่างละเอียด แปลผลการวิเคราะห์เป็นการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานภายใน การเปลี่ยนสถานะ การตกผลึก การเปลี่ยนสภาพคล้ายแก้ว การเกิดปฏิกิริยา (เช่น การบ่ม การเชื่อมขวาง หรือการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน) และการเสื่อมสภาพของพลาสติก ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิแปรสภาพแก้ว (ดู glass transition temperature ($T_g$)) อุณหภูมิหลอมเหลว (ดู melting temperature ($T_m$)) และอุณหภูมิการเสื่อม (degradation temperature ($T_d$)) โดยบันทึกความต่างด้านความร้อนระหว่างพลาสติกกับวัสดุเปรียบเทียบ ซึ่งไม่มีการแปรสภาพหรือเปลี่ยนสถานะตลอดช่วงอุณหภูมิการทดสอบ สมบัติเชิงความร้อนพลวัตที่ศึกษาคือ ค่าเอนทัลปี (enthalpy) และความจุความร้อน ข้อมูลที่ได้คล้ายกับที่ได้จากการวิเคราะห์ความต่างด้านความร้อนแบบกราด (differential scanning calorimeter (DSC)) การวิเคราะห์ทั้งสองวิธีเป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ปฏิกิริยาแบบคายความร้อน) และการเสื่อมสภาพของพลาสติก (ปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน) ด้วย



เครื่องวิเคราะห์ความต่างด้านความร้อน

**dioctyl phthalate (DOP) ไดออกทิลทาเลต (ดีโอพี)**

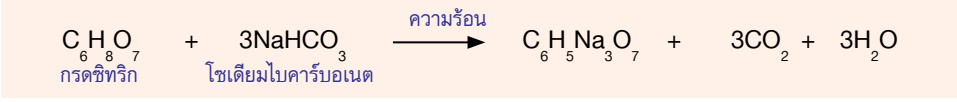
สารเคมีที่ใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติก (ดู plasticizer) ของเหลวคล้ายน้ำมัน ใส ไม่มีสี หรือมีสีเหลืองอ่อนๆ มีกลิ่นเล็กน้อย ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในน้ำมัน ละลายได้เล็กน้อยในคาร์บอนเททระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) อีกชื่อหนึ่งเรียกว่า ได-2-เอทิลเฮกซิลทาเลต (ดู di-2-ethyl hexyl phthalate (DEHP)) นิยมใช้เป็นสารปรับสภาพพลาสติกในพอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride (PVC)) เพราะได้ผลดี ราคาถูก ไม่ละลายน้ำ ทนความร้อนและแสงอัลตราไวโอเลตได้ดี ทำให้นุ่มอ่อนตัว ดัดโค้งได้ โดยทำให้สายโซ่โมเลกุลเลื่อนไถลผ่านกันสามารถเข้ากับพลาสติกอีกหลายชนิดได้ดี เช่น พอลิไวนิลแอซีเทต (ดู poly(vinyl acetate) (PVCA)) ยาง พลาสติกที่มีเซลลูโลส และพอลิยูริเทน (ดู polyurethane (PU)) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีการเสริมสภาพพลาสติกด้วยสารไดออกทิลทาเลต เช่น แผ่นพีวีซีสำหรับปูพื้นและปิดฝาผนัง แผ่นหนังเทียม โฟมและแผ่นฟิล์มพีวีซี ยาและกาวกันซึมที่ผลิตจากพอลิยูริเทนและพอลิซัลไฟด์ (polysulfide) สารกาว สารติดและสีที่ผลิตจากพอลิไวนิลแอซิเทต อุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น ท่อล้างไต ถุงเลือด ถุงมือ เป็นต้น ปริมาณที่ใช้คือ 20-60 ส่วนต่อเรซิน 100 ส่วน นับว่าสูงมาก จัดอยู่ในหมู่สารเคมีที่มีพิษ ก่อให้เกิดเนื้องอกในตับ ทำลายระบบหายใจและระบบสืบพันธุ์ (ลดฮอร์โมนเพศชาย) ทำให้มีการห้ามใช้ในของเล่นเด็กเล็กที่สัมผัสกับปากและผิวหนัง



โครงสร้างสารไดออกทิลทาเลต

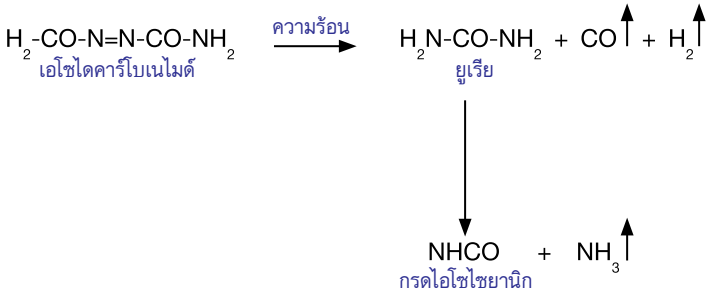
**endothermic chemical blowing agent สารฟูทางเคมีแบบดูดความร้อน**

สารฟูทางเคมี (ดู chemical blowing agent) ที่ใส่ในพลาสติกเพื่อให้เกิดโครงสร้างรูพรุนแบบโฟม โดยปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนเมื่อพลาสติกได้รับความร้อนขณะขึ้นรูป มักเป็นสารผสมระหว่างคาร์บอเนตของสารอนินทรีย์กับกรดพอลิคาร์บอนิก เมื่อได้รับความร้อนเพียงพอ จะทำปฏิกิริยาทางเคมี แล้วแตกตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณก๊าซที่ได้ (gas yield) และความดันก๊าซน้อยกว่าสารฟูทางเคมีแบบคายความร้อน (ดู exothermic chemical blowing agent) ได้รูพรุนมีขนาดเล็กกว่า ได้ผิวโฟมและสมบัติทางกายภาพที่ดี ตัวอย่างสารฟูทางเคมีแบบดูดความร้อน เช่น กรดซิทริก (citric acid) โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) ซึ่งแตกตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) ที่ช่วงอุณหภูมิ 160-210 องศาเซลเซียส



**exothermic chemical blowing agent สารฟูทางเคมีแบบคายความร้อน**
สารฟูทางเคมี (ดู chemical blowing agent) ที่ใส่ในพลาสติกเพื่อให้เกิดโครงสร้างรูพรุนแบบโฟมโดยปฏิกิริยาแบบคายความร้อน เมื่อพลาสติกได้รับความร้อนขณะขึ้นรูป ปริมาณก๊าซที่ได้ (gas yield) และความดันสูงกว่าการแตกตัวของสารฟูทางเคมีแบบดูดความร้อน (ดู endothermic chemical blowing agent) นิยมใช้ในการทำโฟมพอลิโอลิฟินส์แบบโครงสร้างเชื่อมขวาง (crosslinked polyolefins foam) โฟม พอลิไวนิลคลอไรด์ และผลิตภัณฑ์โฟมพลาสติกจำนวนมากที่ขึ้นรูปโดยการอัดรีด (extrusion) ตัวอย่างสารฟูทางเคมีแบบคายความร้อนซึ่งแตกตัวให้ก๊าซไนโตรเจน ได้แก่ สารเอโซไดคาร์โบเนไมด์ (azodicarbonamide) สาร 4,4-ออกซีบิสหรือเบนซีนซัลโฟนิลไฮเดรไซด์ (4,4-oxybis หรือ benzenesufonyl hydrazide) สารพาราทอลูอีนซัลโฟนิล-เซมิคาร์บาไซด์ (para-toluenesulfonyl semicarbazide) และสาร 5-เฟนนิลเททราโซล (5-phenyltetrasole)

ตัวอย่างการแตกตัวของสารเอโซไดคาร์โบเนไมด์




**external lubricant สารหล่อลื่นภายนอก**
สารเติมแต่ง (ดู additive) เพื่อหล่อลื่นพลาสติกหลอมโดยไม่ละลาย เกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ที่ช่วยหล่อลื่นพื้นผิวพลาสติกหลอมขณะขึ้นรูป ไม่ให้ติดผิวโลหะร้อนของเครื่องขึ้นรูป ทำให้พลาสติกหลอมหลุดร่อน ช่วยลดความหนืดของพลาสติกหลอม มีอิทธิพลต่อระยะเวลาเชื่อมติด (fusion time) มากกว่าสารหล่อลื่นภายใน (ดู internal lubricant) ตัวอย่างสารหล่อลื่นภายนอก ได้แก่ ไขหรือน้ำมันพาราฟิน แคลเซียมสเทียเรต (calcium stearate) และกรดสเทียริก (stearic acid)

**external mould releasing agent สารช่วยถอดแบบหล่อภายนอก**
สารเติมแต่ง (ดู additive) ประเภทสารช่วยถอดแบบหล่อ (ดู mould releasing agent) สารประกอบของซิลิโคนหรือของฟลูออโรคาร์บอน (fluorocarbon) ใช้ฉีดหรือทาบนพื้นผิวภายในแบบหล่อเกิดเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ประมาณ 0.1-20 ไมครอน ป้องกันชิ้นงานติดกับพื้นผิวแบบหล่อ ต้องฉีดซ้ำหลังจากการถอดชิ้นงาน 2-3 ชิ้น แต่ถ้าพื้นผิวของแบบหล่อขรุขระหรือผิวชิ้นงานมีลายผิว (texture) หรือมีรูปทรงซับซ้อน (เช่น มีหลืบ มุม มีร่อง) ก็ต้องฉีดทุกครั้งหลังการถอดชิ้นงานจากแบบ จัดเป็นข้อเสีย ประกอบกับการฉีดหรือทาให้ทั่วพื้นผิวของแบบหล่อต้องอิงทักษะหรือฝีมือของผู้ขึ้นรูป สารช่วยการถอดแบบภายนอกที่ดีต้องใช้ง่าย ไม่มีพิษ ไม่อันตราย ยึดเกาะได้ดีกับพื้นผิวแบบหล่อโดยไม่หดตัว แห้งเร็ว เช็ดออกจากพื้นผิวแบบหล่อได้ง่าย มีทั้งชนิดมีผลไม่ถาวร (non-permanent) สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานจำนวนน้อย และชนิดกึ่งถาวร (semi-permanent) สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานจำนวนมาก สารประกอบของซิลิโคนก่อให้เกิดชั้นฟิล์มน้ำมัน (oily film) ซึ่งอาจทำให้การแต่งสำเร็จยากขึ้น สารประกอบของฟลูออโรคาร์บอนก่อให้เกิดชั้นฟิล์มที่กันน้ำมันได้ (oil-repellent) และสามารถกันการเกิดรอยเปื้อน (stain proofing) ได้ด้วย

**external plasticization การเสริมสภาพพลาสติกภายนอก**
การทำให้พลาสติกอ่อนตัว ลดอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว ลดความหนืดของพลาสติกหลอม และลดมอดุลัสของความยืดหยุ่นของพลาสติก โดยใส่สารเสริมสภาพพลาสติก (ดู plasicizers) ในพลาสติกที่แข็งเปราะ เป็นวิธีที่นิยมมาก ข้อดีของการเสริมสภาพพลาสติกภายนอกคือ สามารถควบคุมระดับความอ่อนตัวมากหรือน้อยตามอุณหภูมิใช้งาน โดยเลือกชนิดและปรับปริมาณสารเสริมสภาพพลาสติก สารเสริมพลาสติกภายนอกมีทั้งที่เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก (มอนอเมอร์) และเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ (พอลิเมอร์) นิยมใช้มอนอเมอร์เพราะราคาถูกกว่าและสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์หลากหลายกว่า แต่มีข้อเสียคือ ให้ความอ่อนตัวไม่ถาวร เพราะสารสามารถเคลื่อนย้ายสู่ผิวพลาสติก และระเหยหรือถูกสกัดออกได้ง่าย เพราะยึดกับพลาสติกโดยพันธะทางกายภาพ ตัวอย่างสารเสริมสภาพพลาสติกภายนอกชนิดมอนอเมอร์ เช่น สารประกอบทาเลต (phthalate) อิพ็อกซี (epoxy) อะดิเพต (adipate) อะซิเลต (azelate) และไทรเมลลิเทต (trimellitate) รวมทั้งเอสเทอร์อื่นๆ เช่น กลูทาเรต (glutarate) และซิเทรต (citrate)

**filler ตัวเติม**
สารเติมแต่ง (ดู additive) แบบผงอินทรีย์หรืออนินทรีย์ ได้จากธรรมชาติ แร่ธาตุ หรือการสังเคราะห์ ใส่ในพลาสติกเพื่อเพิ่มปริมาตรและเพื่อลดต้นทุน เพราะราคาถูกกว่าพลาสติกมาก ให้ผลพลอยได้ด้านสมบัติเชิงกล เชิงกายภาพ และเชิงความร้อนขึ้นกับชนิดของตัวเติม นิยมใส่ประมาณร้อยละ 10-50 โดยน้ำหนัก ถ้าใส่มากเรียกว่าสารเพิ่มเนื้อ (extender) เดิมนิยมใส่ในพลาสติกเทอร์มอเซต เช่น ฟีนอลิก (phenolic) ยูเรีย (urea) และเมลามีน (melamine) ปัจจุบันใช้มากทั้งในพลาสติกเทอร์มอเซตและเทอร์มอพลาสติก นอกจากช่วยลดต้นทุนยังช่วยด้านการขึ้นรูปด้วย ตัวเติมชนิดแรกๆ คือ ผงไม้หรือผงขี้เลื่อย ซึ่งมีความแข็งแรงเพราะมีเส้นใยไม้ ราคาถูกน้ำหนักเบา ผสมง่าย แต่มีข้อเสียคือ ดูดน้ำได้มาก ปัจจุบันใช้ตัวเติมอื่นๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, $CaCO_3$) ทัลก์ (talc) ดินเหนียว (clay) ซิลิกา (silica) ตัวเติม ส่วนใหญ่ช่วยเพิ่มสมบัติ เช่น ไมกา (mica) เพิ่มความต้านทานความร้อน (heat resistance) และลดการบิดเบี้ยว (warpage) ออกไซด์ของโลหะ (metal oxide) แคลเซียมซัลเฟต (calcium sulfate) เพิ่มความต้านทานแรงดึงและแรงกด แบเรียมซัลเฟต (barium sulfate) เป็นผงสีขาว เพิ่มความถ่วงจำเพาะ ความต้านทานแรงเสียดทานและสารเคมี คาร์บอนแบล็ก (ดู carbon black) เป็นผงสีดำ ต้านการเกิดประจุไฟฟ้าสถิตและเพิ่มความเป็นตัวนำ (conductive) ผงหิน/ผงชอล์ค (stone flour/chalk) ผงแก้วกลวง (hollow glass micro sphere) ช่วยลดความหนาแน่น เส้นใยแก้ว (glass fiber)

**flame retardant สารหน่วงไฟ**
สารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ ซึ่งมีโบรมีน (bromine) หรือคลอรีน (chlorine) หรือฟอสฟอรัส (phosphorus) หรือพลวง (antimony) หรืออะลูมิเนียม (aluminium) ธาตุใดธาตุหนึ่งเป็นองค์ประกอบ ใส่ในพลาสติกเพื่อต้านการติดไฟ ทำให้ติดไฟยาก โดยลดอุณหภูมิการจุดติดไฟ (ignition temperature) และชะลออัตราการเผาไหม้ของพลาสติก เพิ่มความปลอดภัย ป้องกันชีวิตและทรัพย์สิน ไม่สามารถทำให้พลาสติกไม่ติดไฟ แต่ช่วยลดความสามารถในการติดไฟหรือสภาพลุกไหม้ได้ (flammability) หรือช่วยให้ไฟมอดดับเองได้ (self-extinguishing) โดยเข้าไปแทรกแซงกลไกการเผาไหม้ด้วยวิธีทางกายภาพ หรือโดยปฏิกิริยาเคมี เช่น ลดเชื้อเพลิงสำหรับการติดไฟ ลดความร้อนหรือลดปริมาณออกซิเจน แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ สร้างพันธะทางเคมียึดกับเนื้อพลาสติก และประเภทที่ใช้เป็นสารเติมแต่ง (ดู additive) ใส่ผสมทางกายภาพกับพลาสติกที่ต้องการสมบัติต้านการติดไฟโดยไม่เกิดพันธะทางเคมี แบ่งตามลักษณะการทำหน้าที่เป็น 3 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มที่เกิดถ่านชาร์ (char former) ทำหน้าที่ต้านเปลวไฟ โดยก่อให้เกิดชั้นถ่านชาร์ที่เป็นฉนวนปิดกั้นผิวพลาสติกจากความร้อนจากไฟ และปิดกั้นไม่ให้ออกซิเจนจากบรรยากาศเข้าไป ได้แก่ สารที่มีฟอสฟอรัส เช่น แอมโมเนียมฟอสเฟต (ammonium phosphate) หรือซิงค์บอเรต (zinc borate)

2) กลุ่มที่ดูดซับความร้อน (heat absorber) ทำหน้าที่ลดความร้อนโดยใช้ความร้อนไประเหยน้ำออกจากสาร ช่วยให้พื้นผิวเย็นลงจนต่ำกว่าอุณหภูมิการจุดติดไฟ ได้แก่ สารกลุ่มไฮเดรตของโลหะ เช่น อะลูมิเนียมไทรไฮเดรต (aluminium trihydrate) แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (magnesium hydroxide) เป็นต้น

3) กลุ่มที่ดับเปลวไฟ (flame quencher) ทำหน้าที่โดยลดออกซิเจนด้วยการแทรกแซงปฏิกิริยาในเปลวไฟ ได้แก่ สารกลุ่มที่มีแฮโลเจน เช่น โบรมีน (bromine) หรือคลอรีน (chlorine) มักใช้ร่วมกับสารเสริม (synergist) เช่น สารหน่วงไฟไทรออกไซด์ของพลวง (antimony trioxide)



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้สารหน่วงไฟ เช่น สายไฟ-สายเคเบิล



พลาสติกที่ไม่ใส่สารหน่วงไฟ มักติดไฟง่ายและเร็ว

**fluorescent whitening agent (FWA), fluorescent brightener (FB) สารเพิ่มความขาวจากการวาวแสง (เอฟดับเบิลยูเอ, เอฟบี)**

ดู optical brightening agent (OBA)

**foaming การทำโฟม**

การทำให้พลาสติกมีโครงสร้างเป็นรูพรุนแบบโฟมโดยใช้สารฟู (ดู chemical blowing agent) ซึ่งจะแตกตัวให้ก๊าซเมื่อได้รับความร้อนขณะขึ้นรูป ข้อดีของการทำโฟมคือ การลดต้นทุนเพราะใช้วัตถุดิบน้อยลง (เทียบกับชิ้นงานพลาสติกปกติขนาดเท่ากัน) ลดน้ำหนักและความหนาแน่นของชิ้นงานพลาสติก ผลิตเป็นชิ้นงานโฟมพลาสติกหนาโดยไม่มีปัญหาการบิดเบี้ยว (warpage) หรือตำหนิที่ผิวชิ้นงาน เช่น รอยยุบ (sink mark) โฟมพลาสติกเป็นฉนวนความร้อนที่ดี ทนการกระแทกได้ดี แต่ข้อเสียของการทำโฟมคือ รอบเวลาการขึ้นรูปชิ้นงาน (cycle time) นานกว่าการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกปกติโดยกระบวนการอื่นๆ

**fragrance กลิ่นหอม**

น้ำมันหอม (fragrance oil) ใส่ผสมในพลาสติกเพื่อเพิ่มกลิ่นหอม เพื่อกลบกลิ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ มีหลายชนิดทั้งที่เป็นน้ำมันหอมที่สกัดจากวัสดุธรรมชาติ เช่น ดอกไม้ โดยเฉพาะกุหลาบ มะนาว หรือเป็นสารสังเคราะห์ กลิ่นหอมในผลิตภัณฑ์พลาสติกสามารถกลบกลิ่นไม่พึงประสงค์ขณะใช้งาน หรืออาจใช้กลิ่นสร้างเอกลักษณ์เชิงพาณิชย์หรือความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันในท้องตลาด ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่นิยมใส่กลิ่นหอม เช่น ของเล่น ของใช้ในบ้าน โรงพยาบาล โรงแรมและอาคารพาณิชย์ ฟิล์มหรือแผ่นพลาสติกเพื่อบรรจุภัณฑ์ เช่น ถุงขยะ พลาสติกในผ้าอ้อมอนามัย ขวดบรรจุน้ำยาซักล้าง แชมพู ขวดยา กลิ่นหอมที่นิยม เช่น กุหลาบ มะนาว หรืออาจเป็นกลิ่นจากอาหารหรือเครื่องดื่ม ขึ้นรูปด้วยกระบวนการที่หลากหลาย เช่น การฉีดเข้าแบบหล่อ (injection moulding) การเป่าฟิล์ม (film blowing) การทำโฟม (foaming) การขึ้นรูปแบบหมุน (rotational moulding) เป็นต้น

**free radical terminator สารหยุดยั้งอนุมูลอิสระ**
สารเติมแต่ง (ดู additive) ประเภทสารเสถียรแสงกลุ่มที่หยุดยั้งอนุมูลอิสระ ซึ่งเกิดจากพลังงานความร้อนหรือจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ตัวอย่างสารหยุดยั้งอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ได้แก่ ฮินเดอรด์เอมีน (hindered amine) ซึ่งมีราคาแพงกว่าสารดูดซับแสงอัลตราไวโอเลต (ดู UV absorber) แต่เป็นที่นิยมใช้มากในพลาสติกกลุ่มพอลิโอลิฟินส์ เพราะมีประสิทธิภาพดีและคุ้มราคา เช่น บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร แผ่นพลาสติกเพื่องานเกษตร เพราะทนต่อยาฆ่าแมลงที่ใส่ในพืชเกษตร ประสิทธิภาพของสารนี้ยังเพิ่มขึ้นอีกเมื่อใช้ควบคู่กับตัวต้านออกซิเดชัน (ดู antioxidant)

**glass transition temperature ($T_g$) อุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว**
อุณหภูมิสูงสุดที่พลาสติกเปลี่ยนจากสภาพแข็ง เปราะคล้ายแก้ว (glassy) ไปเป็นสภาพนุ่ม อ่อนตัวคล้ายยาง (rubbery) สามารถดัดให้โค้งงอได้ เกิดจากสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ที่จัดตัวแบบอสัณฐาน (amorphous) หยุดการเคลื่อนขยับเมื่ออุณหภูมิลดลงถึงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว เป็นสมบัติของพอลิเมอร์ ยางและพลาสติก ทั้งเทอร์มอพลาสติกและเทอร์มอเซตที่มีโครงสร้างอสัณฐาน สำหรับเทอร์มอพลาสติกอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วอยู่ต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว (ดู melting temperature ($T_m$)) และอุณหภูมิอ่อนตัว (softening temperature ($T_s$))

**heat stabilizer สารเสถียรความร้อน**
สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในพลาสติกเพื่อลดอัตราการสลายตัวของพลาสติกด้วยความร้อน ทำให้พลาสติกทนความร้อนได้สูงขึ้น มักใช้ขณะขึ้นรูปพอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride (PVC)) ซึ่งปกติจะแตกสลาย (degrade) ให้ไฮโดรเจนคลอไรด์ (dehydroclorination) ที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ทำให้พอลิไวนิลคลอไรด์มีสีหมองคล้ำและเปราะ นอกจากนี้ปัญหาที่ตามมาคือไฮโดรเจนคลอไรด์ที่เกิดกลายเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) การแตกสลายต่อไปอีก สารเสถียรความร้อนที่เติมจึงต้องทำงานสองหน้าที่ คือป้องกันการแตกสลายให้ไฮโดรเจนคลอไรด์ และต้องทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนคลอไรด์ที่ออกมาด้วย ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้สารเสถียรความร้อนมากกว่าหนึ่งชนิด

ตัวอย่างสารเสถียรความร้อน ได้แก่ แบเรียม-แคดเมียม-สังกะสี-แคลเซียม-ตะกั่ว และสารประกอบออร์แกโนทิน (organotin compound) ที่นิยมใช้สารเพิ่มเสถียรความร้อนผสมกัน เช่น แบเรียม-สังกะสี หรือ แคลเซียม-สังกะสี การเลือกใช้ยังขึ้นกับลักษณะการใช้งานของผลิตภัณฑ์พลาสติกและภูมิศาสตร์ของแหล่งที่ใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

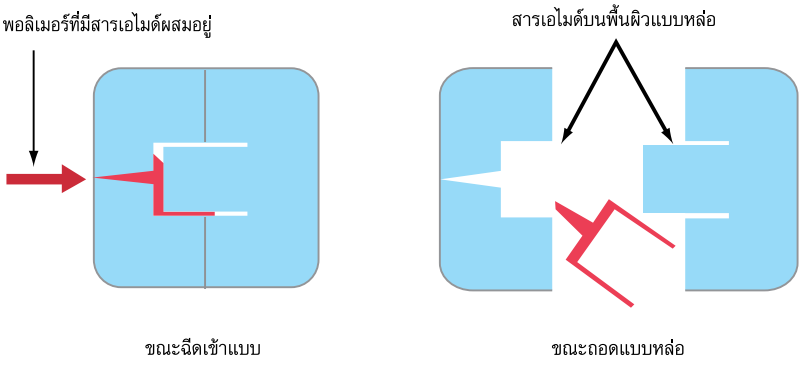
**impact modifier สารดัดแปรความทนแรงกระแทก**
สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในพลาสติกเพื่อเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทก (impact strength) และความเหนียว (toughness) โดยแปรเปลี่ยนสมบัติในตัวพลาสติก (inherent properties) แต่ละชนิดเพียงเล็กน้อย ได้แก่ ค่ามอดุลัสของความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) และแรงดึง (tensile strength) เป็นทางเลือกหนึ่งนอกเหนือจากการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติก ซึ่งมีผลทำให้ความสามารถขึ้นรูป (processability) ของพลาสติกลดลง หรือการเติมสารเสริมสภาพพลาสติก (ดู plasticizer) ซึ่งมีผลทำให้การทนแรงดึงและสมบัติเชิงความร้อนลดลง ใส่ได้ในทั้งเทอร์มอพลาสติกและเทอร์มอเซต เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride (PVC)) พอลิเอทิลีน (ดู polyethylene (PE)) พอลิโพรพิลีน (polypropylene (PP)) พอลิสไตรีน (ดู polystyrene (PS)) เป็นต้น รวมไปถึงพลาสติกวิศวกรรมหลายชนิด



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พลาสติกที่นิยมใส่สารดัดแปรความทนแรงกระแทก เช่น โปรไฟล์พลาสติก

**internal lubricant สารหล่อลื่นภายใน**
สารเติมแต่ง (ดู additive) เพื่อหล่อลื่นพลาสติกหลอมที่สามารถละลายได้ จึงทำหน้าที่หล่อลื่นภายในระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ ช่วยลดความหนืดของพลาสติกหลอมให้ไหลได้ดีขึ้น แต่ไม่ช่วยให้พลาสติกที่หลอมหลุดร่อนจากผิวโลหะ ตัวอย่างสารหล่อลื่นภายใน เช่น กรดไขมัน (fatty acid) เอไมด์ของกรดไขมัน (fatty acid amide) เอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ester)

**internal mould releasing agent สารช่วยถอดแบบหล่อภายใน**
สารเติมแต่ง (ดู additive) ประเภทสารช่วยถอดแบบหล่อ (ดู mould releasing agent) มีพื้นผิวไวต่อการทำปฏิกิริยา ใช้ผสมกับพลาสติกหลอมในขั้นตอนการทำคอมพาวนด์ด้วยการใช้สารละลายพาหะ (carrier solvent) เช่น สไตรีน ระหว่างการขึ้นรูปในแบบหล่อซึ่งมีทั้งความร้อน ความดัน และการหดตัวของชิ้นงานขณะเย็นลง สารนี้จะแยกตัวออกจากสารละลายพาหะและเคลื่อนย้ายสู่ผิวของชิ้นงานในแบบหล่อ เกิดเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ประมาณ 30-50 ไมครอน มักเป็นสารประกอบที่มีแอลกอฮอล์หรือเอไมด์ของไขมัน (fatty alcohol/amide) เอสเทอร์ (ester) หรือไข (wax) ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายสู่ผิวของชิ้นงานในแบบหล่อ ทำให้เกิดฟิล์มสม่ำเสมอบนผิวชิ้นงานทำให้การถอดแบบง่าย แต่ฟิล์มที่เคลือบบนผิวชิ้นงานมีผลต่อเนื่องทำให้ยึดติด (adhesion) ต่อไปไม่ได้ ในขั้นตอนการประกอบหรือตกแต่งชิ้นงานพลาสติกหลังการถอดแบบ แม้จะล้างทำความสะอาดผิวของชิ้นงานแล้ว แต่สารช่วยถอดแบบหล่อภายในก็ยังเคลื่อนย้ายสู่พื้นผิวของชิ้นงานต่อเนื่อง ทำให้ยึดติดหรือตกแต่งไม่ได้

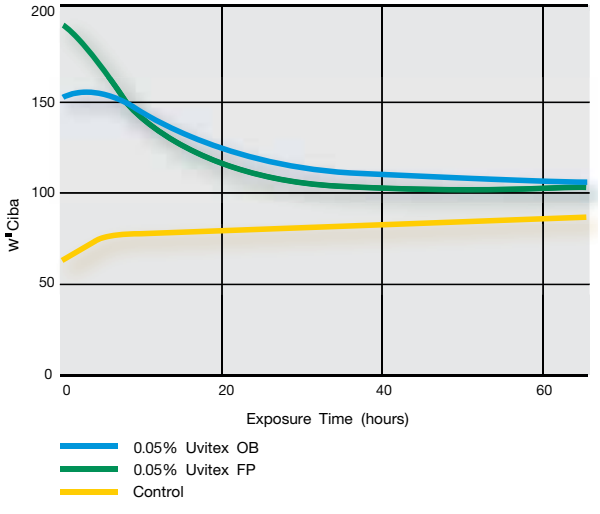


ภาพแสดงการฉีดเข้าแบบหล่อและการถอดชิ้นงานฉีดจากแม่แบบ

**internal plasticization การเสริมสภาพพลาสติกภายใน**
การทำให้พลาสติกอ่อนตัว พร้อมทั้งลดอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วของพอลิเมอร์แข็งที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วสูง โดยการทำพอลิเมอร์ร่วม (copolymer) ระหว่างมอนอเมอร์ของพอลิเมอร์ที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วสูงกับมอนอเมอร์ของพอลิเมอร์ที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วต่ำกว่า ข้อดีของการเสริมสภาพพลาสติกภายในคือ โมเลกุลของพอลิเมอร์แข็งยึดติดกับโมเลกุลของพอลิเมอร์ อ่อนด้วยพันธะทางเคมีที่แข็งแรง จึงไม่ระเหยและไม่อาจทำลายได้โดยการสกัด แต่ข้อเสียของการเสริมสภาพภายในคือ พอลิเมอร์ร่วมที่ได้มีระดับความอ่อนตัวจำกัด สมบัติเชิงกลของพลาสติกที่เสริมสภาพภายในนี้เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนและมีเสถียรภาพทางมิติต่ำ (dimensional stability) คือมีการสูญเสียรูปทรงที่อุณหภูมิสูง

**light fastness ความทนแสง**

สมบัติที่สำคัญของสารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในพลาสติกประเภทสารเพิ่มความขาวจากการวาวแสง (ดู fluorescent whitening agent) หรือสารเพิ่มความสว่างเชิงแสง (ดู optical brightening agent) บ่งชี้และตรวจสอบด้วยดัชนีความขาว (whitening index) ถ้าระดับดัชนีความขาวมีค่าสูงและคงที่แม้ถูกแสงเป็นเวลานาน บ่งชี้ว่าสารเพิ่มความขาวและพลาสติกที่ใส่สารเพิ่มความขาวดังกล่าวสามารถทนแสงได้ดี




แผนภูมิแสดงความทนแสงของแผ่นพีวีซีแบบอ่อนตัวเมื่อเพิ่มความขาว

**light stabilizer สารเสถียรต่อแสง**

สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในพลาสติกเพื่อป้องกันการเสื่อมของพลาสติกจากแสงทุกคลื่นความยาว ซึ่งเป็นตัวเร่งให้พลาสติกเสื่อมตามอายุ (aging) ส่วนใหญ่ทำหน้าที่ป้องกันการเสื่อมสภาพเหตุแสง (photodegradation) โดยเฉพาะช่วงคลื่นอัตราไวโอเลต (ultraviolet (UV)) ในแสงแดด ซึ่งมีระดับพลังงานที่สามารถทำลายพันธะเคมีบางส่วนในพลาสติก ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radicals) ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นอนุมูลเพอร์ออกซี (peroxy radical) ตัดสายโซ่โมเลกุลของพลาสติก ทำให้สมบัติเชิงกายภาพของพลาสติกถดถอยลง ลักษณะบ่งชี้คือ เกิดความเหลือง (yellowing) และความเปราะ (embrittlement) สารเสถียรต่อแสงมี 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ดูดซับแสงอัลตราไวโอเลต (ดู UV absorber) กลุ่มที่หยุดการเกิดอนุมูลอิสระ (ดู free radical terminator) และกลุ่มที่ระงับ (quencher) แต่ละกลุ่มทำหน้าที่ด้วยกลไกแตกต่างกัน สารเสถียรต่อแสงที่ดีต้องไม่มีสี ทนต่อแสงได้ดีไม่กลายเป็นสีเหลืองอมเทาเมื่อถูกแสง ไม่ระเหยง่ายและไม่เป็นพิษ ใส่ในพลาสติกเพียงร้อยละ 0.05-2.00 โดยน้ำหนัก ขึ้นอยู่กับกลุ่ม ชนิดของพลาสติก การใช้งาน ความหนาของชิ้นงานพลาสติก และสารเติมแต่งอื่นๆ ที่ใส่ในพลาสติก เช่น การใส่สารเสถียรต่อแสงร่วมกับสารเติมแต่งอื่นๆ อย่างเป็นระบบ



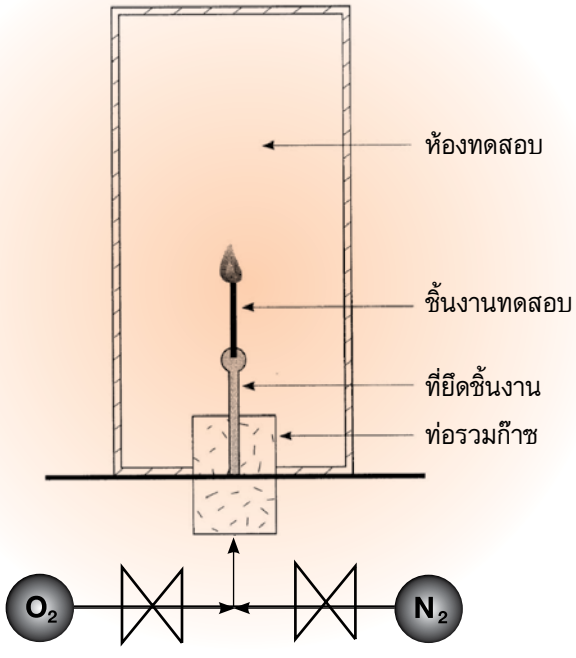
หลังคาพลาสติกพีวีซีที่เติมทั้งสารเสริมสภาพพลาสติกและสารเสถียรต่อแสง



หลังคาเรือนเพาะปลูกใช้พลาสติกที่ใส่สารเสถียรต่อแสง

**limiting oxygen index (LOI), oxygen index ดัชนีออกซิเจนจำกัด (แอลโอไอ), ดัชนีออกซิเจน**

ดัชนีชี้วัดความสามารถติดไฟ (flammability) โดยวัดจากปริมาณต่ำสุดของออกซิเจนในบรรยากาศ ที่พลาสติกจะติดไฟได้อย่างต่อเนื่อง หน่วยเป็นร้อยละโดยปริมาตร ทดสอบโดยวิธีทดสอบมาตรฐานต่างๆ เช่น มาตรฐานสหรัฐอเมริกาสำหรับการทดสอบวัสดุ (American Standard for Testing of Material (ASTM)) วิธี ASTM D 2863 โดยวางชิ้นงานทดสอบตามแนวดิ่งในกระบอกแก้วที่มีก๊าซผสมระหว่างออกซิเจนและก๊าซเฉื่อย คือ ก๊าซไนโตรเจน จากนั้นจุดไฟเผาชิ้นงานทดสอบ ปรับปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ป้อนเข้าจนถึงระดับที่ชิ้นงานเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง ปริมาณต่ำสุดของก๊าซออกซิเจนที่ช่วยให้ชิ้นงานติดไฟอย่างต่อเนื่องคือค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) ตัวอย่างเช่น ถ้า LOI ของพลาสติกที่ทดสอบมีค่าเท่ากับ 40 หมายความว่า พลาสติกดังกล่าวจะติดไฟในบรรยากาศที่มีออกซิเจนอยู่ร้อยละ 40 โดยปริมาตร เป็นการทดสอบหนึ่งในการคัดกรอง (screening) เมื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ หรือเพื่อการควบคุมคุณภาพ




การทดสอบหาดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI)

**lubricant สารหล่อลื่น**

สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในพลาสติกเพื่อช่วยการไหลของพลาสติกหลอม (polymer melt) ช่วยให้พลาสติกหลอมไม่ติดบนพื้นผิวโลหะร้อน เช่น ลูกรีด (roll) กระบอกฉีด (barrel) และสกรู (screw) ขณะขึ้นรูป การใช้สารหล่อลื่นช่วยระบายความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างผิวโลหะกับพลาสติกหลอม มี 2 แบบ ได้แก่ แบบภายใน (ดู internal lubricant) และแบบภายนอก (ดู external lubricant) ตัวอย่างสารหล่อลื่น ได้แก่ สบู่โลหะ (metal soap) ไขไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon wax) ไขพอลิเอทิลีน (PE wax) ไขเอไมด์ (amide wax) กรดไขมัน (fatty acid) เอไมด์ของกรดไขมัน (fatty acid amide) แอลกอฮอล์ของไขมัน (fatty alcohol) เอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ester)

**matrix เมทริกซ์**

พลาสติกที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่องในวัสดุเชิงประกอบ (ดู composite, composite material) เมทริกซ์ทำหน้าที่เป็นตัวคั่นให้วัสดุเสริมกำลังซึ่งเป็นวัฏภาคกระจาย ให้แยกกระจายออก เป็นส่วนเพิ่มความแข็งแรงและมอดุลัสของความยืดหยุ่น พลาสติกทั้งประเภทเทอร์มอพลาสติกและเทอร์มอเซตสามารถเป็นเมทริกซ์ได้ เทอร์มอพลาสติกที่นิยม ได้แก่ ไนลอน (ดู nylon) พอลิโพรพิลีน (PP) ส่วนเทอร์มอเซตที่นิยม ได้แก่ พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (uPET) อิพ็อกซี (ดู epoxy) ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (ดู phenol formaldehyde (PF)) ไวนิลเอสเทอร์ (vinyl ester) วัสดุเชิงประกอบที่ดีควรมีเมทริกซ์ห่อหุ้มและยึดติดกับวัสดุเสริมกำลัง เพื่อก่อรูปทรงเป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นรูป นอกจากนี้เมทริกซ์ยังเป็นส่วนรับแรงภายนอกและถ่ายโอนแรงสู่วัสดุเสริมกำลัง เมทริกซ์ที่ดีควรเป็นของไหลที่ยึดกับวัฏภาคกระจายได้ดี และสามารถขึ้นรูปได้ง่าย

**melting temperature ($T_m$) อุณหภูมิหลอม**

อุณหภูมิที่พอลิเมอร์หรือเทอร์มอพลาสติกได้รับพลังงานความร้อนสูงพอ จนสามารถทำลายพันธะระหว่างโมเลกุล (intermolecular bonding) ทำให้สายโซ่โมเลกุลเลื่อนไถลผ่านกัน เกิดการหลอมเหลวและการไหล สมบัติเชิงความร้อนที่พบในพอลิเมอร์และเทอร์มอพลาสติก อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (ดู glass transition temperature ($T_g$)) อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิการอ่อนตัว (softening temperature ($T_s$)) แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายเสมอ (degradation temperature ($T_d$)) สำหรับเทอร์มอพลาสติกที่มีระดับขั้นการเรียงตัวเป็นผลึกสูง (degree of crystallinity) การหลอมเกิดในช่วงอุณหภูมิแคบๆ แต่สำหรับเทอร์มอพลาสติกอสัณฐานจะมีค่าอุณหภูมิหลอมในช่วงกว้าง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิหลอม ได้แก่ พันธะระหว่างโมเลกุล ความอ่อนตัวของสายโซ่โมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล โครงสร้างแบบกิ่ง ความมีสมมาตรของกลุ่มที่เกาะติดด้านข้างของสายโซ่หลัก เป็นต้น

ตารางแสดงอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว ($T_g$) และอุณหภูมิหลอมเหลว ($T_m$) ของพลาสติกชนิดต่างๆ

| พลาสติก | $T_g$ (°C) | $T_m$ (°C) |
|---|---|---|
| Polyethylene (high density) | -115 | 137 |
| Polyoxymethylene | -85 | 181 |
| Polyisoprene (natural rubber) | -73 | 28 |
| Polyisobutylene | -73 | 28 |
| Polyvinylidene chloride | -19 | 190 |
| Polyhexamethylene adipamide (nylon 66) | 53 | 265 |
| Polyethylene terephthalate | 69 | 265 |
| Polyvinyl chloride | 81 | 212 |
| Polystyrene | 100 | 240 |
| Polytetrafluoroethylene | 127 | 327 |

**miscibility สภาพผสมเข้ากันได้**

ความสามารถในการผสมเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์กับพอลิเมอร์ หรือพอลิเมอร์กับพอลิเมอร์ร่วม หรือพอลิเมอร์ร่วมกับพอลิเมอร์ร่วม การผสมเข้ากันได้ขึ้นกับตัวแปรอิสระ เช่น อุณหภูมิการผสม ความดันขณะผสม น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์คู่ผสม โดยพิจารณาจากค่าพลังงานอิสระของกิบส์ในการผสม (Gibbs' free energy of mixing, $\Delta G_m$) ที่สมดุลเทอร์มอไดนามิกส์ (equilibrium thermodynamics)

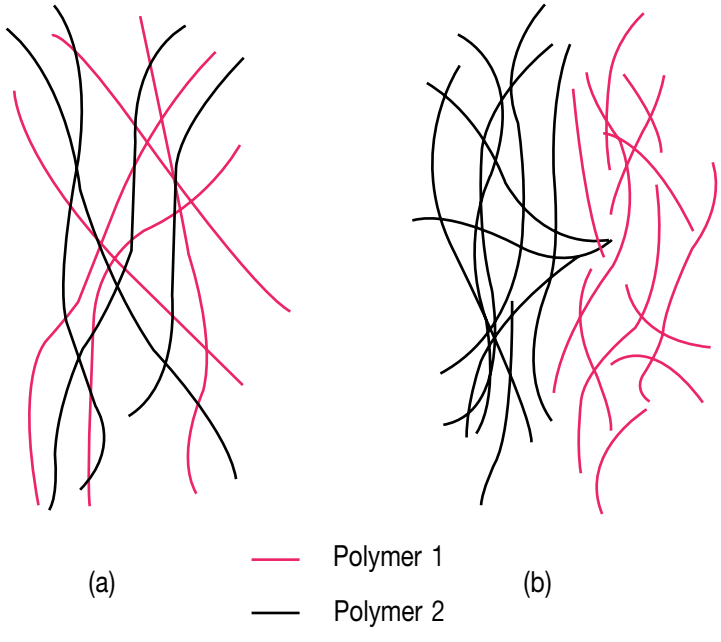
$$\Delta G_m = G_{12} - (G_1 + G_2)$$

เมื่อ $G_1$ คือ พลังงานอิสระของกิบส์สำหรับพอลิเมอร์ 1

$G_2$ คือ พลังงานอิสระของกิบส์สำหรับพอลิเมอร์ 2

$G_{12}$ คือ พลังงานอิสระของกิบส์สำหรับการผสมกันระหว่างพอลิเมอร์ 1 และพอลิเมอร์ 2 สำหรับ

ในกรณีที่พอลิเมอร์ผสมที่สภาพเข้ากันได้ (miscible polymer blends) ค่าของ $\Delta G_m \leq 0$ แต่ในกรณีพอลิเมอร์ผสมที่มีสภาพเข้ากันไม่ได้ (immiscible polymer blends) ค่าของ $\Delta G_m > 0$




ภาพแสดงความสามารถผสมเข้ากันได้ระหว่างสารหรือพอลิเมอร์ 2 ชนิด
(a) พอลิเมอร์ผสมมีสภาพเข้ากันได้
(b) พอลิเมอร์ผสมมีสภาพเข้ากันไม่ได้

| ตัวอย่างพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์อัลลอย | ผู้ผลิต |
|---|---|
| PPE/PS, PPE/PA, PPE/PET, PPE/PBT, PPE/HIPS, | General Electric Plastics |
| PC/ASA, PC/PET, PC/PBT, PC/PCT, PC/ABS, PC/PE, | |
| PC/PO[1], PBT/PET, PEI/PA, PEI/PC, PPS alloys, SAN/PSO[2], | |
| ABS/PA, ABS/PMMA, ABS/PVC, ASA/PVC, acrylic/PVC, | |
| ASA/PMMA, PBT/EL[3], PBT/ABS | |
| PC/ABS, PO/EPDM, TPU[4]/ABS, PS/PMMA, PS/EL | DOW |
| PC/ABS, PC/PE, PC/PS, PC/PET, PA-6/EL, PA-6/PO, | Bayer/Mobay |
| PC/PBT, PBT/EL, PC/PO, PA-6/PA-6.6 | |
| PPE/HIPS, PP/EPR, PC/ABS, PC/ASA, PC/PBT/EL, | BASF |
| PC/PET/EL, PBT/ASA, PBT/SAN, PA/ASA, PA/ABS, PPE/PA, | |
| PSO alloys, PA-6/PA-6.6, PPE/PA, PPS alloys | |
| POM/EL, PA/EL, PA/PE, PET/EL, PBT/EL | Du Pont |
| POM/EL, POM/PTFE, acrylic/PVC, PA/acrylic rubber, | |
| PA-6/PA-6.6, PA-6, 12/EL | |
| PA/EL, PBT/PET, PBT/EL, POM/EL, POM/TPU, PP/EPDM, PS/EL | Hocchst/Celanese |

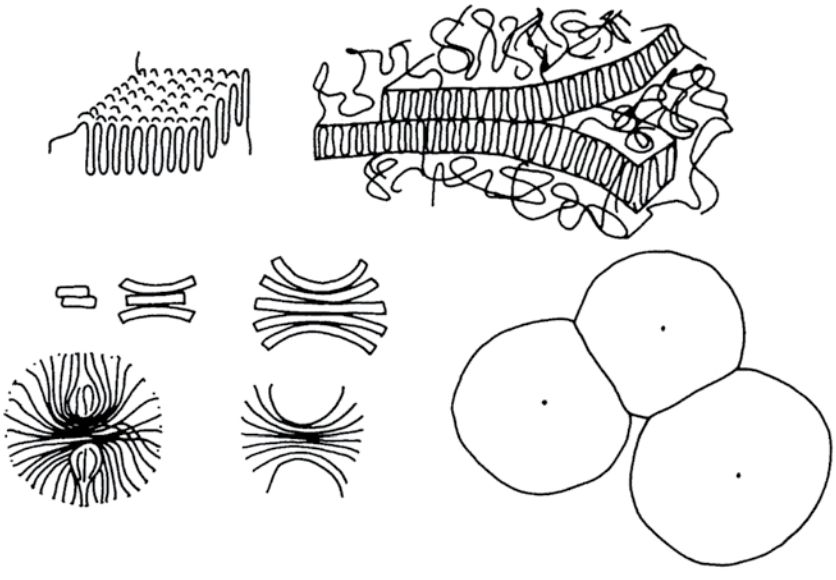
[1]PO = polyolefins; [2]PSO = polysulfone; [3]EL = elastomer; [4]TPU = thermoplastic linear polyurethanes

**mould releasing agent สารช่วยถอดแบบหล่อ**

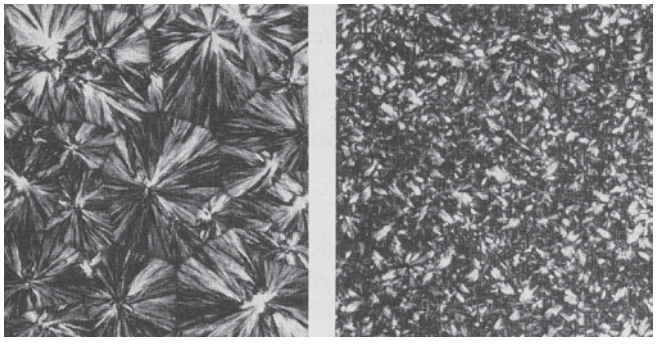
สารเติมแต่ง (ดู additive) ใช้เพื่อหล่อลื่นให้ถอดชิ้นงานพลาสติก หรือวัสดุเชิงประกอบ (ดู composite, composite material) จากแบบหล่อได้ง่าย ลดการเกิดตำหนิบนผิวชิ้นงาน มีทั้งเป็นของเหลว น้ำมันหล่อลื่น (lubricant oil) สารหล่อลื่นแข็ง (solid lubricant) และไข (wax) ทำหน้าที่โดยเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ที่ผิวของชิ้นงาน ป้องกันชิ้นงานติดกับพื้นผิวแบบหล่อ นิยมใช้เทฟลอน (teflon) หรือพอลิเททระฟลูออโรเอทิลีน (polytetrafluoroethylene) ที่มีความลื่น ทนสารเคมีและความร้อนได้ดี เคลือบหรือพ่นบนผิวของแบบหล่อ ใช้งานได้ผลดีคงทน นอกจากนี้ ยังนิยมใช้สารซิลิโคนฉีดพ่นบนพื้นผิวภายในแบบหล่อ แต่ต้องพ่นซ้ำบ่อยๆ การเลือกสารช่วยถอดแบบหล่อต้องพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของพลาสติกที่จะขึ้นรูป วัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อ (ซึ่งอาจเป็นโลหะ เช่น อลูมิเนียม อัลลอยของโลหะ หรือวัสดุเชิงประกอบ พลาสติก ยาง เป็นต้น) กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน ภาวะขณะขึ้นรูป ตลอดจนการตกแต่งชิ้นงานพลาสติกหลังการถอดแบบ แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ สารช่วยการถอดแบบหล่อภายใน (ดู internal mould releasing agent) และภายนอก (ดู external mould releasing agent)

**nucleating agent สารก่อผลึก**

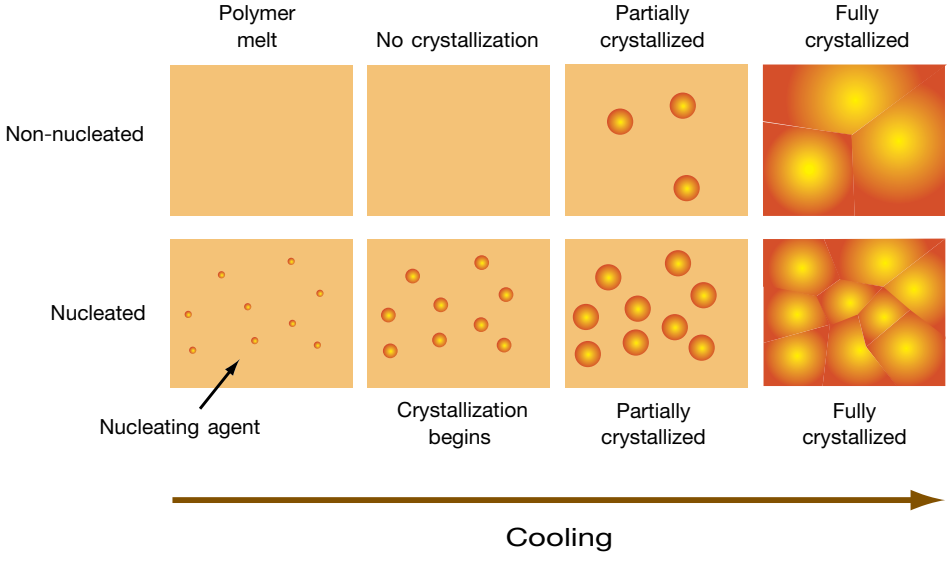
สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในเทอร์มอพลาสติกประเภทโครงสร้างกึ่งผลึก (semi-crystalline) เพื่อเป็นจุดเริ่มก่อผลึก (nuclei) ของผลึก (crystal) ในพลาสติกหลอมขณะเย็นลงในช่วงท้ายของการขึ้นรูป กลไกการเกิดผลึกเริ่มจากโมเลกุลของพลาสติกส่วนที่เรียงตัวอย่างมีระเบียบเป็นสัณฐานแถบบางๆ เรียกว่า ลาเมลลาร์ (lamellar) สามารถก่อตัวรอบจุดเริ่มก่อผลึก เกิดเป็นโครงสร้างผลึกซึ่งมีโมเลกุลแบบอสัณฐานแทรกอยู่ระหว่างแถบลาเมลลาร์ กลายเป็นผลึกรูปทรงกลมเรียกว่า สเฟียรูไลต์ (spherulites) ซึ่งเติบโตเพิ่มขนาดขึ้นเรื่อยๆ จนผนังของสเฟียรูไลต์ชนกันกับผนังของผลึกถัดไป ทำให้การเติบโตหยุดลงและสูญเสียรูปทรงกลม ขนาดของสเฟียรูไลต์มีผลต่อสมบัติเชิงกล เชิงกายภาพ และความใสของพลาสติก การใส่สารก่อผลึกเป็นวิธีการเชิงพาณิชย์ที่ใช้กับพอลิโอลิฟินส์ เช่น พอลิโพรพิลีน และพอลิเอไมด์ เพื่อควบคุมการเริ่มก่อผลึกให้เป็นแบบพหุพันธ์ (heterogeneous nucleation) ที่มีจุดเริ่มก่อผลึกจำนวนมากกระจายสม่ำเสมอทั่วเนื้อพลาสติกหลอม เป็นการเร่งให้เกิดผลึกเร็วขึ้น และผลึกที่เกิดจำนวนมากแต่ขนาดเล็กช่วยลดระยะเวลาการเย็นตัวเป็นพลาสติกแข็ง ทำให้รอบเวลาการขึ้นรูป (cycle time) สำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ขึ้นรูปโดยวิธีการฉีดเข้าแบบหล่อ (injection moulding) สั้นลง



ลาเมลลาร์จากโมเลกุลที่พับเป็นระบียบและการเกิดผลึกสเฟียรูไลต์



ผลของสารก่อผลึกต่อขนาดผลึกสเฟียรูไลต์ของพอลิโพรพิลีน (ซ้าย) ปราศจากสารก่อผลึก และ (ขวา) เมื่อใส่สารก่อผลึก




กระบวนการเกิดผลึกในพลาสติกที่ไม่ใส่และใส่สารก่อผลึก

**optical brightening agent (OBA), optical brightener (OB) สารเพิ่มความสว่างเชิงแสง (โอบีเอ, โอบี)**

สารเติมแต่ง (ดู additive) อินทรีย์ที่ใส่ในพลาสติก เพื่อลดความเหลือง เพิ่มความขาวและความสว่างสุกใส ดูดซับแสงอัลตราไวโอเลต (UV) ช่วงความยาวคลื่นสั้นระหว่าง 300-400 นาโนเมตร ที่ตาเปล่ามองไม่เห็น แล้วสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่นสูงขึ้นระหว่าง 400-500 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงช่วงสีม่วงถึงสีฟ้าที่ตามองเห็นได้ ทำให้พลาสติกดูขาวสว่างหรือทำให้พลาสติกสีเด่นสดใสขึ้น สารเพิ่มความสว่างที่ดีต้องสะท้อนความขาวสว่างอมสีฟ้า ทนแสงได้ดีโดยยังคงสีขาวสว่างหรือสีอื่นๆ อย่างสดใส ไม่หมองซีดแม้โดนแสงเป็นเวลานาน ทนความร้อนและทนสารเคมี มีไอระเหยน้อย ไม่มีสีและเข้ากันได้ดีกับพลาสติก ใช้ได้ดีกับพลาสติกโภคภัณฑ์ (commodity plastic) เช่น พอลิเอทิลีน (ดู polyethylene (PE)) พอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride (PVC)) พอลิสไตรีน (ดู polystyrene (PS)) และพอลิเมอร์ร่วมของสไตรีนอะคริลิก ตลอดไปจนถึงพลาสติกวิศวกรรม เช่น อะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (ดู acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)) พอลิคาร์บอเนต (ดู polycarbonate (PC)) พอลิเอไมด์ (ดู polyamide (PA)) พอลิเอสเทอร์ (ดู polyester) และพอลิยูริเทน (ดู polyurethane (PU)) ทั้งในรูปแบบแผ่นพลาสติก แผ่นฟิล์ม หรือผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยแบบหล่อ



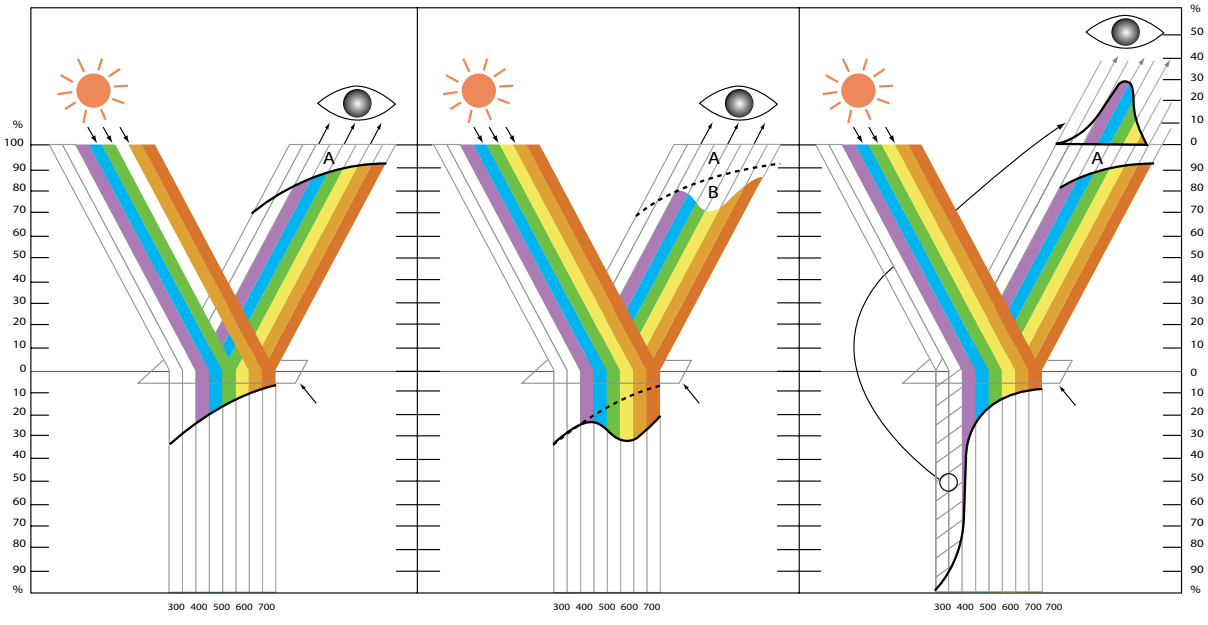
ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใส่สารเพิ่มความสว่างเชิงแสง



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใส่
สารเพิ่มความสว่างเชิงแสง




แพพลาสติกผลิตจากพีวีซีแบบอ่อนตัว แลดูทั้งขาวสว่างและมีสีสดใส




(a) การสะท้อนของแสงเมื่อยังไม่เติมสารเพิ่มความสว่าง

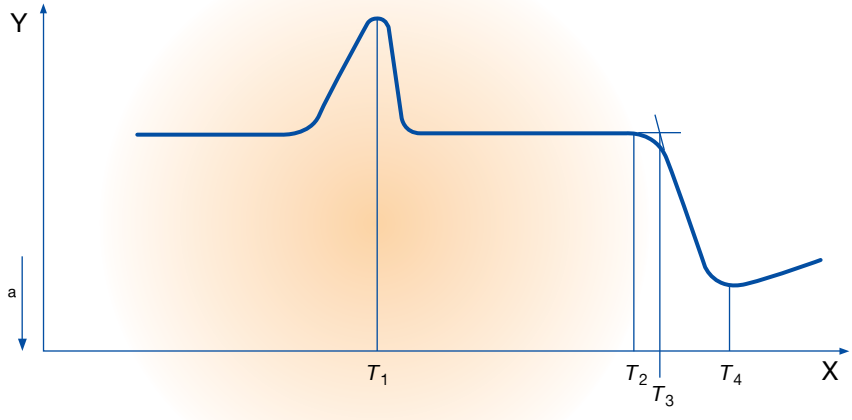
(b) แม้การลดแสงสีเหลืองอาจช่วยให้ดูสว่างขึ้น แต่หากยังมีแสงสีแสด-แดงจะทำให้ยังแลดูไม่สว่างมาก

(c) การสะท้อนแสงสีม่วง-ฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารเพิ่มความสว่าง ทำให้แลดูสว่างสดใสมากขึ้น

ภาพแสดงหลังการเพิ่มความสว่าง/ความขาว

**oxidation induction time (OIT, isothermal OIT), oxidation induction temperature (OIT, dynamic OIT) ระยะเวลาเหนี่ยวนำการเกิดออกซิเดชัน, อุณหภูมิเหนี่ยวนำการเกิดออกซิเดชัน (โอไอที)**

ระยะเวลาสูงสุดหรืออุณหภูมิสูงสุดที่พลาสติก หรือสารต้านออกซิเดชันที่เติมแต่งในพลาสติกสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไว้ได้ วัดโดยวิธีการทดสอบมาตรฐานต่างๆ เช่น มาตรฐานสากล ISO 11357-6 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความต่างต้านความร้อนแบบกราด (differential scanning calorimeter (DSC)) ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานพลาสติกที่ทดสอบด้วยอัตราคงที่จนถึงอุณหภูมิที่กำหนด จากนั้นตรึงอุณหภูมิดังกล่าวให้คงที่ (isothermal) ในบรรยากาศของอากาศปกติหรือในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน จนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในพลาสติก เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน จึงสามารถสังเกตการเริ่มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้จากความร้อนที่เพิ่มอย่างฉับพลันในกราฟบันทึกจากเครื่องวิเคราะห์ ซึ่งเป็นการพล็อตระหว่างอัตราความร้อนกับอุณหภูมิหรืออัตราความร้อนกับเวลา แสดงเป็นระยะเวลาเหนี่ยวนำการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิคงที่




**Key**

X temperature
Y heat flow rate

$T_1$ melting temperature of polymer
$T_2$ onset of oxidation
$T_3$ intercept point determined by tangent method (oxidation induction temperature)
$T_4$ temperature of oxidation peak

a exothermic

กราฟจากเครื่องวิเคราะห์ความต่างต้านความร้อนแบบกราด แสดงการเริ่มเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิ $T_4$

**parts per hundred parts of resin, phr ส่วนต่อเรซิน 100 ส่วน**

ปริมาณของสารเติมแต่ง (ดู additive) ต่อปริมาณเรซิน (พลาสติก) 100 ส่วน

**permanent antistat สารต่อต้านการเกิดไฟฟ้าสถิตแบบถาวร**

สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใส่ในพลาสติกเพื่อต่อต้านการเกิดไฟฟ้าสถิตแบบถาวร มีเสถียรความร้อนสูง และคงความใส นับเป็นคู่แข่งของสารต่อต้านการเกิดไฟฟ้าสถิตกลุ่มเกลือแอมโมเนียมควอเทอร์นารี (quaternary ammonium salts) และกลุ่มเอมีน มีข้อเสียคือ ไม่สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สัมผัสอาหาร จึงไม่เป็นคู่แข่งกับเอสเทอร์ของกรดไขมัน แต่สามารถแข่งขันกับตัวเติมที่เป็นตัวนำ (conductive filler) เช่น คาร์บอนแบล็ก (ดู carbon black) ตัวเติมโลหะ (metal filler) และเส้นใย ซึ่งใช้ป้องกันการสะสมประจุในอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ กลุ่มพลาสติกเป้าหมายของสารต่อต้านนี้ ได้แก่ พอลิเอไมด์ (ดู polyamide (PA)) พอลิคาร์บอเนต (ดู polycarbonate (PC)) พอลิอะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (ABS) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride (PVC)) ผลิตภัณฑ์เป้าหมาย ได้แก่ ส่วนห่อหุ้มเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แผ่นพอลิคาร์บอเนต และจานบันทึกข้อมูล

**physical blowing agent สารฟูทางกายภาพ**
ก๊าซหรือของเหลวที่อัดหรือฉีดเข้าไปในพลาสติกขณะหลอม เพื่อดันให้พลาสติกขยายตัวฟูขึ้น เกิดโครงสร้างรูพรุนแบบโฟม ก๊าซที่อัดต้องเป็นก๊าซเฉื่อย ไม่ติดไฟ ไม่มีกลิ่นและไม่ทำปฏิกิริยากับพลาสติก ส่วนของเหลวที่ฉีดเข้าไปในพลาสติกหลอมมักมีจุดเดือดต่ำ ในอดีตใช้สารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น เพนเทน (pentane) หรือไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีน (chlorinated hydrocarbon) เช่น เมทิลคลอไรด์ (methyl chloride) ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) และสารประกอบคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (chlorofluoro carbon (CFC)) ปัจจุบันนิยมใช้คาร์บอนไดออกไซด์หรือน้ำ

**plasticization การเสริมสภาพพลาสติก**
การเพิ่มความอ่อนตัว ความนุ่ม และการดึงยืดของพลาสติกโดยใส่สารเติมแต่งชนิดสารเสริมสภาพพลาสติก (ดู plasticizers) มี 2 แบบ คือ การเสริมสภาพพลาสติกภายนอก (ดู external plasticization) และการเสริมสภาพพลาสติกภายใน (ดู internal plasticization)

**plasticizer extender สารเพิ่มเนื้อสารเสริมสภาพพลาสติก**
สารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนเหลวซึ่งใช้ร่วมกับสารเสริมสภาพพลาสติก (ดู plasticizers) มักใช้ร่วมกับสารเสริมสภาพพลาสติกปฐมภูมิ (ดู primary plasticizer) ในปริมาณจำกัดเพื่อเป็นสารเจือเท่านั้น (diluent) ช่วยลดต้นทุนเพราะมีราคาถูก หากใช้เป็นสารเดี่ยวอาจมีผลลดความหนืดของพลาสติกหลอมได้เล็กน้อย แต่ไม่มีประสิทธิภาพด้านเสริมสภาพพลาสติกและซึมออกจากพลาสติกได้ง่าย

**plasticizers สารเสริมสภาพพลาสติก**
สารเติมแต่ง (ดู additive) ใส่ในพลาสติกแข็ง ยาง (rubber) หรือวัสดุยืดหยุ่น (elastomer) ในปริมาณมาก (อาจสูงถึง 50-60 ส่วนต่อเรซิน 100 ส่วน) เพื่อเพิ่มความอ่อนตัว (flexibility) ทำให้พลาสติกนุ่ม (soft) ดัดโค้งได้ (flexible) และดึงยืดได้ (strechable) นอกจากนี้ ยังมีผลช่วยลดความหนืดของพลาสติกหลอม ช่วยให้พลาสติกหลอมเหลว (polymer melt) ไหลได้ดีขึ้น ขึ้นรูปง่ายขึ้น และยังช่วยลดอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วและมอดุลัสของความยืดหยุ่นโดยไม่เปลี่ยนแปลงสมบัติพื้นฐานทางเคมีของพลาสติก ส่วนใหญ่เป็นของเหลว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความดันไอต่ำและมีความเสถียรต่อความร้อนดี (thermal stability) หากเป็นของแข็งก็มักจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิการทำคอมพาวนด์ (ดู compounding) มีสภาพเข้ากันได้ดี (compatibility) กับพลาสติกที่นำมาเสริมสภาพ ทำหน้าที่คล้ายสารหล่อลื่นภายใน (ดู internal lubricant) โดยลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลทำให้โมเลกุลเคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น นิยมใช้มากที่สุดในพอลิไวนิลคลอไรด์





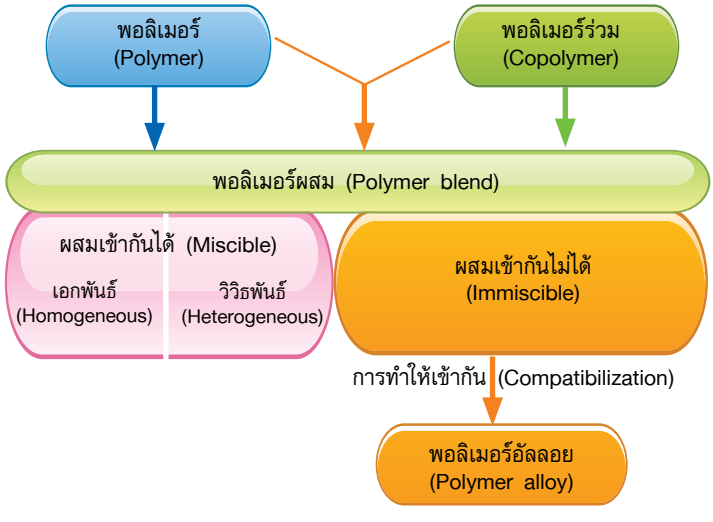


**polymer alloy พอลิเมอร์อัลลอย**

พอลิเมอร์ที่ได้จากการนำพอลิเมอร์ผสม (ดู polymer blend) ซึ่งเป็นคู่ผสมที่หลอมเข้ากันไม่ได้ (immiscible) แต่เป็นคู่ที่มีสภาพเข้ากันได้ (compatible) มาผ่านกระบวนการทำให้เข้ากัน (compatibilization) โดยเติมสารทำให้เข้ากัน (compatibilizer) ทำให้เกิดการยึดติดที่พื้นผิว (interfacial adhesion) ระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์ นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงสัณฐาน (morphology) พอลิเมอร์อัลลอยที่ได้มักมีสมบัติดีกว่าของพอลิเมอร์คู่ผสมมาก และมีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพคล้ายแก้วเพียงอุณหภูมิเดียว ตัวอย่างพอลิเมอร์คู่ผสมและพอลิเมอร์อัลลอยในเชิงพาณิชย์ เช่น ABS/Nylon, Nylon/olefin elastomer, PC/ABS, PC/PP, PC/Thermoplastic PU, PPE/Nylon, PVC/ABS and Polyester/elastomer

**polymer blend พอลิเมอร์ผสม**

พอลิเมอร์ที่ได้จากการผสมพอลิเมอร์กับพอลิเมอร์ หรือพอลิเมอร์กับพอลิเมอร์ร่วม หรือพอลิเมอร์ร่วมกับพอลิเมอร์ร่วม ต่างชนิดกันอย่างน้อย 2 ชนิด ด้วยวิธีการผสมแบบต่างๆ เช่น การละลายในตัวทำละลายที่สามารถละลายทั้งหมด (co-solvent) แล้วขึ้นรูปด้วยการรีดหรือพ่นเพื่อกำจัดตัวทำละลายออก เช่น โดยการพ่นแห้ง (spray drying) หรือการหล่อเป็นฟิล์ม (film casting) หรือผสมขณะเป็นผงแห้ง (fine powder mixing) หรือผสมขณะพอลิเมอร์แต่ละชนิดเป็นน้ำยางเลเทกซ์ (latex blending) แต่วิธีผสมเชิงกล (mechanical mixing) เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด การทำพอลิเมอร์ผสมเป็นเทคนิคหนึ่งเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกล เพื่อยกระดับการใช้งาน และเพิ่มมูลค่ามากกว่าพอลิเมอร์เพียงชนิดเดียว โดยให้สมบัติของพอลิเมอร์ (หรือพอลิเมอร์ร่วม) ชนิดหนึ่งเสริมหรือชดเชยกับสมบัติของพอลิเมอร์ (หรือพอลิเมอร์ร่วม) อีกชนิดหนึ่ง พอลิเมอร์ผสมอาจหลอมผสมเข้ากันได้ (miscible) เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ในระดับโมเลกุล หรืออาจมีเพียงบางส่วนที่เข้ากันได้ถึงระดับโมเลกุล และยังมีบางส่วนซึ่งเป็นวัฏภาคที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) ทั้งอาจมีสภาพหลอมเข้ากันไม่ได้ (immiscible) แต่เป็นคู่ที่เหมาะสมกันและสภาพเข้ากันได้ (compatible) พอลิเมอร์ผสมมักมีสมบัติเฉลี่ยระหว่างสมบัติพอลิเมอร์คู่ผสมนั้น




แผนภาพแสดงนิยามและความสัมพันธ์ของพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์อัลลอย

**polymer composite พอลิเมอร์เชิงประกอบ**
วัสดุของแข็งที่มีพลาสติกเป็นเมทริกซ์ (ดู matrix) หรือวัฏภาคต่อเนื่อง และมีวัสดุเสริมกำลังเป็นวัฏภาคกระจายในเนื้อพลาสติก การทำพอลิเมอร์เชิงประกอบเป็นวิธีการหนึ่งที่เพิ่มความแข็งแรงและมอดุลัสของความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ต่อหน่วยน้ำหนัก ตลอดจนเพิ่มค่าพลังงานแตกร้าว (fracture energy) แก่พลาสติกได้ง่ายและรวดเร็ว พอลิเมอร์เชิงประกอบมีน้ำหนักและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจากเดิมเพียงเล็กน้อย มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าวัสดุที่เป็นพอลิเมอร์เดี่ยวไม่มาก (ยกเว้นกรณีที่ใช้วัสดุเสริมกำลังที่มีราคาสูง เช่น เส้นใยคาร์บอน) หลายชนิดมีสมบัติเชิงกลเทียบเท่าหรือดีกว่าโลหะบางชนิด ไม่มีปัญหาการเกิดสนิม มีความทนทานต่อสารเคมีขึ้นอยู่กับชนิดของเมทริกซ์ ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้พอลิเมอร์เชิงประกอบอย่างกว้างขวาง เช่น เป็นชิ้นส่วนยานยนต์ ส่วนประกอบเรือ ส่วนประกอบเครื่องบิน ส่วนประกอบอุปกรณ์กีฬา เช่น ไม้กอล์ฟ สกี แผ่นกระดานโต้คลื่น สระว่ายน้ำ หรือการใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์หรือวัสดุอื่นๆ

**primary plasticizer สารเสริมสภาพพลาสติกปฐมภูมิ**
สารเติมแต่ง (ดู additive) หลักที่ใช้เสริมสภาพพลาสติก ใช้เป็นสารเดี่ยวหรือเป็นองค์ประกอบหลักในสารผสมเพื่อเสริมสภาพพลาสติก มีประสิทธิภาพสูง ไม่เคลื่อนย้ายหรือซึมออกจากพลาสติก ลักษณะเป็นของเหลวอินทรีย์หรือของแข็ง ซึ่งสามารถหลอมเข้ากับพลาสติกได้ดีอย่างรวดเร็วที่ช่วงอุณหภูมิของการทำคอมพาวนด์ (ดู compounding) หรือที่อุณหภูมิปกติของการขึ้นรูปพลาสติก ตัวอย่างสารเสริมพลาสติกปฐมภูมิ เช่น สารประกอบทาเลต (phthalate) อิพ็อกซี (ดู epoxy) ฟอสเฟต (phosphate) อะดิเพตไดเอสเทอร์ (adipate diester) ซีบาเคต (sebacate) และพอลิเอสเทอร์ (ดู polyester) แต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสีย และข้อจำกัดแตกต่างกัน

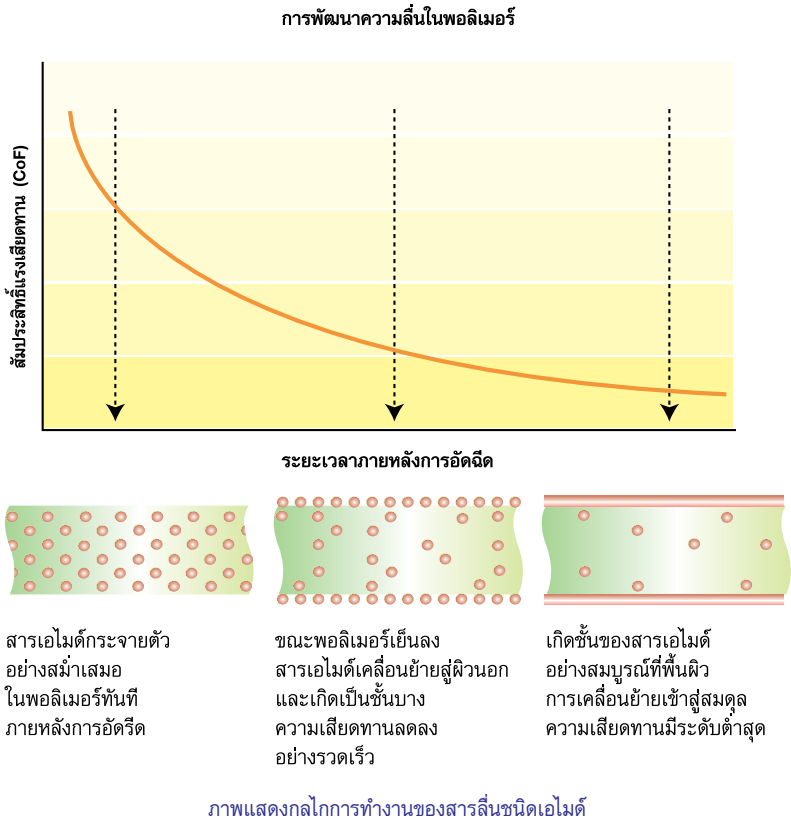
**reinforcing materials วัสดุเสริมกำลัง**
วัสดุที่เป็นวัฏภาคกระจายในพอลิเมอร์เชิงประกอบ (ดู polymer composite) ทำหน้าที่เสริมกำลังโดยเพิ่มมอดุลัสของความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) และความแข็งแรงแก่พลาสติกที่เป็นเมทริกซ์ (ดู matrix) นิยมใช้เส้นใย (fiber) ที่มีมอดุลัสและความต้านทานแรงดึงสูง เช่น เส้นใยแก้ว (glass fiber) เส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) เส้นใยอาระมิด (aramid fiber) เส้นใยโบรอน (boron fiber) เป็นต้น เส้นใยเหล่านี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก และมีความยาวต่อเนื่อง (filament) จึงนิยมรวมเส้นใยยาวหลายๆ เส้นเป็นกลุ่มเส้นใยยาวต่อเนื่อง (tow หรือ ravings) หรือตีเกลียวเพื่อเพิ่มความแข็งแรงจนเป็นเหมือนเส้นด้าย (yarn) นอกจากนี้ยังอาจนำกลุ่มเส้นใยยาวมาสานกันจนเป็นผืนคล้ายเสื่อ (mats) หรืออาจทอเป็นผืน (woven) เพื่อเสริมกำลังในแนวต่างๆ ขึ้นกับลักษณะโครงสร้าง และการวางผืนสานหรือผืนทอ ในทางปฏิบัติการจัดวางกลุ่มเส้นใยยาวมากให้เป็นระเบียบในทิศทางที่ต้องการ นับว่าเป็นเรื่องที่ยุ่งยากมาก และบางครั้งผู้ประกอบการต้องการผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ใช้งานได้โดยไม่ต้องพิจารณาทิศทางการจัดวาง จึงนิยมตัดกลุ่มเส้นใยยาวต่อเนื่องเป็นกลุ่มเส้นใยสั้น (staple) ซึ่งสามารถผสมกับพลาสติกเพื่อให้กลุ่มเส้นใยสั้นดังกล่าวกระจายตัวในทิศทางต่างๆ แบบสุ่ม (random) ให้ความแข็งแรงเหมือนกันทุกทิศทาง (isotropic) ทำให้ง่ายต่อการใช้งาน

**secondary plasticizer สารเสริมสภาพพลาสติกทุติยภูมิ**
สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่ใช้เสริมสภาพพลาสติกในปริมาณน้อยกว่าสารเสริมสภาพพลาสติกปฐมภูมิ (ดู primary plasticizer) มีประสิทธิภาพต่ำเพราะเข้ากับพลาสติกได้น้อยกว่าสารเสริมสภาพพลาสติกปฐมภูมิ จึงมักต้องใช้ร่วมกับสารเสริมสภาพพลาสติกปฐมภูมิเพื่อลดต้นทุน หรือเพื่อสร้างเสริมสมบัติอื่นๆ ที่สารเสริมสภาพปฐมภูมิไม่มี เป็นของเหลวอินทรีย์ที่หลอมเข้ากับพลาสติกได้น้อยและยากที่ช่วงอุณหภูมิของการขึ้นรูปพลาสติก

**slip agent สารลื่น**

สารเติมแต่ง (ดู additive) ที่สำคัญต่อการผลิต และการใช้งานฟิล์มหรือแผ่นพลาสติก เพิ่มความลื่นทั้งขณะขึ้นรูปและขณะใช้งาน ทำให้แผ่นหรือฟิล์มพลาสติกไม่ยึดติดกันและสามารถลื่นไถลผ่านเครื่องขึ้นรูป แผ่นหรือฟิล์มชั้นถัดไปได้ง่าย ลดแรงเสียดทานหรือลดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (coefficient of friction) ระหว่างผิวสัมผัส เป็นสารช่วยการขึ้นรูป (processing agent) มี 2 ชนิด ได้แก่ สารลื่นภายใน (internal slip agent) และสารลื่นภายนอก (external slip agent) สารลื่นภายในช่วยลดความฝืดภายในเนื้อพลาสติก ช่วยเพิ่มสมบัติการไหล ช่วยให้เนื้อพลาสติกหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน ช่วยให้สารเติมแต่ง (ดู filler) ลื่นไหลได้ดี และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ง่ายขึ้น สามารถละลายได้บ้างในพลาสติกเพราะมีความเป็นขั้วบ้าง (amphipolar) ตัวอย่างเช่น กรดไขมัน (fatty acid) เอสเทอร์ของกรดไขมันสายโซ่ยาว (long chain fatty acid ester) ไขพอลิเอทิลีน (PE wax) และน้ำมันขาว (white oil) ส่วนสารลื่นภายนอกช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างพลาสติกกับผนังของเครื่องขึ้นรูป ลดแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคพลาสติกและสารเติมแต่งตลอดจนช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวพลาสติกขณะใช้งาน ตัวอย่างเช่น สารกลุ่มสบู่โลหะ (metal soap) เอสเทอร์ของกรดไขมันเอไมด์ (fatty acid amide ester) น้ำมันซิลิโคน (silicon oil) ไข (wax) น้ำมันพาราฟิน (paraffin oil) ไกลคอล (glycol) ไม่ละลายในพลาสติกหลอม จึงเคลื่อนย้ายสู่ผิวของพลาสติกในระหว่างขึ้นรูป หรืออาจสะสมแล้วรวมตัวกันที่ผิวพลาสติก ทำให้ผิวผลิตภัณฑ์พลาสติกมีความเรียบและเป็นประกายมันเงา สารลื่นที่นิยมใช้เพราะมีประสิทธิภาพและคุ้มทุน ได้แก่ เอไมด์ของกรดไขมัน (fatty acid amide) ซึ่งมักใช้ปริมาณไม่เกิน 1,000 ส่วนในล้านส่วนของพลาสติก การวัดประสิทธิภาพของสารลื่นกระทำโดยวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของฟิล์มพลาสติก ตามวิธีการมาตรฐานสหรัฐอเมริกา ASTM D-1894 โดยปริมาณสารลื่นสัมพันธ์กับระดับความลื่นและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

| ระดับความลื่น | สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน | ปริมาณสารลื่น (ส่วนต่อพลาสติกล้านส่วนโดยน้ำหนัก, ppm) |
|---|---|---|
| ต่ำ | 0.50 - 0.80 | 200 - 400 |
| กลาง | 0.20 - 0.40 | 500 - 600 |
| สูง | 0.05 - 0.20 | 700 - 1,000 |




ภาพแสดงกลไกการทำงานของสารลื่นชนิดเอไมด์



การใช้สารลื่นในการผลิตฟิล์มพลาสติก

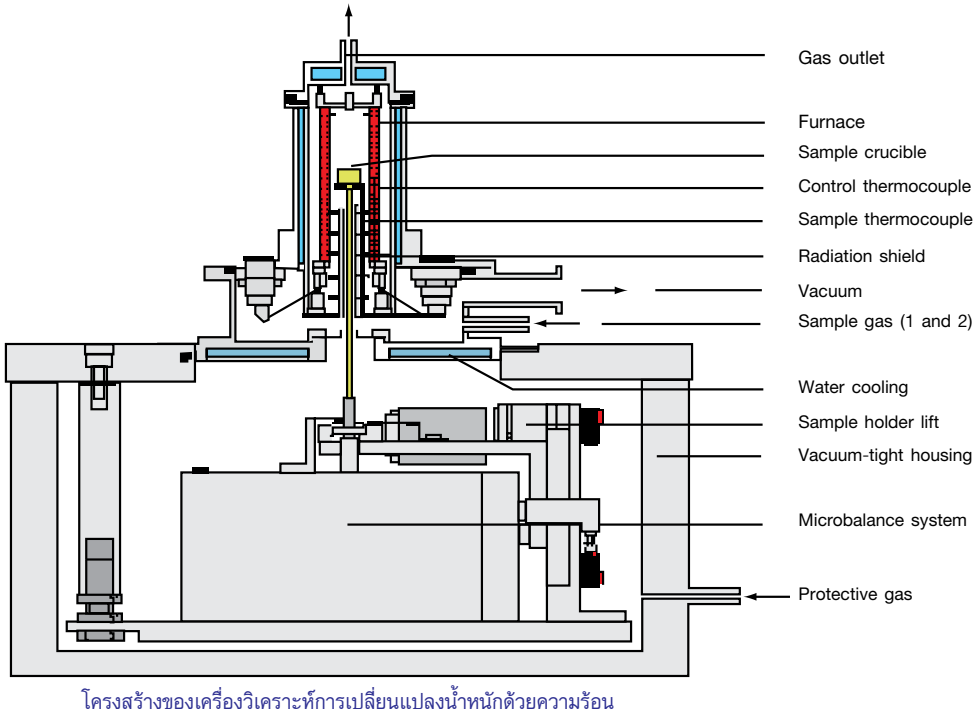


แผ่นพลาสติกที่ใส่สารลื่น

**thermal stabilizer สารเสถียรความร้อน**

ดู heat stabilizer

**thermogravimetric analysis (TGA) การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยความร้อน (ทีจีเอ)** การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงมวลหรือน้ำหนักของสารเมื่อได้รับความร้อนในเตาเผาภายใต้บรรยากาศที่ควบคุม เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่มีความละเอียดและความไวสูง ใช้หาความเสถียรของวัสดุ เช่น พลาสติก และสารเติมแต่งต่างๆ (ดู additive) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักซึ่งเป็นผลจากการเสื่อมสลายตัวของพลาสติกและองค์ประกอบต่างๆ ในพลาสติก จึงสามารถใช้เทคนิคนี้ตรวจสอบ อุณหภูมิสลายตัวของพลาสติก และของสารเติมแต่งแต่ละชนิดในพลาสติกนั้นๆ ตลอดจนปริมาณของสารเติมแต่งแต่ละชนิดโดยดูจากน้ำหนักที่หายไป ณ อุณหภูมิสลายตัว นอกจากนี้ ยังได้ข้อมูลด้านปริมาณเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้พลาสติกดังกล่าวด้วย




โครงสร้างของเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยความร้อน

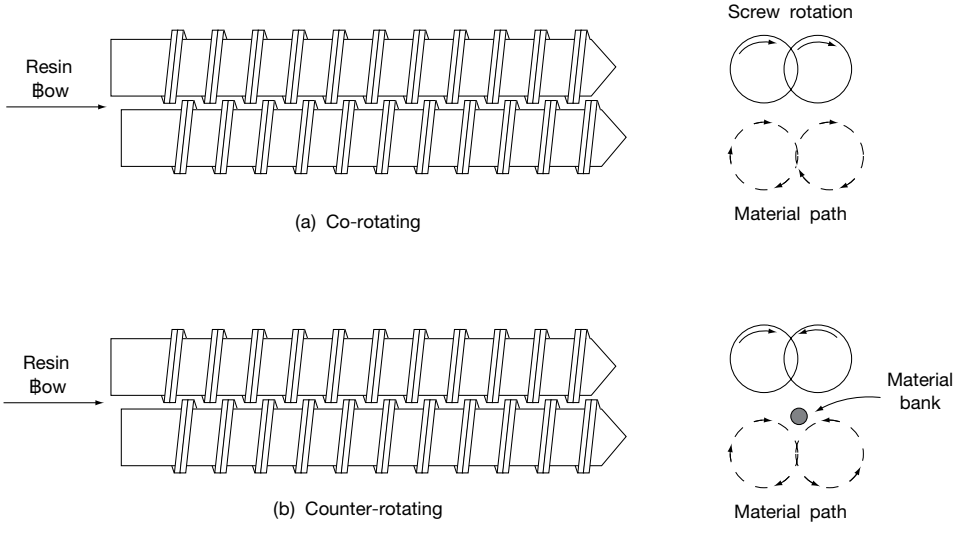
**titanium dioxide ไทเทเนียมไดออกไซด์**

สารเติมแต่ง (ดู additive) ประเภทสารสี (ดู colorant) ที่เป็นสีผง (pigment) สารอนินทรีย์สีขาวที่สำคัญและมีปริมาณการใช้มากที่สุด มีโครงสร้างผลึก 2 แบบคือ รูไทล์ (rutile) และอะนาเทส (anatase) แบบแรกใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกมากกว่า เพราะมีแนวโน้มการเสื่อมจากปฏิกิริยากับออกซิเจนน้อยกว่า (oxidative degradation) ซึ่งทำให้ผิวหลุดเป็นขุย (chalking) จึงนิยมเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide, $TiO_2$) ด้วยสารประกอบอะลูมินา หรือซิลิกา เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยา การใส่ไทเทเนียมไดออกไซด์ในพลาสติกมีผล 2 ด้านคือ ผลเชิงแสง มาจากลักษณะเฉพาะของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สามารถกระจายแสงได้ด้วยกลไกการสะท้อน (reflection) การหักเห (refraction) หรือการกระเจิง (diffraction) ช่วยเพิ่มความทึบแสง ความขาวและความสว่างแก่สีพลาสติก ช่วยเพิ่มการสะท้อนแสงสีฟ้า ผลของสมบัติต่างๆ ขึ้นอยู่กับการยึดติดของไทเทเนียมไดออกไซด์กับเนื้อพลาสติก การกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วเนื้อพลาสติกเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้การกระจายของแสงมีประสิทธิภาพ พลาสติกที่ใส่ไทเทเนียมไดออกไซด์มีสมบัติความเป็นฉนวน มีความต้านทานไฟฟ้า (เช่น กรณีใช้งานพลาสติกที่ผสม $TiO_2$ เพื่อหุ้มสายไฟ สายเคเบิล) ไม่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบหรือสารเติมแต่งอื่นๆ ในพลาสติก ไม่ก่อให้เกิดฟองอากาศจากความชื้นไม่ระเหย โดยเฉพาะขณะขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง และไม่ทำให้เครื่องจักร อุปกรณ์เกิดการขูดขีดหรือสึกเร็ว

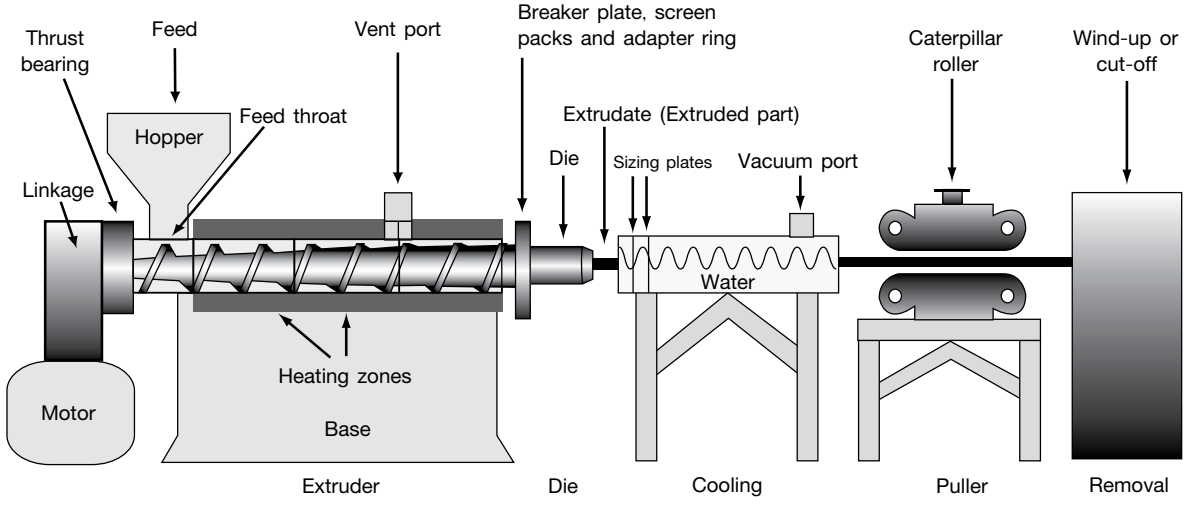


ผงสีอนินทรีย์ $TiO_2$

**twin screw extruder (TSE) เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่, เครื่องอัดรีดแบบเกลียวคู่ (ทีเอสอี)** เครื่องผสมที่ใช้หลักการรีดผสมโดยใช้สกรูสองชุด ใช้ทำคอมพาวนด์ (ดู compounding) อย่างต่อเนื่อง สกรูถูกวางให้เกลียวสับหว่างกัน (intermesh) ระยะแคบระหว่างสกรูกับกระบอกรีด (barrel) และระหว่างสกรูด้วยกันเอง ทำให้มีอัตราการเฉือนสูงและมีประสิทธิภาพการผสม เหมาะแก่การทำคอมพาวนด์ดีกว่าเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (single screw extruder (SSE)) มีทั้งระบบสกรูทั้งสองหมุนทางเดียวกัน (co-rotating) และหมุนสวนทางกัน (counter-rotating) ส่วนประกอบหลักของเครื่องอัดรีดสกรูคู่มีกรวยป้อน (feed hopper) ที่ตอนท้ายของเครื่อง สกรูอยู่ภายในกระบอกรีด ซึ่งมีหน่วยให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิขณะหลอมผสม สกรูอาจมีรูปแบบเป็นกรวย (conical screw) การหมุนของสกรูทำให้มีการผสมของสารเติมแต่ง (ดู additive) กับพอลิเมอร์หลอมขณะสกรูหมุน เพื่อพาส่วนผสมเคลื่อนที่ไปด้านหน้าของเครื่องเข้าสู่แม่แบบ (die) อัดรีดออกมาเป็นเส้นพลาสติกผสมกับสารเติมแต่งยาวต่อเนื่อง และตัดเป็นเม็ดพลาสติกเมื่อเย็นลง




ภาพแสดงการจัดวางสกรูคู่ในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ระบบ (a) หมุนทางเดียวกัน และ (b) หมุนสวนทางกัน




เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว

**two-roll mill เครื่องผสมแบบสองลูกรีด**

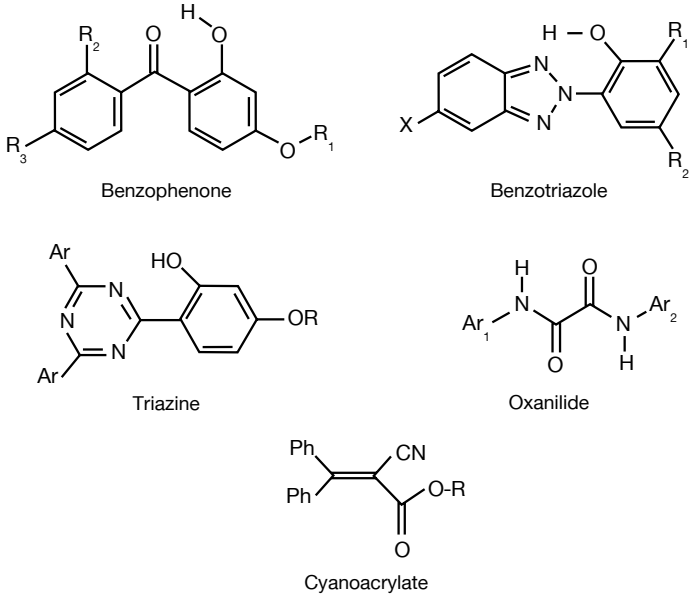
เครื่องผสมที่ใช้หลักการรีดผสมโดยใช้ลูกรีดสองลูก ใช้ทำคอมพาวนด์ (ดู compounding) สำหรับพลาสติกหลอมที่มีความหนืดสูงมาก เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (ดู polyvinyl chloride (PVC)) ประกอบด้วยลูกรีดร้อนมีผิวขัดเงา (polished rolls) สองลูกวางในแนวระดับ ลูกรีดหมุนสวนทางกันด้วยความเร็วรอบต่างกันเล็กน้อย ระยะห่างระหว่างลูกรีดเรียกว่า ช่องหนีบ (nip) เป็นระยะแคบๆ สัมพันธ์กับความหนาของแผ่นพลาสติกที่จะได้ นำวัตถุดิบคือ ผงพลาสติกซึ่งผสมกับสารเติมแต่งต่างๆ แล้ว (ดู additive) จากเครื่องผสมมาป้อนที่ช่องระหว่างลูกรีด เมื่อลูกรีดหมุนจะดึงวัตถุดิบผสม (ซึ่งเรียกว่า bank) เข้าสู่ช่องหนีบและหลอมติดเป็นแผ่นรอบลูกรีดลูกหนึ่ง แรงเฉือนระหว่างลูกรีดช่วยเพิ่มการผสมระหว่างพลาสติกและสารเติมแต่งโดยไม่มีการผสมกันตามแนวแกนของลูกรีด จึงต้องตัดแผ่นพลาสติกที่ติดรอบลูกรีดตัวหนึ่งตลบพับแผ่นในแนวตั้งฉากกับทิศทางเดิม แล้วป้อนเข้าสู่ช่องหนีบเพื่อรีดแผ่นอีกทำซ้ำหลายๆ ครั้งเพื่อให้สารเติมแต่งกระจายทั่วเนื้อพลาสติก สามารถขึ้นรูปแผ่นที่ได้โดยวิธีการอัดขึ้นรูปในแบบหล่อ (compression moulding) ขนาดเล็ก เพื่อใช้ทดสอบหรือสร้างสูตรการคอมพาวนด์ในห้องปฏิบัติการ มีทั้งเครื่องขนาดเล็กรีดผสมได้ต่ำกว่า 1 กิโลกรัม จนถึงเครื่องขนาดใหญ่ 500 กิโลกรัม นิยมใช้ในการรีดแผ่นยางและยางสังเคราะห์ด้วย




เครื่องผสมแบบสองลูกรีด

**UV absorber สารดูดซับแสงอัลตราไวโอเลต**

สารเติมแต่ง (ดู additive) ประเภทสารเสถียรแสง กลุ่มที่ทำหน้าที่ดูดซับแสงอัลตราไวโอเลตไว้ได้เอง จึงป้องกันการเกิดของอนุมูลอิสระเมื่อพลาสติกถูกแสง มักเป็นสารประเภทเบนโซฟีโนน (benzophenone) หรือเบนโซไทรอะโซล (benzotriazole) ที่นิยมใช้มากคือ 2-ไฮดรอกซี-4-นอร์มัล-ออกโทซีเบนโซฟีโนน (2-hydroxy-4-n-octoxy benzophenone) สารประเภทเบนโซไทรอะโซลมีอัตราการดูดซับแสงอัตราไวโอเลตได้สูงกว่าสารประเภทเบนโซฟีโนน สารประเภทเฟนนิลเอสเทอร์ก็สามารถดูดซับแสงอัลตราไวโอเลตได้ โดยเปลี่ยนเป็นไฮดรอกซีเบนโซฟีโนนเมื่อถูกแสงอัลตราไวโอเลต แต่มีราคาสูงกว่า




สูตรโครงสร้างทั่วไปของสารดูดซับแสงอัลตราไวโอเลตที่ใช้ในการค้า



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ UV absorber

**UV stabilizer สารเสถียรต่อแสง**

ดู light stabilizer

**viscosity depressant สารลดความหนืด**

สารเติมแต่ง (ดู additive) ใส่ในพลาสติกเพื่อลดความหนืด นิยมใส่ในพลาสทิซอลของพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC plastisol) เพื่อให้ไหลได้ดีขึ้น สารเพิ่มเนื้อสารเพิ่มประสิทธิภาพของพลาสติก (ดู plasticizer extender) หลายชนิดสามารถลดความหนืดได้ด้วย ซึ่งช่วยไล่ฟองอากาศออกจากพอลิเมอร์หลอมหรือพลาสทิซอลได้ เช่น การผลิตถุงมือพอลิไวนิลคลอไรด์ด้วยการจุ่มแบบหล่อลงในพลาสทิซอล ฟองอากาศในพลาสทิซอลทำให้เกิดรูตามด (pin hole) ในถุงมือ สารลดความหนืดอาจเป็นสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนรวมกลุ่มแอลิเฟทิก (aliphatic) แนฟทีนิก (naphthenic) และที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (chlorinated hydrocarbon) รวมทั้งสารอื่นๆ ที่มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ได้แก่ สารกลุ่มอิทอกซิเลตเทดของกรดไขมัน (ethoxylated fatty acids) หรือเอสเทอร์ของไขมัน (fatty esters) ที่โครงสร้างเป็นสายโซ่สั้นและตรง ซึ่งมีไอระเหยน้อยกว่าและเป็นที่นิยมใช้มากขึ้น เพราะสารลดความหนืดที่มีประสิทธิภาพส่วนใหญ่มักมีปัญหาเรื่องมีไอระเหยสูงด้วย แนวโน้มการใช้สารเติมแต่งในพลาสทิซอลคือ การใช้สารที่มีไอระเหยต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสทิซอลสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้งานภายในบ้านหรืออาคาร เพราะสารลดความหนืดที่มีไอระเหยสูงมักมีแนวโน้มที่จะซึมออกและระเหยออกมา ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในบ้านหรืออาคาร



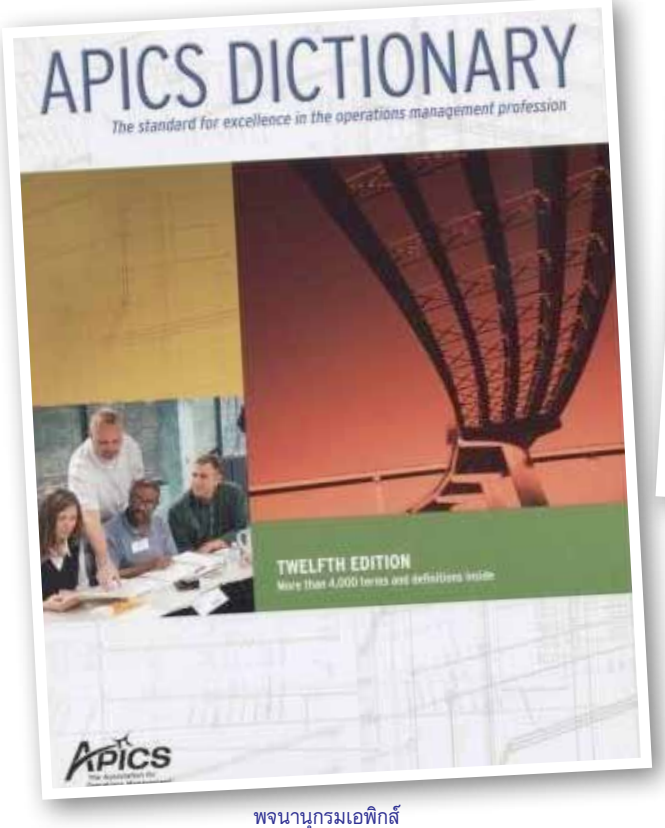
# ระบบลอจิสติกส์ และการจำหน่าย ผลิตภัณฑ์

**air conveyor เครื่องลำเลียงสินค้าด้วยระบบท่อลม**
อุปกรณ์ในระบบท่อลมเพื่อลำเลียงสินค้าหรือวัสดุไปจากแหล่งหนึ่งซึ่งเป็นจุดส่งไปยังอีกแหล่งหนึ่งซึ่งเป็นจุดรับ มีทั้งระบบอากาศและระบบสุญญากาศ การลำเลียงสารที่เป็นของแข็งโดยใช้อากาศเป็นตัวขับให้เคลื่อนที่ไป เช่น การขนถ่ายเม็ดพลาสติกและผงเคมีผ่านทางท่อ เป็นต้น การเลือกเครื่องลำเลียงสินค้าด้วยระบบท่อลมมาใช้งานขึ้นกับชนิด ขนาด น้ำหนัก ความเร็ว ปริมาณ หรือจำนวนที่ต้องการขนถ่าย

**American Petroleum Institute (API) standard มาตรฐานสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา, มาตรฐานเอพีไอ**
มาตรฐานต่างๆ ซึ่งจัดทำขึ้นโดยสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา มาตรฐานการทดสอบอุปกรณ์และการปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมีมีมากกว่า 500 มาตรฐาน และข้อแนะนำในการปฏิบัติงานปัจจุบันเป็นมาตรฐานสากลที่ยอมรับกันทั่วโลก ในการก่อสร้างถังเก็บเคมีในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมักอ้างอิงถึงมาตรฐานเอพีไอ เช่น API 620, API 650 เป็นต้น



**American Production and Inventory Control Society (APICS) สถาบันเพื่อการผลิตและสินค้าคงคลังแห่งสหรัฐอเมริกา (เอพิกส์)**
สมาคมที่ให้การศึกษาด้านการผลิตและการควบคุมสินค้าคงคลัง ตลอดจนขึ้นทะเบียนผู้เชี่ยวชาญด้านโซ่อุปทานหรือซัพพลายเชน (supply chain) และลอจิสติกส์ (logistics) ในหลักสูตร Certified in Production and Inventory Management (CPIM) ประกอบด้วย 5 หลักสูตรย่อย ได้แก่ Basic Supply Chain Management, Master Planning of Resources, Detailed Scheduling and Planning, Execution and Control of Operations และ Strategic Management of Resources บริษัทชั้นนำมักจะให้พนักงานด้านโซ่อุปทานรับการอบรมศึกษาในโครงการ CPIM ของสถาบันเพื่อให้สามารถปรับปรุงกระบวนการทำงานด้านโซ่อุปทานทั่วทั้งองค์กร มีพจนานุกรมศัพท์มาตรฐานที่ใช้ในการจัดการโซ่อุปทานซึ่งเป็นที่ยอมรับคือ APICS dictionary



พจนานุกรมเอพิกส์

**American Standard of Mechanical Engineering Code (ASME Code) รหัสมาตรฐานของสถาบันวิศวกรรมเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (เอเอสเอ็มอี โค้ด)**
รหัสมาตรฐานซึ่งกำหนดโดยสถาบันวิศวกรรมเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในทางวิศวกรรม เช่น ถังบรรจุสารเคมี รอยเชื่อม ความหนา อุปกรณ์ส่วนควบ เพื่อให้มีความปลอดภัยเพียงพอสำหรับการจัดเก็บและขนส่งสินค้าบางประเภทที่ต้องการการปกป้องพิเศษ เช่น สารไวไฟ สารกัดกร่อน เป็นต้น

**asset utilization การใช้ประโยชน์สินทรัพย์**
การวัดอัตราการใช้สินทรัพย์ที่ได้ลงทุนไปแล้วว่าอยู่ที่ระดับใด เช่น การใช้เครื่องจักรภายในโรงงานเต็มร้อยละ 100 แสดงว่ามีการใช้เครื่องจักรนั้นอย่างเต็มที่ สามารถวัดจากเวลาที่ใช้ในการเดินเครื่อง อัตราการเดินเครื่อง นอกจากหมายถึงเครื่องจักรภายในโรงงานแล้ว อาจหมายถึงพาหนะขนส่งสินค้า เช่น เรือ รถบรรทุก ซึ่งสถานประกอบการกำลังใช้งานด้วย

**automated storage and retrieval system (AS/RS) ระบบการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ**
ระบบที่ใช้กลไกอัตโนมัติเคลื่อนย้ายสินค้าในคลังสินค้าจากบริเวณรับส่งสินค้าหน้าคลังไปเก็บยังตำแหน่งที่ต้องการ และเคลื่อนย้ายจากตำแหน่งที่เก็บในคลังออกมายังบริเวณรับส่งสินค้าหน้าคลัง โดยไม่ต้องใช้แรงคน เป็นระบบการจัดเก็บและใช้พื้นที่เก็บสินค้าเต็มคลังทั้งด้านกว้าง ยาว และสูงอย่างเต็มประสิทธิภาพ


คลังสินค้าระบบ AS/RS

**backhaul การขนส่งเที่ยวกลับ**
การขนส่งโดยรถบรรทุกสินค้าจากปลายทางกลับไปยังต้นทางหรือมายังฐานรถบรรทุกหลังจากการส่งสินค้าเสร็จสิ้น โดยทั่วไปมักนำรถเปล่ากลับโดยไม่มีสินค้าบรรทุกมาด้วย ผู้ขนส่งจึงพยายามวางแผนประสานงานและจัดให้มีการขนส่งทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้รถตลอดจนเป็นการลดต้นทุนพลังงานและลดต้นทุนลอจิสติกส์

**baffle plate แผ่นกั้นภายในถัง**
แผ่นโลหะเชื่อมติดภายในกับตัวถังบรรทุกสารเคมีเหลว อาจมี 2-3 แผ่นกั้นในแนวขวางกับตัวถัง เพื่อรองรับแรงกระแทกของของเหลวเมื่อรถเปลี่ยนแปลงความเร็ว ช่วยลดมวลของของเหลวในถังซึ่งกระแทกตัวถังขณะเบรก ช่วยให้หยุดรถได้ในระยะที่ต้องการ และป้องกันการเสียการทรงตัวของรถในขณะเลี้ยว อันเนื่องจากแรงหนีศูนย์ซึ่งเกิดจากเคลื่อนที่ของมวลของเหลว

**bag บรรจุภัณฑ์ประเภทถุง**

บรรจุภัณฑ์ทำจากวัสดุที่เป็นกระดาษหรือพลาสติก เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง มีขนาดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการจัดเก็บ การขนส่ง และการใช้งาน ถุงบรรจุผลิตภัณฑ์สำหรับการขนส่งที่ทำจากพลาสติกของไทยส่วนใหญ่มีขนาดบรรจุที่ 25 กิโลกรัม




ถุงบรรจุผลิตภัณฑ์ทำจากพลาสติก

**barge เรือลำเลียง, เรือขนส่งสินค้าขนาดเล็ก**

เรือขนส่งสินค้าประเภทของเหลวหรือสินค้าในบรรจุภัณฑ์ อาจมีเครื่องยนต์ขับเคลื่อนด้วยตัวเอง หรืออาจเป็นเรือไม่มีเครื่องยนต์ ต้องใช้เรือยนต์ลากจูง (ดู tug boat) ภายในลำเรือซึ่งลำเลียงสินค้าที่เป็นของเหลว แบ่งเป็นช่องๆ เพื่อให้บรรทุกสินค้าได้หลายชนิด มีท่อต่อไปที่ปั๊มสูบถ่ายสินค้าออกจากเรือไปยังถังเก็บบนบก เป็นพาหนะที่ต้องมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากมักบรรทุกสินค้าประเภทสารอันตราย เช่น สารไวไฟ สารกัดกร่อน หรือสารที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา จึงต้องมีอุปกรณ์และวิธีปฏิบัติงานซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ผู้ปฏิบัติงานบนเรือต้องได้รับการฝึกอบรมในเรื่องการทำงานเกี่ยวกับสารเคมีโดยเฉพาะ

**berth ที่จอดเรือ, ท่าเทียบเรือ**

บริเวณที่เรือเข้าเทียบเพื่อจอด ประกอบด้วยท่าเรือ บริเวณผูกเรือ อุปกรณ์ขนถ่ายสินค้า อุปกรณ์ความปลอดภัยในกรณีฉุกเฉิน ท่าเทียบเรือสำหรับสินค้าในอุตสาหกรรมเคมี มีทั้งประเภทสินค้ามวลรวม (bulk cargo) ใช้ท่าเทียบเรือเรียกว่า ที่จอดเรือเทกอง (bulk berth) มีการสูบถ่ายสินค้าผ่านระบบท่อ สินค้าที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์และขนส่งในตู้สินค้าใช้ท่าเทียบเรือเรียกว่า ที่จอดเรือตู้สินค้า (container berth) ซึ่งขนย้ายโดยใช้ปั้นจั่นขนาดใหญ่ มีบริเวณกว้างสำหรับจัดเก็บตู้สินค้าที่รอการบรรทุกหรือขนถ่าย



ที่จอดเรือ, ท่าเทียบเรือ

**bill of lading (BL) เอกสารขนส่งสินค้า, ใบตราส่งสินค้า (บีแอล)**

เอกสารกำกับการขนส่งสินค้าทางเรือ ออกโดยผู้ประกอบการเรือขนส่งให้กับผู้ส่งสินค้า เป็นเอกสารยืนยันการรับสินค้าขึ้นเรือเพื่อจัดส่งไปยังผู้รับสินค้าปลายทาง มีรายละเอียดผู้ส่งและแสดงสิทธิการครอบครอง กรมศุลกากร กระทรวงการคลังเรียกเอกสารนี้ว่า ใบตราส่งสินค้า




เรือลำเลียง, เรือขนส่งสินค้าขนาดเล็ก

**bottom loading การบรรจุสินค้าทางด้านล่างถังรถขนส่ง**
การบรรจุสินค้าที่เป็นของเหลวโดยใช้ท่อเข้าทางด้านล่างของตัวถังรถขนส่ง ออกแบบเพื่อขนถ่ายทางด้านล่าง ซึ่งต้องสอดคล้องกับอุปกรณ์เชื่อมต่อของสถานีขนถ่ายสารเคมีเหลวของสถานประกอบการผู้ส่งสินค้าและผู้รับสินค้า มักเป็นระบบปิด มีท่อสำหรับสารเคมีเหลวอยู่ด้านล่าง และท่อสำหรับไอของสารเคมี (vapor line) อยู่ด้านบน เมื่อเติมสินค้าทางด้านล่างของถัง ไอของสารเคมีที่สะสมอยู่ด้านบนจะระบายไปสู่อุปกรณ์ควบคุมไอ เพื่อไม่ให้ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ



การบรรจุสินค้าทางด้านล่างถังรถขนส่ง

**bulk marine การขนส่งทางทะเลแบบมวลรวม**
การขนส่งสารเคมีเหลวหรือก๊าซทางทะเลในปริมาณมากโดยไม่ใช้บรรจุภัณฑ์ ต้องใช้เรือที่เป็นไปตามข้อกำหนดขององค์กรสากลในการเดินเรือทางทะเล (ดู International Maritime Organization (IMO)) ระบบการขนส่งทางทะเลมีปริมาณมากที่สุด ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับระบบท่าเทียบเรือต้นทางและปลายทาง เพื่อขนถ่ายสินค้าไปยังคลังเก็บอย่างปลอดภัย


การขนส่งทางทะเลแบบมวลรวม

**bulk terminal สถานีรับเรือขนส่งแบบมวลรวม**
บริเวณรับเรือขนส่งแบบมวลรวม ประกอบด้วยท่าเรือ ถังเก็บสินค้าประเภทสารเคมีเหลว ท่อ ข้อต่อ และอุปกรณ์ในการสูบถ่ายสารเคมีเหลว เชื่อมโยงกับระบบการขนส่งทางทะเลแบบมวลรวม (ดู bulk marine)



สถานีรับเรือขนส่งแบบมวลรวม

**chartering การว่าจ้างเรือเหมาลำเพื่อบรรทุกสารเคมีเหลว**
การขนส่งสินค้าปิโตรเคมีประเภทสารเคมีเหลวปริมาณมากทางเรือ โดยการจ้างเหมาลำให้ขนส่งผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบจากต้นทางไปยังปลายทาง มีกำหนดระยะเวลาการใช้เรือ เงื่อนไขการใช้เรือตามข้อตกลงในสัญญา ซึ่งมีหลายแบบ ได้แก่ สัญญาเช่าเรือแบบเที่ยวเดินทาง (voyage charter) สัญญาเช่าเรือแบบกำหนดเวลา (time charter) สัญญาเช่าเรือแบบเรือเปล่า (bareboat charter) และสัญญาเช่าเรือแบบระยะยาว (demise charter)

**chemical tanker เรือบรรทุกสารเคมีเหลวหรือก๊าซ**
เรือบรรทุกสารเคมีขนาดประมาณ 5,000 ตัน ถึงประมาณ 40,000 ตัน เล็กกว่าเรือบรรทุกน้ำมันและเรือสินค้าทั่วไป ใช้บรรทุกสินค้าที่มีลักษณะเฉพาะ และมีข้อจำกัดด้านท่าเรือที่รับและส่ง มีถังแยกเก็บสินค้าภายในตัวเรือ โดยถังเก็บผลิตภัณฑ์เคมีมักเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมหรือเหล็กเคลือบพิเศษ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนหรือการปนเปื้อนของสารเคมี อาจมีระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับสารเคมีบางชนิด ปัจจุบันเรือบรรทุกสารเคมีมักเป็นตัวเรือ (hull) ที่มีผนัง 2 ชั้น (ดู vessel ประกอบ)




เรือบรรทุกสารเคมีเหลวหรือก๊าซ

**combined shipment การขนส่งสินค้าร่วม**
การขนส่งด้วยรถขนส่ง เรือบรรทุกสินค้า หรือตู้สินค้า โดยรวบรวมสินค้าจากผู้ส่งสินค้าหลายรายหรือจากผู้ส่งสินค้ารายเดียว แต่ส่งให้ผู้รับสินค้าหลายราย เพื่อบรรจุให้เต็มหน่วยขนส่ง เป็นการลดต้นทุน

**competent authority หน่วยงานของรัฐผู้รับผิดชอบตามกฎหมาย**
หน่วยงานผู้รับผิดชอบระบบการขนส่งสินค้าอันตรายทั้งหมดตามมาตรฐานสากลของสหประชาชาติ กระทรวงคมนาคมมักเป็นหน่วยงานผู้รับผิดชอบตามกฎหมายหลัก (main competent authority) ทำงานร่วมกับหน่วยงานอื่นที่มีความรู้ความสามารถเฉพาะ มาทำหน้าที่เป็นหน่วยงานผู้รับผิดชอบตามกฎหมาย (competent authority) เช่น หน่วยงานผู้อนุมัติมาตรฐานถังสำหรับการขนส่ง หน่วยงานผู้อนุมัติมาตรฐานบรรจุภัณฑ์ หน่วยงานผู้พิจารณาการจำแนกประเภทสินค้าอันตราย (classification) เป็นต้น

**consolidation การรวบรวมสินค้า**
การรวบรวมสินค้าที่สถานีขนส่งเพื่อใช้หน่วยขนส่งร่วมกัน เช่น ผู้ส่งออกสินค้าปริมาณน้อยไม่เต็มตู้นำสินค้า ไปรวมกับสินค้าของผู้ส่งออกรายอื่นเพื่อใช้ตู้สินค้าเดียวกันจนเต็ม กิจกรรมที่กระทำโดยผู้ประสานงานกับผู้ส่งออกหลายๆ ราย ทำให้สามารถเฉลี่ยค่าขนส่งให้ลดลงได้

**container port ท่าเรือตู้สินค้า**
ท่าเรือที่ประกอบด้วยบริเวณลาน อุปกรณ์ และระบบที่จำเป็นในการขนย้ายตู้สินค้าจากเรือขึ้นท่าเรือและจากท่าเรือขนย้ายลงเรือด้วยปั้นจั่นขนาดใหญ่ บริเวณท่าเรือต้องมีลานจัดเก็บตู้สินค้าเพื่อจัดระบบให้สามารถขนถ่ายสินค้าให้รวดเร็ว มีระบบที่สามารถระบุตำแหน่งตู้สินค้าและวางแผนการใช้พื้นที่ในลานตู้สินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ ท่าเรือตู้สินค้าส่วนมากเป็นท่าเรือเพื่อรองรับการนำเข้าและส่งออก จึงต้องมีปฏิบัติการศุลกากรเพื่อกำกับดูแลสินค้าที่นำเข้าและส่งออก ท่าเรือตู้สินค้าที่สำคัญของไทย ได้แก่ ท่าเรือแหลมฉบัง ท่าเรือกรุงเทพ (คลองเตย) ท่าเรือสงขลา และท่าเรือเอกชน เช่น ท่าเรือบีเอ็มที ท่าเรือยูนิไทย เป็นต้น

**containerization การขนส่งระบบตู้สินค้า**
การขนส่งสินค้าโดยระบบการบรรจุใส่ตู้สินค้า การให้บริการของสายการเดินเรือเพื่อให้การเคลื่อนย้ายสินค้ามีประสิทธิภาพสูง ปกป้องสินค้าและบรรจุภัณฑ์ไม่ให้เสียหายในระหว่างการขนส่ง จัดเรียงตู้สินค้าอย่างเป็นระบบ ทั้งบนเรือและบนลานตู้สินค้าบนบก เจ้าของสินค้าที่จะส่งออกหรือนำเข้าสามารถคำนวณและจัดเตรียมการบรรจุได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากเนื้อที่จัดเก็บสินค้ามีมาตรฐาน ตู้มีความกว้าง ความยาว ความสูงเป็นมาตรฐาน เช่น ตู้สินค้าขนาด 20 ฟุต หรือ 1 ทีอียู (ดู twenty feet equivalent unit (TEU)) มีขนาดยาว 20 ฟุต กว้าง 8 ฟุต และสูง 8 ฟุต 6 นิ้ว เมื่อพิจารณาขนาดของสินค้า หรือบรรจุภัณฑ์ของสินค้า หรือขนาดพาเลต (ดู pallet) จะสามารถคำนวณปริมาณที่ต้องการขนส่งโดยบรรจุตู้สินค้าได้อย่างถูกต้อง ช่วยให้สามารถวางแผนได้แม่นยำขึ้น


การขนส่งระบบตู้สินค้า


ท่าเรือตู้สินค้า

**containment capability ความจุของภาชนะบรรจุ**
บริเวณที่จัดสร้างไว้เพื่อรองรับสารเคมีเหลว ซึ่งอาจรั่วไหลออกมาจากถังเก็บขนาดใหญ่ มักจัดทำเป็นกำแพงรอบบริเวณถังจัดเก็บ หากมีถังเดียว บริเวณกักเก็บจะต้องมีขนาดความจุซึ่งสามารถรองรับสารเคมีที่รั่วไหลจากถังเก็บได้ทั้งหมด หากมีหลายใบ ต้องสามารถรองรับสารเคมีที่รั่วไหลได้เท่ากับปริมาตรของถังที่ใหญ่ที่สุดในกลุ่มถังที่สร้างอยู่ในบริเวณเดียวกัน

**contract of affreightment สัญญาการเช่าเรือบรรทุกสินค้า**
สัญญาระหว่างเจ้าของเรือกับเจ้าของสินค้าในการเช่าเรือเพื่อการขนส่งสินค้า ส่วนใหญ่ใช้กับสินค้าเคมีเหลวหรือก๊าซโดยเจ้าของสินค้าทำสัญญาให้เรือขนส่งสินค้าของตนจากท่าเรือ ณ แหล่งผลิตสินค้า ไปส่งยังท่าเรือผู้รับสินค้าที่ได้ตกลงกันไว้ โดยระบุค่าขนส่งโดยรวม ระบุเงื่อนไขเวลาที่จะใช้ในแต่ละท่าเรือ และกำหนดค่าเสียเวลาเรือ ทั้งนี้ ผู้ประกอบการเรือขนส่งสินค้าอาจมีสัญญาการว่าจ้างขนส่งสินค้าในเที่ยวนี้กับหลายบริษัทที่เป็นเจ้าของสินค้าก็ได้ เพราะไม่เป็นการเช่าเหมาลำ ตัวอย่างเช่น ผู้ประกอบการทำสัญญาการเช่าเรือบรรทุกสินค้ากับผู้ประกอบการเรือขนส่งสินค้า เพื่อให้ขนส่งสินค้าเคมีจากท่าเรือในสหรัฐอเมริกาจำนวน 20,000 ตัน ไปส่งที่ท่าเรือโยโกฮามาจำนวน 8,000 ตัน ท่าเรือโกเบจำนวน 4,000 ตัน ท่าเรือสิงคโปร์จำนวน 5,000 ตัน และท่าเรือมาบตาพุดจำนวน 3,000 ตัน เป็นต้น

**cross docking การขนถ่ายสินค้าส่งผ่าน**
การขนส่งสินค้าซึ่งเชื่อมโยงการขนส่ง 2 แบบ เช่น การขนส่งด้วยรถบรรทุกขนาดใหญ่จากแหล่งที่อยู่ไกลออกไปมาขนถ่ายลงรถบรรทุกขนาดเล็ก เพื่อกระจายสินค้าเข้าไปยังร้านค้าต่างๆ ในเขตเมือง ในทางกลับกัน เป็นการขนส่งสินค้าที่รวบรวมจากหลายๆ แหล่งผลิตมาขนถ่ายลงรถบรรทุกขนาดใหญ่เพื่อขนส่งไปยังปลายทางที่อยู่ไกล

**cycle count การเวียนรอบนับสินค้าคงคลัง**
การปรับปรุงข้อมูลสินค้าคงคลังให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ด้วยการกำหนดให้มีการนับสินค้าคงคลังเฉพาะบางชนิดที่พบความคลาดเคลื่อน หรือมีข้อสงสัยว่าอาจมีความคลาดเคลื่อน โดยไม่ต้องรอการนับสินค้าคงคลังตอนสิ้นงวดบัญชีเพื่อสืบหาสาเหตุ เช่น เกิดจากการบันทึกปริมาณผิดหรือไม่ได้บันทึกข้อมูลบางรายการ หรือบันทึกชนิดสินค้าสลับกัน เป็นต้น เมื่อพบสาเหตุของความคลาดเคลื่อนแล้วจึงปรับแก้ข้อมูลให้ตรง การเวียนรอบนับสินค้าคงคลังถี่ขึ้น ทำให้สืบหาสาเหตุทำให้ง่ายขึ้น เพราะย้อนหลังกลับไปถึงเวลาที่ทำการปรับข้อมูลครั้งสุดท้ายเท่านั้น

**cycle stock สินค้าคงคลังเต็มตามรอบ**
ปริมาณสินค้าหรือวัตถุดิบ ที่ผลิตหรือสั่งซื้อเข้ามาเต็มตามรอบการผลิตหรือการสั่งซื้อ ตัวอย่างเช่น การผลิตเม็ดพลาสติกหลายชนิดโดยใช้สายการผลิตเดียวกันจะเป็นไปตามลำดับ ต้องรวบรวมปริมาณสินค้าที่ผลิตตามรอบผลิตให้มากพอสำหรับการขาย ก่อนที่จะถึงรอบการผลิตครั้งต่อไป ปริมาณที่สะสมไว้นี้เรียกว่า สินค้าคงคลังเต็มตามรอบ เช่นเดียวกัน กรณีการสั่งซื้อวัตถุดิบหรือสั่งซื้อสินค้าเข้ามาขาย ปริมาณที่สั่งซื้อแต่ละครั้งคือ ปริมาณที่คาดว่าจะเพียงพอสำหรับการขาย ก่อนที่จะถึงรอบการสั่งซื้อครั้งถัดไป มีผลต่อต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลัง ถ้าลดสินค้าคงคลังเต็มตามรอบลงจะทำให้ต้นทุนการถือครองลดลง แต่ทำให้รอบการผลิตลดลงด้วย

**cycle time เวลาครบรอบ**
ระยะเวลาการปฏิบัติงานตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนเสร็จสิ้นกระบวนการจัดการโซ่อุปทาน ตัวอย่างเช่น รอบการผลิตพอลิสไตรีน มีรอบเวลาของกิจกรรมการผลิต 30 วัน ถ้ารอบเวลาของกิจกรรมการผลิตพอลิสไตรีนชนิดใสผ่านไปแล้ว 10 วัน เวลาที่เหลือจะเป็นรอบเวลาของกิจกรรมการผลิตพอลิสไตรีนชนิดขุ่นอีก 20 วัน แล้วจึงจะกลับมาเริ่มผลิตพอลิสไตรีนชนิดใสรอบใหม่ การกำหนดรอบเวลาของกิจกรรมยาว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่าเพราะไม่ต้องเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการผลิตบ่อย แต่มีผลทำให้ปริมาณสินค้าคงคลังเต็มตามรอบเพิ่มขึ้น

**dangerous goods สินค้าอันตราย**
วัสดุ สาร และสารเคมี ทั้งที่เป็น ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง มี 9 ประเภทได้แก่ วัตถุระเบิด ก๊าซอันตราย ของเหลวไวไฟ ของแข็งไวไฟ สารออกซิไดซ์และสารอินทรีย์เพอร์ออกไซด์ สารพิษ สารกัมมันตรังสี สารกัดกร่อน และสารที่มีความเป็นอันตรายอื่นๆ ตามคำจำกัดความในข้อแนะนำของสหประชาชาติเรื่องการขนส่งสินค้าอันตราย (ดู United Nations Recommendation on Transport of Dangerous Goods (UNRTDG)) ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทก๊าซอันตราย ของเหลวไวไฟ และสารพิษ ตัวอย่างเช่น เอทิลีน ทอลิวอีน และเบนซีน ตามลำดับ บางชนิดจัดเป็นสารอันตรายได้มากกว่าหนึ่งประเภท เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์จัดเป็นทั้งสารไวไฟและสารกัดกร่อน

**dangerous goods packaging บรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าอันตราย**

บรรจุภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานซึ่งต้องผ่านการทดสอบต้นแบบก่อนการผลิต บรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบแล้วจะได้รับมาตรฐานตามคำจำกัดความในข้อแนะนำของสหประชาชาติเรื่องการขนส่งสินค้าอันตราย (ดู United Nations Recommendation on Transport of Dangerous Goods (UNRTDG)) และมีเครื่องหมายหรือตราประทับของสหประชาชาติ (UN mark) เพื่อให้บรรจุและขนส่งสินค้าอันตรายระหว่างประเทศได้ ตัวอย่างเช่น บรรจุภัณฑ์สำหรับทอลิวอีนเป็นถังเหล็กขนาด 200 ลิตร ที่ต้องได้มาตรฐาน UN Mark รหัส UN 1A1/Y/20/... ซึ่งหมายถึงถังเหล็กที่ฝาบนเปิดไม่ได้ สำหรับสินค้าอันตรายที่มีระดับความเป็นอันตรายปานกลาง (packing group II) ถังทนความดันทดสอบได้ที่ 20 กิโลปาสกาล เป็นต้น



บรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าอันตราย

**dangerous goods safety advisor (DGSA) ที่ปรึกษาด้านความปลอดภัยการขนส่งสินค้าอันตราย (ดีจีเอสเอ)**

บุคลากรสำคัญด้านความปลอดภัยในระบบการขนส่งสินค้าอันตราย อาจเป็นผู้บริหาร พนักงาน หรือเป็นที่ปรึกษาให้กับสถานประกอบการ ในการให้คำแนะนำเกี่ยวกับการปฏิบัติตามข้อกำหนดในการขนส่งสินค้าอันตราย ติดตามกิจกรรมเกี่ยวกับการขนส่งสินค้าอันตราย จัดทำรายงานอุบัติเหตุ จัดทำรายงานประจำปี ต้องผ่านการอบรมเฉพาะและผ่านการสอบรับรองมีต้นแบบมาจากสหภาพยุโรป

**dangerous goods tank code รหัสถังสำหรับการขนส่งสินค้าอันตราย**

รหัสสำหรับถังที่ใช้ในการขนส่งสินค้าอันตราย เป็นไปตามมาตรฐานกำกับตามข้อกำหนดการขนส่งสินค้าอันตรายของสหภาพยุโรป กำหนดไว้ในตารางบัญชีรายชื่อสินค้าอันตรายในข้อตกลงยุโรป ว่าด้วยการขนส่งสินค้าอันตรายทางถนน (เอดีอาร์) (ดู European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR)) เช่น ถังสำหรับการขนส่งสไตรีนมอนอเมอร์ มีรหัสถังคือ L4BN ซึ่งหมายถึง ถังสำหรับบรรจุสารเคมีเหลว (L) ที่สามารถทนความดันได้ที่ 4 บาร์ (4) มีท่อและข้อต่อสำหรับการขนถ่ายสารเคมีทางด้านล่างของถัง (B) และมีวาล์วนิรภัยที่สามารถระบายไอของสารออกได้ หากภายในถังมีความดันสูงเกินความดันที่กำหนด (N)




ถังประเภท L4BN สำหรับบรรจุสารเคมีอันตราย

**dangerous goods warehouse คลังสินค้าสำหรับสินค้าอันตราย**
สถานที่จัดเก็บสินค้าอันตราย ซึ่งต้องเป็นไปตามข้อกำหนดพิเศษเกี่ยวกับความปลอดภัยในการจัดเก็บ ขึ้นกับประเภทสินค้าอันตราย เช่น ของเหลวไวไฟ มีข้อกำหนดเกี่ยวกับการแยกจัดเก็บให้ห่างจากสารออกซิไดซ์ วัตถุระเบิด เป็นต้น ต้องมีผนังทนไฟในโครงสร้างของอาคารคลังสินค้า ต้องมีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่เกิดประกายไฟในระหว่างการใช้งาน (explosion proof) ระบบการถ่ายเทอากาศตามข้อกำหนด อุปกรณ์ดับเพลิงฉุกเฉินแบบอัตโนมัติและแบบพกพา เป็นต้น



คลังสินค้าสำหรับสินค้าอันตราย

**dead weight ton (DWT) น้ำหนักบรรทุกในเรือรวม (ดีดับเบิลยูที)**
หน่วยวัดขนาดเรือบรรทุกสินค้าประเภทสารเคมีเหลว หมายถึงน้ำหนักรวมของสินค้า (cargo) รวมกับน้ำหนักน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำถ่วงเรือ (ballast) ที่เรือบรรทุกสามารถรับบรรทุกได้โดยปลอดภัย สารเคมีในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีขนาดตั้งแต่ 2,000 ไปจนถึง 40,000 DWT

**delivery order (DO) ใบส่งสินค้า (ดีโอ)**
เอกสารรายละเอียดของสินค้า ใช้ประกอบการนำส่งให้ลูกค้า เริ่มจากการรับใบสั่งซื้อสินค้าจากลูกค้า การจัดเตรียมผลิตภัณฑ์ตามใบสั่งซื้อ การเตรียมรถขนส่งมารับสินค้า การส่งสินค้าไปยังลูกค้า ใช้เป็นหลักฐานการรับสินค้า ตรวจสอบเทียบกับใบสั่งซื้อจากลูกค้า และเซ็นกลับมาให้ผู้ขายเป็นหลักฐานการซื้อขาย บางสถานประกอบการเรียกว่า บันทึกการส่งสินค้า (delivery note)

**demurrage ค่าเสียเวลา**
ค่าปรับที่ผู้ว่าจ้างเรือขนส่งสินค้าต้องจ่ายให้แก่ผู้ประกอบการเรือขนส่ง หากการใช้เวลาเรือในการขนถ่ายสินค้า ณ ท่าเรือที่รับหรือจ่ายสินค้า นานกว่าเวลาที่ระบุในข้อตกลงระหว่างเรือขนส่งและเจ้าของสินค้า

**depot สถานีจัดเก็บและกระจายสินค้า**
คลังสินค้าเคมีและสินค้าที่ใช้ระบบการเคลื่อนย้ายด้วยตู้สินค้า (container depot) มีระบบและอุปกรณ์การเคลื่อนย้ายสินค้าที่เหมาะสมกับภาชนะบรรจุและขนถ่ายเพื่อการขนส่ง อาจอยู่ในบริเวณท่าเรือหรือนอกบริเวณท่าเรือก็ได้



สถานีจัดเก็บและกระจายสินค้า

**detention ค่าหน่วงเวลาตู้สินค้า**
ค่าปรับซึ่งเป็นค่าเสียเวลาที่ผู้นำตู้สินค้าไปใช้งานต้องจ่ายให้แก่สายการเดินเรือ ถ้าการนำตู้สินค้าออกจากเขตการกำกับดูแลของสายการเดินเรือ เพื่อขนย้ายสินค้าออกจากตู้หรือขนย้ายเข้าตู้ แล้วไม่สามารถนำมาคืนได้ในเวลาที่กำหนด

**drain valve วาล์วสำหรับเก็บตัวอย่าง**
ช่องเปิดสำหรับเก็บตัวอย่างจากถังเก็บหรือจากรถขนส่ง เพื่อนำไปตรวจสอบว่าได้ตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ หรือสำหรับถ่ายเทสารออกจากถังเก็บเพื่อนำไปบำบัด วัสดุที่ใช้ทำวาล์วสำหรับเก็บตัวอย่างต้องเหมาะสมกับประเภทสารเคมี



วาล์วสำหรับเก็บตัวอย่าง

**drop test การทดสอบปล่อยตก**
การทดสอบความแข็งแรงบรรจุภัณฑ์ หนึ่งในรายการทดสอบที่ระบุไว้ในมาตรฐานบรรจุภัณฑ์สำหรับการขนส่งสินค้าอันตราย โดยปล่อยให้บรรจุภัณฑ์ที่บรรจุน้ำอยู่เต็มตกกระทบพื้นจากความสูงที่กำหนด บรรจุภัณฑ์ที่ถือว่าผ่านการทดสอบต้องไม่แตกเสียหาย



การทดสอบปล่อยตก

**drum ถัง**
บรรจุภัณฑ์สำหรับเก็บผลิตภัณฑ์หรือสินค้าที่เป็นของเหลว ทำจากวัสดุต่างๆ เช่น พลาสติก เหล็ก อะลูมิเนียม ไม้ และโลหะอื่น มีหลายขนาด ตั้งแต่ 20 ลิตร จนถึง 1,000 ลิตร ถังที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีส่วนใหญ่มีขนาด 200 ลิตร หากเป็นถังซึ่งใช้บรรจุสินค้าอันตรายต้องมีมาตรฐานตามข้อกำหนดการขนส่งสินค้าอันตราย มีเครื่องหมายหรือตราประทับของสหประชาชาติ (UN mark) กำกับ เพื่อแสดงว่าเป็นถังซึ่งได้มาตรฐานและผ่านการทดสอบต้นแบบแล้ว

**drum filling การบรรจุสินค้าลงถัง**
การบรรจุสินค้าประเภทสารเคมีเหลวลงถัง เป็นหน้าที่ของผู้ผลิตหรือผู้แบ่งบรรจุ ผู้บรรจุต้องเลือกบรรจุภัณฑ์ซึ่งเหมาะสมกับสินค้าที่บรรจุ ให้มีความแข็งแรงและทำด้วยวัสดุที่เข้ากันได้กับสินค้า ต้องมีระบบป้องกันไม่ให้สารหกรั่วไหล โดยต้องมีอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณสารที่เติมและตัดการป้อนสารเมื่อถึงปริมาณที่กำหนด



การบรรจุสินค้าลงถัง

**drybreak coupling ข้อต่อเชื่อมท่อถ่ายเทสารเคมีเหลวแบบแห้ง**
ข้อต่อระหว่างท่อลำเลียงสินค้าที่เป็นสารเคมีเหลว เป็นชนิดปิดเร็ว ทำให้สารเคมีไม่รั่วไหลเวลาถอดข้อต่อของท่อออกจากกัน มักใช้กับสารเคมีที่เป็นก๊าซหรือสารเคมีเหลวที่เป็นสินค้าอันตราย เช่น สารไวไฟ สารพิษ หรือสารกัดกร่อน เป็นต้น

**electrostatic ไฟฟ้าสถิต**
ประจุไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการปฏิบัติงานที่มีสนามแม่เหล็กเคลื่อนไหวผ่านตัวนำไฟฟ้าโดยธรรมชาติ เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าสถิต ซึ่งมีผลถึงขั้นระเบิดหรือเกิดเพลิงไหม้ หากอยู่ในบรรยากาศของสารไวไฟและมีส่วนผสมกับอากาศพอเหมาะ การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าสถิตทำได้โดยการติดตั้งสายดิน (grounding หรือ earthing)

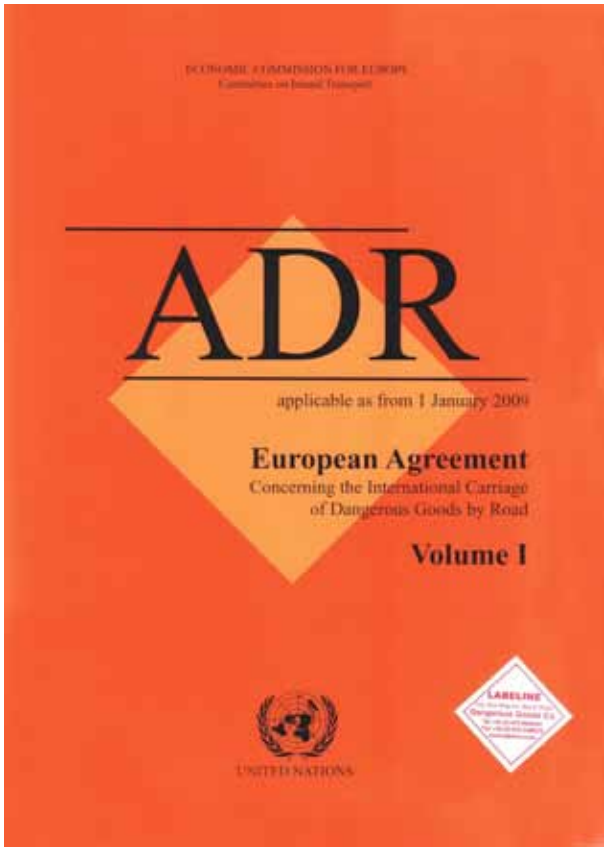
**emergency response การกู้ภัยฉุกเฉิน**
ปฏิบัติการเพื่อลดผลกระทบอันเกิดจากภาวะฉุกเฉินจากอุบัติเหตุและอุบัติภัย เช่น ระเบิด ไฟไหม้ สารเคมีรั่วไหล ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อชีวิต สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และทรัพย์สิน รวมถึงการฟื้นฟูบูรณะคุณภาพสิ่งแวดล้อม การกู้ภัยจากเหตุฉุกเฉินเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับหลายฝ่าย เริ่มจากการทำแผนเพื่อเตรียมการอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดเหตุ การแจ้งเหตุและสื่อสารรายละเอียดของอุบัติเหตุอย่างรวดเร็วและชัดเจน ความสามารถของผู้บัญชาการ ณ สถานที่เกิดเหตุ และทีมงานกู้ภัย ตลอดจนความพร้อมของอุปกรณ์ การประสานงานกับผู้เชี่ยวชาญ หากเป็นภัยที่เกี่ยวกับสารเคมีอันตราย



การกู้ภัยฉุกเฉิน

**enterprise resource planning (ERP) ระบบการจัดการทรัพยากรทั่วทั้งองค์กร (อีอาร์พี)**
ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับการจัดการโซ่อุปทานทั่วทั้งองค์กร ที่เชื่อมโยงระบบต่างๆ ขององค์กร ได้แก่ ระบบบัญชีการเงิน ระบบสินค้าคงคลังวัตถุดิบและสินค้า ซึ่งรวมถึงสินค้าระหว่างการผลิต ระบบการจัดซื้อ ระบบการผลิต ระบบการขาย ระบบการจัดส่ง การบันทึกข้อมูลการปฏิบัติงานทุกขั้นตอน และการนำข้อมูลจากการปฏิบัติการมาวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานด้านต่างๆ

**European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR) ข้อตกลงยุโรปว่าด้วยการขนส่งสินค้าอันตรายทางถนน (เอดีอาร์)**
ข้อตกลงเรื่องมาตรฐานการขนส่งสินค้าอันตรายซึ่งกลุ่มประเทศในทวีปยุโรปร่วมกันจัดทำขึ้น เกณฑ์มาตรฐานในการจำแนกประเภทสินค้าอันตราย มาตรฐานแท็งก์และบรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าอันตราย การทดสอบตรวจสอบแท็งก์และบรรจุภัณฑ์ การอบรมพนักงานขับรถและผู้เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการขนส่งสินค้าอันตรายภายในประเทศ และการขนส่งข้ามแดนในทวีปยุโรป ประเทศไทยและกลุ่มประเทศในอาเซียนกำลังจัดทำสัตยาบันร่วมกันเพื่อนำหลักเกณฑ์และข้อกำหนดเช่นเดียวกับเอดีอาร์มาใช้ในการสร้างมาตรฐานการขนส่งสินค้าอันตรายข้ามแดนร่วมกันและทำให้เกิดความปลอดภัยในการขนส่งสินค้าอันตรายในภูมิภาค สารเคมีในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีหลายชนิดเป็นสินค้าอันตรายในการขนส่ง เช่น เอทิลีน โพรพิลีน เบนซีน สไตรีน ทอลิวอีน ไซลีน ไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น



ข้อตกลงยุโรปว่าด้วยการขนส่งสินค้าอันตรายทางถนน (เอดีอาร์)



**European Chemical Industry Council (CEFIC) สภาอุตสาหกรรมเคมีแห่งสหภาพยุโรป**
องค์กรเครือข่ายอุตสาหกรรมและธุรกิจเคมีที่ใหญ่ที่สุดในโลก ก่อตั้งขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2515 สำนักงานใหญ่อยู่ที่กรุงบรัสเซล ประเทศเบลเยี่ยม มีสมาชิกประมาณ 29,000 บริษัท คณะทำงาน 60 คณะ มีผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีจากบริษัทและสมาคมที่เป็นสมาชิกมาร่วมงานใน CEFIC ถึง 4,000 คน เพื่อผลักดันยุทธศาสตร์และโครงการต่างๆ เช่น ระเบียบสารเคมีของสหภาพยุโรป (รีช) (ดู registration, evaluation, authorization and restriction of chemicals (REACH)) การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม การวิจัยและพัฒนาต่างๆ

**explosion proof อุปกรณ์กันระเบิด**

อุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงานหรือคลังสินค้า ซึ่งเก็บสารเคมีที่มีสมบัติไวไฟหรืออาจระเบิดได้ หรือในบริเวณที่อาจมีไอระเหยของสารไวไฟ ซึ่งหากมีประกายไฟจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบริเวณดังกล่าวจะทำให้มีโอกาสไฟไหม้ได้ เช่น หลอดไฟ สวิตช์ไฟ ปั๊ม มอเตอร์ กล้อง เป็นต้น ต้องห่อหุ้มอย่างแข็งแรงและมิดชิดไม่ให้ก๊าซหรือไอระเหยสารไวไฟเข้าไปได้ คุณลักษณะและสมบัติต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ผู้เกี่ยวข้องให้ความเห็นชอบ



อุปกรณ์กันระเบิด

**fixed tank ถังยึดติดกับตัวรถ**

ถังสำหรับขนส่งสารเคมีเหลวชนิดที่ยึดติดกับตัวรถ เช่น รถขนส่งทอลิวอีน รถขนส่งสไตรีนมอนอเมอร์ เป็นต้น มาตรฐานถังที่ยึดติดกับตัวรถสำหรับการขนส่งสารเคมี ซึ่งจัดอยู่ในประเภทสินค้าอันตราย ต้องเป็นไปตามมาตรฐานข้อตกลงยุโรปว่าด้วยการขนส่งสินค้าอันตรายทางถนน (เอดีอาร์) (ดู European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR)) ซึ่งระบุมาตรฐานถังตามประเภทสินค้าอันตราย สำหรับประเทศไทยต้องเป็นไปตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการขนส่งวัตถุอันตรายทางบก พ.ศ. 2546 ตัวอย่างมาตรฐานถังยึดติดกับตัวรถสำหรับสไตรีนมอนอเมอร์หมายเลขสินค้าอันตรายของสหประชาชาติ (ดู United Nations number) 2055 กำหนดให้ใช้มาตรฐานถัง LGBF มีความหมายดังนี้

L = ของเหลว
G = ความดันคำนวณต่ำสุด
B = การขนถ่ายทางด้านล่างของถังโดยมีวาล์วปิด 3 ตัว
F = มีระบบการปล่อยไอออกฉุกเฉิน (venting system)



ถังยึดติดกับตัวรถ

**flammable, inflammable ไวไฟ**

สมบัติของสารที่อยู่ในสถานะต่างๆ ทั้ง ก๊าซ ของเหลว ของแข็ง ซึ่งพร้อมจะลุกติดไฟเมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อน เกณฑ์การวัดว่าเป็นสารไวไฟหรือไม่ เป็นไปตามมาตรฐานสากล โดยใช้เกณฑ์ของสหประชาชาติเรื่องการขนส่งสินค้าอันตราย

| ประเภทของสาร | ระดับความไวไฟ | เกณฑ์การวัด | ตัวอย่างสาร |
|---|---|---|---|
| ก๊าซไวไฟ | ไวไฟสูง ระดับ 1 | ส่วนผสมของก๊าซหรือไอระเหยกับอากาศที่มีช่วงความไวไฟ (flammable range) กว้างกว่าร้อยละ 12 หรือสารซึ่งเมื่อผสมกับอากาศ สามารถติดไฟได้ที่ส่วนผสมเท่ากับหรือน้อยกว่าร้อยละ 13 | เอทิลีนออกไซด์ บิวทาไดอีน |
| | ไวไฟ ระดับ 2 | ก๊าซที่มีช่วงความไวไฟ (flammable range) เมื่อผสมกับอากาศ และไม่มีสมบัติตามสารไวไฟสูงระดับ 1 | แอมโมเนีย |
| ของเหลวไวไฟ | ไวไฟสูงมาก ระดับ 1 | ของเหลวที่มีจุดวาบไฟต่ำกว่า 23 องศาเซลเซียส และจุดเดือดต่ำกว่าหรือเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส | คาร์บอนไดซัลไฟด์ โพรพิลีนออกไซด์ |
| | ไวไฟสูง ระดับ 2 | ของเหลวที่มีจุดวาบไฟต่ำกว่า 23 องศาเซลเซียส และจุดเดือดมากกว่า 35 องศาเซลเซียส | ทอลิวอีน ไซลีน ไซโคลเฮกเซน |
| | ไวไฟ ระดับ 3 | ของเหลวที่มีจุดวาบไฟมากกว่าหรือเท่ากับ 23 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าหรือเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส | เอทิลีนไกลคอล ไอโซบิวทานอล |

**flange หน้าแปลน**

แผ่นวัสดุที่ประกบปลายท่อจากถังในรถหรือเรือกับปลายท่อของถังเก็บสารเคมีเหลว ยึดติดกันด้วยน็อตและสกรู การใช้หน้าแปลนเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ แต่ควรใช้กับสารเคมีที่ไม่อันตรายเท่านั้น เพราะมีความเสี่ยงจากการรั่วไหลของสารเคมีที่ตกค้างอยู่ในท่อในขณะถอดหน้าแปลน นอกจากนี้ยังเสียเวลาประกอบและถอด



หน้าแปลน

**flash point จุดวาบไฟ**

อุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้ปริมาณไอของสารสะสมมากพอที่จะจุดติดไฟได้ในอากาศ เมื่อทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มี 2 วิธีคือ แบบถ้วยเปิด (open cup) และแบบถ้วยปิด (closed cup) จุดวาบไฟต่ำแสดงว่าเป็นของเหลวไวไฟมาก ตามระบบจำแนกและสื่อสารสารเคมีให้เป็นระบบเดียวกันทั่วโลก (จีเอชเอส) (ดู globally harmonized system for classification and labeling of chemicals (GHS)) ของเหลวที่มีจุดวาบไฟต่ำกว่า 93 องศาเซลเซียส จัดว่าเป็นของเหลวไวไฟ ตัวอย่างเช่น ทอลิวอีนมีจุดวาบไฟที่ 16 องศาเซลเซียส และเมทานอลมีจุดวาบไฟที่ 15.6 องศาเซลเซียส เมื่อทดสอบด้วยวิธีถ้วยเปิด




เครื่องมือทดสอบจุดวาบไฟ

**flexibag ถุงอ่อนหยุ่นขนาดใหญ่**
ถุงบรรจุสารเคมีเหลวขนาดใหญ่ซึ่งออกแบบเพื่อขนส่งในตู้สินค้าขนาดมาตรฐาน 20 ฟุต (1 ทีอียู) ทั่วไป (ดู twenty feet equivalent unit (TEU)) มักทำจากยางสังเคราะห์นีโอพรีนผสมกับพลาสติก เช่น พอลิเอทีลีนและพอลิยูริเทนหลายชั้น เพื่อความทนทานในการใช้งาน มีความยืดหยุ่นและบรรจุสารเคมีเหลวได้ถึง 20 ตัน เมื่อนำส่งสินค้าแล้ว สามารถพับเก็บกลับมาในตู้สินค้าขากลับ เป็นการประหยัดพื้นที่และนำมาใช้บรรจุสารเคมีซ้ำได้ จัดเป็นนวัตกรรมทางเลือกในการขนส่งสารเคมีเหลวที่ไม่อันตราย สามารถลดค่าขนส่งลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ถังสำหรับขนส่งทางทะเล (ดู isotank)



ถุงอ่อนหยุ่นขนาดใหญ่

**flexible hose ท่อลำเลียงแบบอ่อน**
ท่อต่อเพื่อเชื่อมการขนถ่ายสินค้าระหว่างถังเก็บและรถหรือเรือ เป็นแบบอ่อนหรือยืดหยุ่นได้ อาจทำจากเส้นเหล็กกล้าไร้สนิมถัก ยาง พลาสติก ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ขนถ่าย



ท่อลำเลียงแบบอ่อน

**floating roof tank ถังเก็บที่มีระบบหลังคาลอย**
ถังบรรจุสารเคมีเหลวที่หลังคาเลื่อนขึ้นลงตามระดับของสารที่อยู่ในถัง ใช้เก็บสารเคมีเหลวระเหยง่ายที่อยู่ในเกณฑ์ไวไฟ เช่น มีช่วงของขีดจำกัดขั้นต่ำของส่วนผสมระเบิดได้ (lower explosion limit) และขีดจำกัดขั้นสูงของส่วนผสมระเบิดได้ (upper explosion limit) กว้าง ทำให้ไอของสารเมื่อผสมกับอากาศมีโอกาสติดไฟได้ง่าย ช่วยลดการสะสมของไอ



ถังเก็บที่มีระบบหลังคาลอย

**forecast accuracy ความแม่นของการพยากรณ์ยอดขาย**
ตัวชี้วัดที่สำคัญในการตรวจสอบประสิทธิภาพการวางแผนโซ่อุปทาน การพยากรณ์ยอดขายเป็นจุดเริ่มต้นของการวางแผนอุปทาน ได้แก่ แผนการผลิต แผนสินค้าคงคลัง แผนการจ้างผลิต แผนวัตถุดิบคงคลัง และแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบ ถ้าการพยากรณ์มีความผิดพลาดมากจะทำให้แผนโซ่อุปทานไม่สอดคล้องกับความต้องการของตลาด ไม่สามารถส่งมอบสินค้าได้ทันเวลา ในขณะเดียวกันก็ต้องถือครองปริมาณสินค้าคงคลังของสินค้าที่ตลาดไม่ต้องการจำนวนมาก เทคนิคการพยากรณ์ยอดขายมักใช้วิธีการทางสถิติควบคู่กับการวิเคราะห์แนวโน้มการตลาดจากปัจจัยภายใน เช่น การส่งเสริมการขาย การออกสินค้าใหม่ ปัญหาการผลิต และปัจจัยภายนอก เช่น สถานการณ์ทางการเมือง เศรษฐกิจ ฤดูกาล กิจกรรมของคู่แข่ง เป็นต้น

**full container load (FCL) การขนส่งแบบเต็มตู้สินค้า (เอฟซีแอล)**
การขนส่งทางทะเลด้วยระบบเหมาตู้สินค้าทั้งตู้ในการขนส่งเที่ยวหนึ่งจากต้นทางไปยังปลายทาง ผู้ส่งสินค้ามักบรรทุกสินค้าให้เต็มพิกัดที่บริษัทเรืออนุญาตให้ตู้สินค้าหนึ่งๆ บรรทุกได้ หรืออาจขนส่งไม่เต็มพิกัดแต่ต้องการเหมาขนส่งตู้สินค้าเที่ยวนั้นแต่เพียงผู้เดียว ปฏิบัติการลอจิสติกส์ด้วยระบบการขนส่งแบบเต็มตู้สินค้า จะไม่เปิดตู้สินค้าที่ท่าเรือหรือท่าพักสินค้าข้ามแดน แต่จะขนผ่านตู้สินค้าไปยังผู้รับสินค้าปลายทาง

**full trailer รถบรรทุกพ่วง**
รถขนส่งซึ่งแบ่งตัวรถเป็นสองส่วน ส่วนหลังเป็นส่วนพ่วงที่ผูกโยงกับตัวรถบรรทุกส่วนหน้าและลากจูงไปได้ มีแกนล้อทั้งส่วนหน้าและส่วนหลัง สามารถปลดออกและทรงตัวอยู่ได้ ทำให้สามารถบรรทุกสินค้าได้มากขึ้น แต่ไม่ใช้ขนส่งสินค้าอันตราย เนื่องจากอาจมีปัญหาการบังคับรถส่วนหลังซึ่งเสี่ยงต่อการพลิกคว่ำได้ง่าย



รถบรรทุกพ่วง

**gas cylinder ถังบรรจุก๊าซ**
บรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุก๊าซภายใต้ความดัน ทำด้วยโลหะรูปทรงกระบอก การผลิตเป็นไปตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม มีหลายขนาดและระดับความดันเพื่อให้ใช้กับก๊าซได้หลายชนิด เช่น ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซหุงต้ม ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซออกซิเจน เป็นต้น โดยถังที่บรรจุก๊าซแต่ละชนิดต้องพ่นสีที่กำหนดไว้ในมาตรฐานเพื่อแสดงความแตกต่างที่ชัดเจน เพิ่มความปลอดภัย และมีการจัดการที่ถูกต้อง



ถังบรรจุก๊าซ

**globally harmonized system for classification and labeling of chemicals (GHS) ระบบจำแนกและสื่อสารสารเคมีให้เป็นระบบเดียวกันทั่วโลก (จีเอชเอส)**
ระบบจำแนกความเป็นอันตรายของสารเคมีและวิธีการสื่อสารให้เป็นระบบเดียวกันทั่วโลก ระบบการจัดกลุ่ม การติดฉลาก และการแสดงรายละเอียดบนเอกสารข้อมูลความปลอดภัย (safety data sheet) เพื่อให้แต่ละประเทศสามารถสื่อสารและเข้าใจข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอันตรายที่เกิดจากสารเคมีในทิศทางเดียวกัน สัญลักษณ์แสดงอันตรายแสดงเป็นแผนภูมิรูปภาพอันตราย (hazard pictogram)



ระบบจำแนกและสื่อสารสารเคมีให้เป็นระบบเดียวกันทั่วโลก (จีเอชเอส)

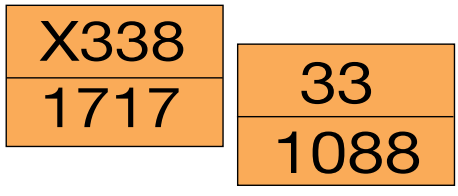
**green logistics ลอจิสติกส์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม**
กิจกรรมลอจิสติกส์ที่ทำให้เกิดการลดการใช้พลังงาน ลดการปล่อยก๊าซที่มีผลกระทบต่อบรรยากาศ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน เป็นต้น ลดการใช้บรรจุภัณฑ์ ปรับเปลี่ยนให้มีการใช้พลังงานทดแทนในการขนส่งมากขึ้น ปรับเปลี่ยนใช้รูปแบบการขนส่งที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงน้อยลง เช่น ขนส่งทางน้ำ เป็นต้น

**grounding, earthing การต่อสายดิน**
การนำสายโลหะที่ต่ออยู่กับถังบรรจุหรือรถขนส่งลงสู่พื้นดิน เพื่อให้ประจุไฟฟ้าที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตไหลลงดิน ลดความเสี่ยงจากไฟฟ้าสถิตสำหรับถังบรรจุสารประเภทไวไฟ และในระหว่างการขนถ่ายสารไวไฟระหว่างรถขนส่งกับถังบรรจุ

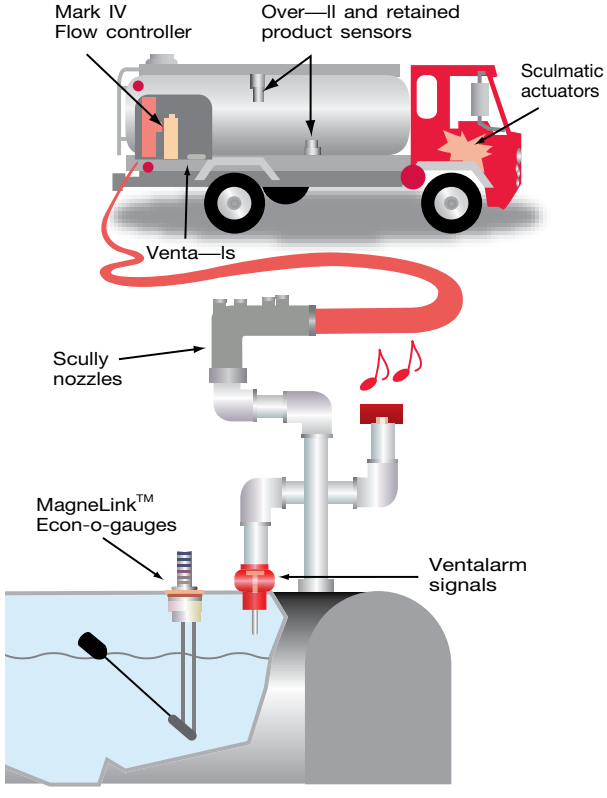



การต่อสายดินจากรถขนส่งระหว่างการขนถ่ายสารเคมี

**hazard classification การจำแนกประเภทสินค้าอันตราย**
การจำแนกประเภทสินค้าอันตรายด้วยรหัสตัวเลขตามข้อแนะนำการขนส่งสินค้าอันตราย ระบุความเป็นอันตรายของสารเคมีที่กำลังขนส่ง เช่น รหัส 33 หมายถึง สารเคมีที่เป็นของเหลวไวไฟสูง หรือมีจุดวาบไฟ (ดู flash point) ต่ำกว่า 23 องศาเซลเซียส รหัส 336 หมายถึง สารเคมีที่เป็นของเหลวไวไฟสูงและมีความเป็นพิษ เป็นต้น รหัสการจำแนกประเภทสินค้าอันตราย เป็นชุดตัวเลขที่อยู่ส่วนบนของป้ายสีส้มในการขนส่งสินค้าอันตราย ชุดตัวเลขสี่ตัวที่อยู่ส่วนล่างเป็นหมายเลขสินค้าอันตรายของสหประชาชาติ (ดู UN number และดู placard ประกอบ)




ตัวอย่างรหัสการจำแนกประเภทสินค้าอันตรายและหมายเลขสินค้าอันตรายของสหประชาชาติ ของสาร acetyl chloride (1717) และ acetal (1088)




การป้องกันการเติมสารล้นระดับ

**hazardous substance วัตถุอันตราย**
สารเคมีที่เป็นอันตรายทางกายภาพต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น วัตถุระเบิด สารไวไฟ สารออกซิไดซ์ สารเพอร์ออกไซด์ อินทรีย์วัตถุหรือสารอินทรีย์ สารพิษ สารกัมมันตรังสี สารกัดกร่อน และกากของเสียอันตราย มีระบบการจำแนกความเป็นอันตรายหลายระบบและอาจเกิดความสับสนในการสื่อสารความเป็นอันตราย สหประชาชาติจึงจัดทำข้อกำหนดเกี่ยวกับการจำแนกความเป็นอันตรายของสารเคมีและการสื่อสาร เรียกว่า ระบบจีเอชเอส (ดู globally harmonized system for classification and labeling of chemicals (GHS)) สำหรับประเทศไทย วัตถุอันตราย หมายถึง สารที่อยู่ในบัญชีรายชื่อตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย

**hedge stock สินค้าคงคลังเพื่อการเก็งราคา**
ดู speculative stock

**high level protection การป้องกันการเติมสารล้นระดับ**
อุปกรณ์ป้องกันการเติมสารลงในถังหรือรถบรรทุกมากเกินระดับที่กำหนด โดยจะส่งสัญญาณไปให้ปั๊มหยุดทำงาน

**IMO tank container ตู้สินค้าสำหรับขนส่งทางทะเล**
ดู isotank

**in transit inventory สินค้าคงคลังระหว่างทาง**
สินค้าที่อยู่ระหว่างการขนส่ง ต้องระบุผู้เป็นเจ้าของหรือมีสิทธิครอบครองสินค้าในระหว่างการขนส่งในเงื่อนไขการซื้อขาย หากเป็นการซื้อขายที่โรงงานผู้ขาย เจ้าของสินค้าคือผู้ซื้อ หากเป็นการซื้อขายโดยระบุการส่งมอบถึงโรงงานผู้ซื้อ เจ้าของสินค้าคือผู้ขาย เป็นต้นทุนลอจิสติกส์ของผู้ซื้อหรือผู้ขายตามเงื่อนไขที่ระบุ ความเป็นเจ้าของหรือสิทธิครอบครองสินค้าระหว่างการขนส่ง หมายถึง ความรับผิดชอบต่อความเสียหายในระหว่างการขนส่ง และเกี่ยวโยงกับการทำประกันภัยสินค้าและการทำสัญญาขนส่งกับผู้ขนส่ง เรื่องความรับผิดชอบต่อความเสียหายของสินค้าด้วย

**incompatible chemical สารเคมีที่เข้ากันไม่ได้**
สารเคมีที่เข้ากันไม่ได้ หากผสมกันจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรง เกิดปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนสูง เปลวไฟ หรือระเบิดได้ เช่น สารไฮโดรคาร์บอนกับสารออกซิไดซ์ เป็นต้น

**inhibitor สารยับยั้งปฏิกิริยา**
สารที่ใส่เข้าไปในสารเคมีอื่นเพื่อหน่วง ยับยั้ง หรือหยุดไม่ให้เกิดปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการ เช่น การใส่เมทานอลเพื่อลดโอกาสการเกิดพอลิเมอร์ของฟอร์แมลดีไฮด์ในถังบรรจุ การเติมก๊าซไนโตรเจนในถังบรรจุสารไวไฟ เพื่อเจือจางส่วนผสมของไอระเหยของสารไวไฟกับอากาศที่อาจติดไฟได้

**inland container depot (ICD) สถานีขนถ่ายตู้สินค้านอกท่าเรือ (ไอซีดี)**
สถานีขนถ่ายตู้สินค้าซึ่งให้บริการผู้นำเข้าและส่งออกสินค้าที่บริเวณนอกท่าเรือ เพื่อความสะดวกแก่ผู้นำเข้าและส่งออกสินค้าให้สามารถนำส่งตู้สินค้าที่สถานีนี้ได้ โดยไม่ต้องนำส่งถึงท่าเรือซึ่งอยู่ไกลออกไป สามารถประหยัดค่าขนส่งและติดตามแก้ปัญหาได้ใกล้ชิดขึ้น ในสถานีขนถ่ายตู้สินค้านอกท่าเรือ เช่น สถานีขนถ่ายตู้สินค้าลาดกระบัง มีบริการหลายประเภท เช่น บรรจุหรือนำสินค้าออกจากตู้สินค้า ลานเก็บตู้สินค้า คลังสินค้า การขนย้ายตู้สินค้า การขนส่งทางรถบรรทุกและรถไฟ การบริการพิธีการศุลกากร



สถานีขนถ่ายตู้สินค้าลาดกระบัง โดยทางรถไฟ

**inland waterway การขนส่งทางน้ำ**
การขนส่งทางเรือโดยใช้เส้นทางเดินของแม่น้ำหรือทะเลสาบ อาจเชื่อมโยงกับการขนส่งทางทะเล เป็นการขนส่งดั้งเดิมที่ใช้กันมาเป็นเวลานาน อุตสาหกรรมปิโตรเคมีของไทยใช้การขนส่งทางน้ำขนส่งสารเคมีจากมาบตาพุดและศรีราชา หรือนำเข้าจากต่างประเทศเข้ามาตามแม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อนำสินค้ามาขนถ่ายที่ท่าเรือสารเคมีเหลวในเขตจังหวัดสมุทรปราการและกรุงเทพมหานคร



การขนส่งอีกรูปแบบหนึ่งเพื่อเชื่อมโยงกับสถานประกอบการที่อยู่ริมแม่น้ำหรือทะเลสาบ

**insulation ฉนวน**
วัสดุหุ้มอุปกรณ์ ถังบรรจุ หรือท่อ ฉนวนมีหลายประเภท เช่น ฉนวนในอาคาร ฉนวนกันเสียง ฉนวนกันไฟฟ้า ที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นฉนวนกันความร้อนที่ห่อหุ้มอุปกรณ์ ถังบรรจุ หรือท่อ เพื่อลดการถ่ายเทความร้อน ควบคุมอุณหภูมิของสารที่อยู่ภายในให้อยู่ในระดับที่กำหนด หรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน



ฉนวน

**intermediate bulk container (IBC) บรรจุภัณฑ์แบบมวลรวมขนาดกลาง (ไอบีซี)**

บรรจุภัณฑ์ขนาดกลางสำหรับบรรจุสินค้าที่เป็นของเหลวและของแข็ง อาจทำด้วยไม้ โลหะ พลาสติก หรือกระดาษ มีขนาดตั้งแต่ 700 กิโลกรัม ถึง 3,000 กิโลกรัม



บรรจุภัณฑ์แบบมวลรวมขนาดกลาง

**international commercial terms (INCOTERMS) ข้อตกลงธุรกรรมการค้าสากล (อินโคเทอม)**

ข้อตกลงธุรกรรมการค้าระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย ใช้และยอมรับกันทั่วโลก ระบุถึงสิทธิและเงื่อนไขในการส่งมอบสินค้า การโอนสิทธิครอบครองสินค้า ความรับผิดชอบต่อสินค้า การกำหนดราคาที่ซื้อขาย แบ่งออกเป็นหมวดต่างๆ ดังนี้

หมวด E :

EXW = ex works ผู้ขายขายสินค้า ณ สถานที่ของผู้ขาย

หมวด F :

FCA = free carrier ผู้ขายส่งมอบสินค้า ณ หน่วยขนส่งขั้นแรก

FAS = free alongside ผู้ขายส่งมอบสินค้า ณ ข้างเรือที่ทำการส่งออก ผู้ขายจัดการพิธีการศุลกากรในการส่งออกให้

FOB = free on board ผู้ขายส่งมอบสินค้าขึ้นบนเรือและจัดการพิธีการศุลกากรให้

หมวด C :

CFR = cost and freight ผู้ขายส่งมอบสินค้าถึงท่าเรือของผู้ซื้อ แต่สิทธิครอบครองสินค้าโอนกันตั้งแต่สินค้าขึ้นเรือแล้ว

CIF = cost, insurance and freight เหมือน CFR แต่ผู้ขายจัดการเรื่องประกันสินค้าให้กับผู้ซื้อ

CPT = carriage paid to เหมือนกับ CFR แต่ใช้กับหมวดการขนส่งอื่นนอกจากทางเรือ

CIP = carriage and insurance paid เหมือนกับ CIF แต่ใช้กับหมวดการขนส่งอื่น

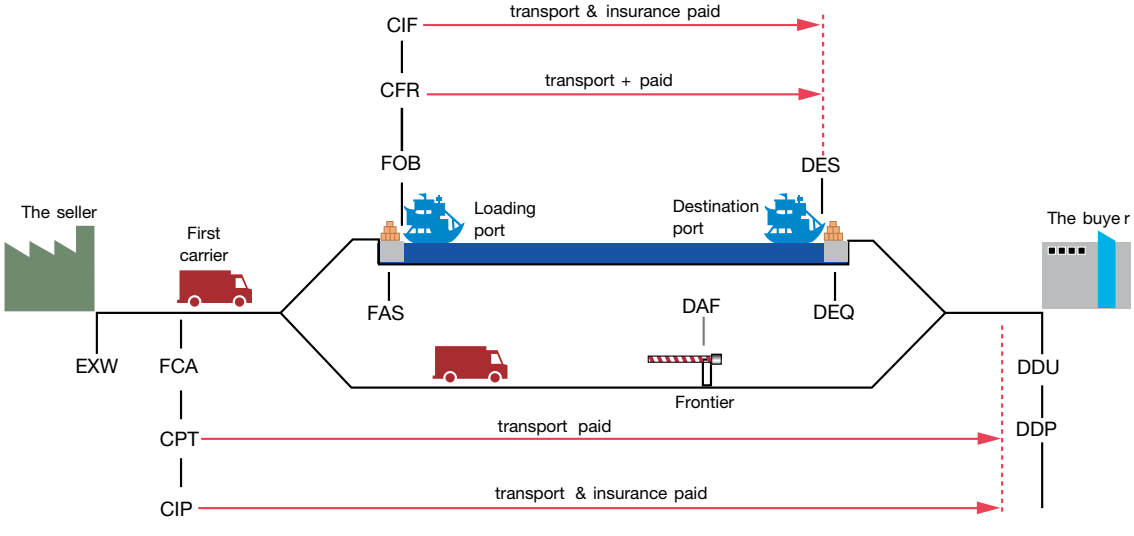
หมวด D :

DAT = delivered at terminal ผู้ขายส่งมอบสินค้าที่ปลายทาง

DAP = delivered at place ผู้ขายส่งมอบสินค้าถึงสถานที่ของผู้ซื้อ

DDU = delivered duty unpaid ผู้ขายส่งมอบสินค้าถึงสถานที่ของผู้ซื้อ แต่ผู้ซื้อรับผิดชอบเรื่องภาษีนำเข้า

DDP = delivered duty paid ผู้ขายส่งมอบสินค้าถึงสถานที่ของผู้ซื้อ รวมค่าภาษีนำเข้าด้วย




แผนภูมิแสดงข้อตกลงธุรกรรมการค้า ตำแหน่งในการโอนความรับผิดชอบ หรือสิทธิครอบครองสินค้า

**international maritime dangerous goods (IMDG) การขนส่งสินค้าอันตรายทางทะเล (ไอเอ็มดีจี)**
ข้อกำหนดของสหประชาชาติเรื่องการขนส่งสินค้าอันตรายทางทะเล มาตรฐานสากลเกี่ยวกับการจำแนกประเภทสินค้าอันตราย การกำหนดมาตรฐานถังและบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการขนส่งสินค้าอันตราย การจัดเก็บ และการแยกขนส่งสำหรับสินค้าซึ่งเข้ากันไม่ได้ จำแนกสินค้าอันตรายเป็น 9 ประเภท เช่นเดียวกับที่กำหนดในข้อแนะนำของสหประชาชาติเรื่องการขนส่งสินค้าอันตราย (ดู United Nations Recommendation on Transport of Dangerous Goods (UNRTDG))

**International Maritime Organization (IMO) องค์กรสากลในการเดินเรือทางทะเล (ไอเอ็มโอ)**
องค์กรระหว่างประเทศภายในสหประชาชาติเพื่อกำหนดแนวทางสากลในการขนส่งทางทะเล ก่อตั้งที่กรุงเจนีวาใน พ.ศ. 2491 และพัฒนาข้อกำหนดด้านความปลอดภัย สิ่งแวดล้อม กฎระเบียบ ความร่วมมือ และประสิทธิภาพของการขนส่งทางทะเล ปัจจุบันมีสำนักงานอยู่ในกรุงลอนดอน มีประเทศสมาชิกรวม 169 ประเทศ มีข้อกำหนดเกี่ยวกับการเดินเรือทะเลหลายประการที่ใช้เป็นกฎกติกาสากลและประเทศสมาชิกต้องปฏิบัติตาม เช่น SOLAS (Safety of Life at Sea), COLREGs (Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea), MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) เป็นต้น

**inventory accuracy ความแม่นยำของข้อมูลสินค้าคงคลัง**
ตัวชี้วัดสำคัญในระบบลอจิสติกส์ โดยการเปรียบเทียบข้อมูลสินค้าคงคลังที่ถูกบันทึกในระบบฐานข้อมูลกับสินค้าคงคลังที่มีอยู่จริง ข้อมูลสินค้าคงคลังที่ถูกต้องมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการวางแผน ความมั่นใจในการขายสินค้า ผลิตภาพในการทำงาน และความแม่นยำในระบบบัญชี ข้อมูลสินค้าคงคลังที่แม่นยำเกิดจากนโยบายการบันทึกข้อมูลที่ชัดเจนและวินัยในการบันทึกข้อมูล รวมถึงเทคโนโลยีสารสนเทศที่จะช่วยให้การบันทึกข้อมูลเกิดขึ้น ทันทีที่มีธุรกรรมเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของสินค้าคงคลัง

**inventory management การบริหารสินค้าคงคลัง**
การบริหารสินค้าคงคลังหรือสต็อก ซึ่งเป็นวัสดุที่ยังคงอยู่ในระบบของสถานประกอบการ วัสดุอาจเป็นวัตถุดิบ หรือวัตถุดิบแปรรูปซึ่งอยู่ในระหว่างการผลิต หรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การบริหารสินค้าคงคลังให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเป็นกิจกรรมสำคัญในระบบลอจิสติกส์ โดยพิจารณาระดับที่เหมาะสมของสินค้าคงคลังขั้นต่ำ (safety stock) และระดับที่เหมาะสมของสินค้าคงคลังเต็มตามรอบ (cycle stock) ที่เป็นผลจากปริมาณการผลิตและการขายในช่วงเวลาหนึ่งๆ ตลอดจนการเสริมทักษะในการทำงานร่วมกันของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการควบคุมระดับสินค้าคงคลังดังกล่าวให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

**isotank ถังสำหรับขนส่งทางทะเล**
ถังขนาดตั้งแต่ 16,000 ถึง 24,000 ลิตร ที่มีกรอบขนาดเท่ากับตู้สินค้าขนาด 20 ฟุต เพื่อให้สามารถจัดวางบนเรือและบนลานตู้สินค้าได้เช่นเดียวกับตู้สินค้าขนาด 20 ฟุต ออกแบบมาให้เหมาะสมกับสารเคมีเหลวและก๊าซประเภทต่างๆ ตามมาตรฐานขององค์กรสากลในการเดินเรือทางทะเล (ไอเอ็มโอ) (ดู International Maritime Organization (IMO)) ชนิดต่างๆ ดังนี้

IMO Type 0 สำหรับสินค้าในอุตสาหกรรมอาหาร (food grade)
IMO Type 1 สำหรับสารเคมีเหลวที่มีความดันไอสูง (volatile liquid) เช่น เบนซีน
IMO Type 2 สำหรับสารเคมีเหลวทั่วไป เช่น น้ำยางสังเคราะห์
IMO Type 5 สำหรับบรรจุก๊าซความดันต่ำ เช่น บิวทาไดอีน
IMO Type 7 สำหรับบรรจุก๊าซความดันสูง มาตรฐาน ASME Class VIII Division 1 เช่น ไนโตรเจน อาร์กอน ออกซิเจน

**jetty ท่าเทียบเรือ**
โครงสร้างที่ยื่นไปในทะเลหรือแม่น้ำเพื่อช่วยให้เรือเทียบท่าได้สะดวกขึ้น มีอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการจอดเรือ การขนถ่ายสินค้า อุปกรณ์ความปลอดภัย บริเวณที่มีความเสี่ยงสูง การปฏิบัติงานต้องเป็นไปตามมาตรฐานและมีบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญ



ท่าเทียบเรือ



อุปกรณ์ชี้บอกระดับในถังเก็บ

**label ฉลาก**

ข้อความระบุรายละเอียดของสินค้า เช่น ฉลากยา ฉลากสินค้าอันตราย มีรูปแบบเฉพาะและครอบคลุมเนื้อหาที่จำเป็นสำหรับสินค้าตามข้อกำหนดมาตรฐาน ตัวอย่างฉลากสินค้าอันตรายตามข้อแนะนำด้านการขนส่งสินค้าอันตรายของสหประชาชาติ เช่น ทอลิวอีน เป็นของเหลวไวไฟ ให้ใช้ฉลากสำหรับการขนส่งสินค้าอันตรายประเภทที่ 3 มีรูปไฟเป็นสัญลักษณ์อยู่ในตัวฉลาก และต้องติดฉลากบนภาชนะบรรจุสินค้า




ฉลากสินค้าอันตราย

**lead time ช่วงเวลาในการส่งมอบ, ระยะเวลาเตรียมการ**

ระยะเวลาตั้งแต่สั่งซื้อสินค้าจนกระทั่งได้รับสินค้า เช่น ช่วงเวลาในการส่งมอบลูกค้า (customer lead time) ช่วงเวลาในการส่งมอบผู้สั่งซื้อ (purchasing lead time) หรือระยะเวลาเตรียมการ เริ่มตั้งแต่สั่งทำการจนกระทั่งเสร็จสิ้น เช่น ระยะเวลาเตรียมการผลิต (production lead time) ระยะเวลาเตรียมการจัดส่ง (delivery lead time) มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบการจัดการโซ่อุปทานและลอจิสติกส์ เพื่อให้เชื่อมโยงกิจกรรมที่ต่อเนื่องเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การบริหารเวลาที่ดีจะทำให้การรอคอยกิจกรรมที่ต้องมาเชื่อมโยงลดลง เช่น การผลิตสินค้าเสร็จแล้วไม่สามารถบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ได้ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่สั่งมาไม่ทัน เป็นเพราะสั่งบรรจุภัณฑ์ช้าเกินไป เป็นต้น

**less than container load (LCL) การขนส่งสินค้าไม่เต็มตู้สินค้า (แอลซีแอล)**

การขนส่งสินค้าทางตู้สินค้าในปริมาณที่น้อยกว่าความจุตู้สินค้า หากเช่าตู้สินค้าทั้งตู้จะเสียค่าใช้จ่ายมาก ผู้ส่งออกจึงต้องเลือกวิธีการส่งออกแบบแอลซีแอล เป็นการเช่าพื้นที่เท่าที่ต้องการใช้ หน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุตหรือเป็นน้ำหนัก ผู้ดำเนินการขนส่งหรือผู้ประกอบการเรือต้องพยายามรวบรวมสินค้าที่ส่งออกไปยังท่าเรือปลายทางเดียวกันให้ได้จนเต็มตู้สินค้า เพื่อลดต้นทุนการขนส่ง

**level indicator อุปกรณ์ชี้บอกระดับในถังเก็บ**

อุปกรณ์ชี้บอกระดับสารเคมีเหลวในถังเก็บ แสดงปริมาณที่เหลืออยู่ มีทั้งแบบเครื่องมือวัดทางกลและเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น หลอดแก้วด้านข้าง (sight glass) แสดงระดับ หรืออุปกรณ์วัดโดยใช้เสียงสะท้อน (ultrasonic) เป็นต้น

**lightering การขนถ่ายสินค้าจากเรือสู่เรือ**

การถ่ายสินค้าจากเรือสู่เรือ มักเป็นการถ่ายจากเรือใหญ่ลงเรือเล็ก เพื่อให้เรือใหญ่เบาขึ้น กินน้ำลึกน้อยลง สามารถเข้าเทียบท่าเรือซึ่งเรือใหญ่ที่มีน้ำหนักบรรทุกเต็มไม่สามารถเข้าได้ หรือเป็นการถ่ายสินค้าลงเรือที่มีเส้นทางเดินเรือแตกต่างกันโดยไม่ต้องเทียบท่าเรือ



การขนถ่ายสินค้าจากเรือสู่เรือ

**load securement การรัดตรึงสินค้าบนรถขนส่ง**

การรัดตรึงสินค้าหรือบรรจุภัณฑ์ทุกหน่วยกับตัวรถให้แน่นหนา สามารถใช้เชือก เข็มขัด ผ้าใบคลุม หรือใช้ถุงอากาศ (air bag) สอดระหว่างบรรจุภัณฑ์บนรถหรือในตู้สินค้า เพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างให้บรรจุภัณฑ์ขยับได้ บรรจุภัณฑ์ที่ไม่รัดตรึงหรือรัดตรึงไม่แน่นพอ ทำให้รถบรรทุกเสียหลักจากแรงกระแทกหรือแรงเหวี่ยงของสินค้าหรือบรรจุภัณฑ์ ที่เกิดจากการเร่ง การเบรก และการเลี้ยว

**loading การบรรจุสินค้าเข้าไปในหน่วยขนส่ง**

การบรรจุสินค้าขึ้นรถหรือลงเรือก่อนการขนส่ง ขั้นตอนและวิธีการบรรจุสินค้าขึ้นกับชนิดของสินค้า และชนิดของรถหรือเรือ การบรรจุสินค้าชนิดก๊าซหรือสารเคมีเหลวในรูปแบบมวลรวม (bulk) ในปริมาณมากลงเรือบรรทุกสินค้าใช้ระบบท่อ การบรรจุสินค้าประเภทบรรจุภัณฑ์ เช่น สารเคมีเหลวในถังขนาด 200 ลิตร หรือเม็ดพลาสติกในถุงขนาด 25 กิโลกรัม ใช้รถยกทั้งพาเลต (ดู pallet) ขึ้นสู่รถขนส่ง

**loading arm แขนกลจ่ายสารเคมีเหลว**

ท่อสำหรับจ่ายสินค้าที่เป็นสารเคมีเหลว รูปร่างเหมือนแขนกล เพื่อสูบถ่ายสารเคมีเหลวบรรจุในถังรถขนส่ง ช่วยผ่อนแรงพนักงานไม่ต้องยกหัวจ่ายซึ่งมีน้ำหนักมาก การออกแบบแขนกลต้องให้พอดีกับระยะและความสูงของจุดจ่ายสินค้าของรถขนส่ง ทำงานพร้อมๆ กันได้หลายแขน



แขนกลจ่ายสารเคมีเหลว



การรัดตรึงสินค้าบนรถขนส่ง

**loading hose ท่ออ่อนจ่ายสารเคมีเหลว**
ท่อต่อสำหรับจ่ายสินค้าที่เป็นสารเคมีเหลวระหว่างถังเก็บกับหน่วยขนส่ง (รถหรือเรือ) ท่อมีความอ่อนตัวทำให้ปรับเข้ากับระยะและความสูงของข้อต่อ (ดู drybreak coupling) หรือหน้าแปลน (ดู flange) ได้ดี การเลือกวัสดุที่ใช้ทำท่อบรรจุต้องให้เข้ากันกับสารเคมีที่กำลังขนถ่าย มีทั้งที่ทำจากยางสังเคราะห์เส้นเหล็กกล้าไร้สนิมสานกันและอื่นๆ

**loose bag การจัดวางสินค้าชนิดถุงแบบเรียงกอง**
การจัดเรียงสินค้าประเภทถุงในรถหรือตู้สินค้าแบบเรียงต่อกันโดยไม่ใช้พาเลต (ดู pallet) มักใช้กับสถานที่ซึ่งไม่มีอุปกรณ์ขนย้าย เช่น รถยก (forklift) จึงต้องใช้แรงงานขึ้นเรียงสินค้าที่สถานีของผู้ส่งสินค้า และใช้แรงงานขนสินค้าลงจากรถหรือตู้สินค้าที่สถานีของผู้รับสินค้าใช้ เมื่อสินค้ามีน้ำหนักไม่มาก ต้นทุนแรงงานถูกกว่าการใช้เครื่องจักร บรรจุในรถหรือตู้สินค้าได้มากกว่าการใช้พาเลต


การจัดวางสินค้าชนิดถุงแบบเรียงกอง

**manhole ช่องลงซ่อมบำรุง**
ช่องเปิดของถังเก็บและถังสำหรับการขนส่งประเภทสารเคมีเหลวมีขนาดกว้างพอให้เจ้าหน้าที่ลงไปตรวจสอบหรือซ่อมบำรุงได้ เช่น ล้าง ซ่อมแซม ช่องลงซ่อมบำรุงของถังเก็บมักอยู่ทั้งด้านบนและด้านข้าง ส่วนถังสำหรับการขนส่งมักอยู่ด้านบน


ช่องลงซ่อมบำรุง

**manifold ท่อร่วม**
จุดเชื่อมต่อท่อขนถ่ายสินค้าประเภทสารเคมีเหลวและก๊าซระหว่างเรือและท่าเรือ หรือระหว่างรถและสถานีขนถ่ายสินค้า สำหรับการขนถ่ายสินค้าจากเรือและท่าเรือ มีท่อร่วมเชื่อมต่อ 2 ตำแหน่ง คือ บนเรือและบนท่าเรือ โดยมักมีหลายชุดวางเรียงกันเป็นแถว


ท่อร่วม

**marking การทำสัญลักษณ์**
การทำสัญลักษณ์เพื่อสื่อสารข้อมูลในระบบลอจิสติกส์และการขนส่ง เช่น รหัสการขนส่งสินค้าอันตรายที่ต้องติดบนตัวถังบรรจุสารเคมี สัญลักษณ์บนถังหรือบรรจุภัณฑ์ เพื่อระบุว่าเป็นถังหรือบรรจุภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานเหมาะสำหรับใช้ขนส่งสารเคมี สัญลักษณ์นี้ต้องแสดงให้เห็นได้ชัดเจน (ดู placard ประกอบ)

**mode of transport รูปแบบการขนส่ง**
การขนส่งสินค้าหลายรูปแบบ ได้แก่ การขนส่งทางท่อ การขนส่งทางถนน การขนส่งทางรถไฟ (ดู rail transport) การขนส่งทางทะเล การขนส่งทางน้ำ (ดู inland waterway) การขนส่งทางอากาศ แต่ละรูปแบบต้องใช้หน่วยขนส่งที่เหมาะสม เช่น รถบรรทุก รถไฟ เรือ เครื่องบิน เป็นต้น การเลือกใช้รูปแบบการขนส่งที่เหมาะสมมีปัจจัยพิจารณา ได้แก่ ชนิดของสินค้า ปริมาณที่ขนส่ง การเข้าถึงระบบการขนส่งในรูปแบบต่างๆ ต้นทุนในการขนส่ง ความสะดวกของผู้ส่งสินค้าและผู้รับสินค้า เป็นต้น

**multimodal transport การขนส่งหลายรูปแบบ**
การขนส่งสินค้าจากผู้ส่งสินค้าต้นทางไปยังผู้รับสินค้าปลายทาง ซึ่งต้องอาศัยรูปแบบการขนส่งมากกว่าหนึ่งรูปแบบ ตัวอย่าง เช่น การขนส่งสไตรีนมอนอเมอร์แบบมวลรวม จากแหล่งผลิตในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดไปยังโรงงานผู้รับสินค้าประเทศเวียดนาม เริ่มต้นจากการขนส่งทางท่อจากโรงงานไปยังถังเก็บที่ท่าเรือมาบตาพุด ขนถ่ายลงเรือสินค้าสารเคมีเหลว (bulk chemical tanker) ไปยังท่าเรือในประเทศเวียดนาม ขนส่ง

ผ่านท่อจากเรือไปยังถังเก็บในบริเวณท่าเรือ ขนถ่ายจากถังลงรถบรรทุกไปส่งยังโรงงานผู้ใช้สไตรีนมอนอเมอร์ ขนถ่ายจากรถไปยังถังเก็บที่โรงงานผู้รับปลายทาง การขนส่งหลายรูปแบบประกอบด้วย 1) หน่วยขนส่งในรูปแบบต่างๆ เช่น ท่อ รถ เรือ 2) สถานีและอุปกรณ์เพื่อเปลี่ยนผ่านรูปแบบการขนส่ง เช่น ท่าเรือ สถานีรถ 3) อุปกรณ์เพื่อจัดเก็บสินค้าที่สถานีเปลี่ยนผ่าน เช่น ถังเก็บ เป็นต้น

**nitrogen padding การแทนที่อากาศด้วยไนโตรเจน**
การเติมไนโตรเจนแทนที่อากาศในช่องว่างในถังเก็บสารเคมีบางชนิดที่อาจทำปฏิกิริยากับอากาศ หรือเกิดไอระเหยสะสม ซึ่งเมื่อผสมกับอากาศอาจเกิดส่วนผสมที่ทำให้เกิดการระเบิด ลดความเสี่ยงในการเกิดปฏิกิริยาหรือเกิดไอผสมอากาศ ที่อาจเกิดการระเบิดได้

**non destructive testing (NDT) การทดสอบแบบไม่ทำลาย (เอ็นดีที)**
การทดสอบอุปกรณ์ ภาชนะบรรจุ และท่อ เพื่อรับรองว่ามีความแข็งแรงและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด การทดสอบแบบไม่ทำลายประกอบด้วย การทดสอบโดยใช้คลื่นเสียง (ultrasonic) การทดสอบโดยใช้ผงแม่เหล็ก (magnetic-particle) การทดสอบโดยการซึมของน้ำสี (liquid penetrant) การทดสอบโดยคลื่นวิทยุหรือรังสีเอกซ์



การทดสอบแบบไม่ทำลาย

**notice of readiness ใบแจ้งความพร้อมเข้าเทียบท่า**
เอกสารที่เรือสินค้าซึ่งเดินทางมาถึงท่าเรือจัดทำขึ้น สำหรับส่งให้ท่าเรือและผู้รับสินค้าเพื่อแจ้งถึงความพร้อมของเรือ เพื่อให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องเตรียมการต่างๆที่จำเป็นสำหรับการรับสินค้าจากเรือ ในทางพาณิชย์ การแจ้งความพร้อมของเรือเป็นการเริ่มต้นนับเวลาที่ผู้เกี่ยวข้องจะต้องเตรียมการ และต้องเริ่มกระบวนการรับสินค้าจากเรือตามระยะเวลาที่กำหนดในสัญญา หากเกินจากระยะเวลาที่กำหนดและยังไม่พร้อมที่จะรับสินค้าจากเรือ อาจเป็นเหตุให้เรือเรียกร้องค่าเสียเวลาเรือได้

**on-time delivery การส่งมอบตรงเวลา**
การส่งมอบสินค้าของผู้ขายสินค้าแก่ลูกค้า ตัวชี้วัดที่สำคัญเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการจัดการในระบบโซ่อุปทานและลอจิสติกส์ของผู้ขายสินค้า วัดเป็นอัตราส่วนหรือร้อยละของจำนวนคำสั่งซื้อของลูกค้าที่ผู้ขายสินค้าสามารถส่งมอบได้ตรงเวลา เทียบกับจำนวนคำสั่งซื้อทั้งหมดในช่วงเวลาที่กำลังพิจารณา เช่น ในเดือนหนึ่งมีคำสั่งซื้อจากลูกค้า 1,000 รายการ สามารถส่งมอบได้ตรงเวลา 985 รายการ ประสิทธิภาพการส่งมอบสินค้าให้ตรงเวลาคือ ร้อยละ 98.5 สามารถนำข้อมูลไปจัดทำโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการส่งมอบสินค้า เพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้า ทำให้ลูกค้ามีความมั่นใจมากขึ้นในการจัดทำแผนการผลิต นอกจากนี้ ยังทำให้ลูกค้าลดต้นทุนการจัดเก็บวัตถุดิบลงได้ เนื่องจากสามารถลดสินค้าคงคลังสำรองเพื่อรองรับความไม่แน่นอน (safety stock) ลงได้

**open top drum ถังแบบฝาเปิดด้านบน**
ถังที่มีฝาเปิดด้านบนเพื่อเติมสารหรือถ่ายเทสารออกจากถัง มักใช้กับสารเคมีเหลวที่มีความหนืดสูง (high viscosity) สารที่เป็นผง (powder) หรือสารแขวนลอย (emulsion) จำเป็นต้องผสม (mix) หรือกวน (stir) เพื่อให้สารเป็นเนื้อเดียวกันและได้คุณภาพสินค้าตามต้องการ การใช้ถังฝาเปิดด้านบนทำให้ทำงานได้สะดวก



ถังแบบฝาเปิดด้านบน

**optimization การจัดการที่เหมาะสมที่สุด**
การจัดการให้เกิดความเหมาะสมที่สุดภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ ในการปฏิบัติงาน ซึ่งมักจะมีวัตถุประสงค์ที่ตรงข้ามกัน เช่น การให้บริการลูกค้าให้ดีที่สุด ในขณะที่ต้องการลดต้นทุนให้ต่ำที่สุด การสร้างจุดพอเหมาะระหว่างการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ (product mix) กับการผลิตอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้คุณภาพคงที่ เป็นต้น

**overflow เกินความต้องการ**
สินค้าที่นำส่งมีปริมาณมากกว่าความจุของถังเก็บ ไม่สามารถรองรับสินค้าส่วนเกินได้ อาจต้องนำไปส่งที่อื่น ในทางปฏิบัติอาจทำให้สินค้าล้นถังเก็บและไหลล้นออกมา ทำให้เกิดความเสี่ยงหากเป็นสินค้าอันตราย

**overturn protection แนวป้องกันอุปกรณ์บนถังรถขนส่ง**
การออกแบบส่วนบนของถังบนรถขนส่ง ให้เป็นขอบตลบทับที่สูงกว่าระดับความสูงของอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ส่วนบนของถังโดยรอบ เช่น ช่องเปิด วาล์วนิรภัย มาตรวัดระดับ เป็นต้น จัดทำขึ้นเพื่อปกป้องอุปกรณ์เหล่านั้นไม่ให้ถูกกระแทกหรือกดทับหากเกิดอุบัติเหตุรถพลิกคว่ำ ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ดังกล่าว และทำให้สินค้ารั่วไหลออกมา



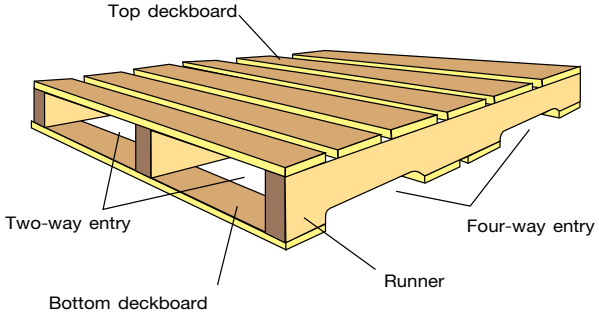
แนวป้องกันอุปกรณ์บนถังรถขนส่ง

**packaging การบรรจุหีบห่อ, บรรจุภัณฑ์**
ภาชนะบรรจุที่มีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กๆ ไปจนถึงขนาด 3,000 ลิตร ในความหมายของการขนส่งสินค้าอันตรายตามข้อแนะนำของสหประชาชาติ หากมีความจุมากกว่า 3,000 ลิตร เรียกว่า ถัง บรรจุภัณฑ์อาจทำจากวัสดุหลายชนิด เช่น กระดาษ ไม้ พลาสติก เหล็ก โลหะอื่นๆ มีรูปร่างต่างๆ กัน ออกแบบให้เหมาะสมกับการรักษาคุณภาพสินค้า การจัดเก็บและการขนส่ง โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้เกี่ยวข้อง



บรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่จัดเก็บในคลังสินค้า

**pallet แท่นรองสินค้า, พาเลต**
อุปกรณ์สนับสนุนการขนย้ายและจัดเก็บสินค้าให้เป็นไปอย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ ลดความเสียหายของสินค้า มีขนาดต่างๆ ตามความเหมาะสมกับขนาดสินค้าและการใช้งาน พาเลตมาตรฐานที่ใช้กันมากที่สุดมีขนาด 100 x 120 x 15 เซนติเมตร มาตรฐานยุโรปมีขนาด 80 x 120 x 15 เซนติเมตร มาตรฐานญี่ปุ่นมีขนาด 110 x 110 x 15 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้ทำพาเลตอาจทำจากไม้ พลาสติก เหล็ก กระดาษ มีการออกแบบเพื่อให้ใช้ร่วมกับอุปกรณ์สำหรับขนย้าย เช่น รถยก (forklift truck) หรืออุปกรณ์ยกด้วยมือ (handlift) มีความแข็งแรงรองรับสินค้าได้ประมาณ 1.5 ตัน สามารถจัดวางเรียงบนพื้นคลังสินค้า วางซ้อนทับ วางเรียงบนชั้นวางสินค้า (rack) จัดวางในตู้สินค้าหรือรถขนส่ง




แท่นรองสินค้า, พาเลต

เครื่องจัดเรียงบนพาเลต

**palletizer เครื่องจัดเรียงบนพาเลต**
อุปกรณ์จัดเรียงบรรจุภัณฑ์บนพาเลต (ดู pallet) เพิ่มความรวดเร็วและความถูกต้องในการปฏิบัติงาน ตลอดจนลดภาวะอันตรายจากการยกของหนักของคนงาน ออกแบบให้สามารถจัดเรียงได้หลายแบบ ขึ้นกับชนิดและขนาดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้

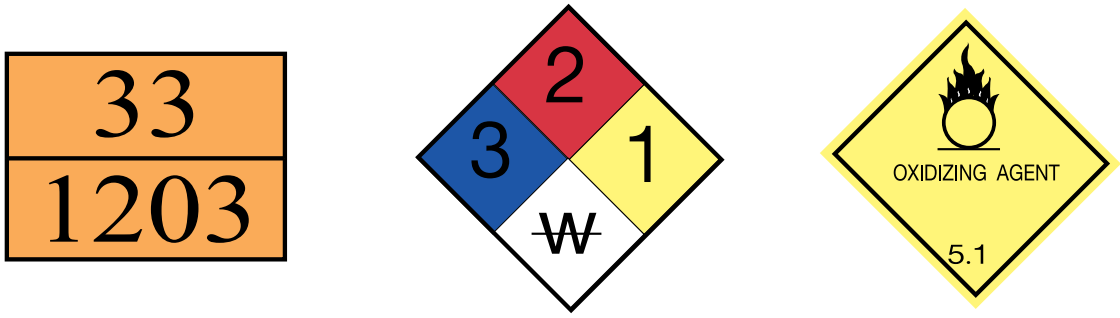
**perfect order คำสั่งซื้อของลูกค้าที่สมบูรณ์**
คำสั่งซื้อของลูกค้าที่ได้รับการตอบสนองอย่างสมบูรณ์ มีการจัดการเพื่อตอบสนองความต้องการให้มีความถูกต้องทุกประการ ได้แก่ การส่งมอบสินค้าตามคำสั่งซื้อได้อย่างถูกต้อง ทั้งชนิดของสินค้า จำนวนสินค้า เวลาส่งมอบ ชื่อผู้รับ สถานที่จัดส่ง และเอกสารนำส่ง ตัวชี้วัดสำคัญด้านประสิทธิภาพการจัดการลอจิสติกส์ ทำให้สามารถลดต้นทุนลอจิสติกส์ของโซ่อุปทานทั้งกระบวนการ

**pipeline ท่อขนส่งลำเลียง**
ท่อสำหรับขนส่งสินค้าสารเคมีเหลวและก๊าซปริมาณมากที่มีประสิทธิภาพสูง ปลอดภัย ใช้ขนส่งได้ทั้งบนบกและในทะเล เป็นระยะทางหลายพันกิโลเมตร โดยเฉพาะจากบริเวณที่ทุรกันดาร หรือมีภูมิอากาศที่เลวร้าย อุตสาหกรรมปิโตรเคมีใช้การขนส่งทางท่อเป็นหลักในการขนถ่ายทั้งวัตถุดิบและสินค้าจำนวนมาก จากโรงงานหนึ่งไปยังอีกโรงงานหนึ่ง มีหลายขนาดและทำจากวัสดุที่เหมาะสมกับสารเคมีที่ขนส่ง



ท่อขนส่งลำเลียง

**placard ป้ายปิดเพื่อสื่อสารข้อมูลสินค้า**
สัญลักษณ์และข้อความติดข้างรถขนส่งหรือถังเก็บสารเคมีเพื่อสื่อสารข้อมูลของสินค้าและข้อความอื่นๆ ที่จำเป็น ได้แก่ ประเภทของสินค้า ประเภทของวัตถุอันตราย สัญลักษณ์หมายเลขติดต่อเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงเห็น และสามารถสื่อสารข้อความบนรถให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตามที่ระบุข้อความไว้ในป้ายดังกล่าว (ดู globally harmonized system for classification and labeling of chemicals (GHS), hazard classification ประกอบ)




ตัวอย่างป้ายของสารเคมีที่มีอันตราย



**port of destination ท่าเรือปลายทางผู้รับสินค้า**
ท่าเรือที่ผู้รับสินค้าระบุให้เป็นท่าเรือปลายทาง เพื่อให้เรือทราบว่าจะต้องนำส่งสินค้าที่ท่าเรือใด มักถูกระบุในเงื่อนไขการซื้อขายที่เป็นการส่งมอบสินค้าปลายทาง เช่น การซื้อขายผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีแบบ CFR หรือ CIF (ดู international commercial terms ประกอบ) จะระบุท่าเรือปลายทางด้วย

**port of shipment ท่าเรือต้นทางผู้ส่งสินค้า**
ท่าเรือต้นทางของการขนส่งสินค้าทางเรือ มักถูกระบุในเงื่อนไขการซื้อขาย เช่น การซื้อขายสินค้าปิโตรเคมีจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดที่เงื่อนไขการขายเป็นแบบ FOB (ดู international commercial terms ประกอบ) จะระบุว่าท่าเรือต้นทางเป็นท่าเรือมาบตาพุด เป็นต้น

**product stewardship การดูแลตลอดอายุผลิตภัณฑ์**
การดูแลผลิตภัณฑ์เคมีเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การออกแบบผลิตภัณฑ์โดยหลีกเลี่ยงการใช้สารอันตรายทำให้สามารถมีอายุการใช้งานได้นานขึ้น สามารถนำกลับมาใช้ใหม่รวมถึงนำกลับมาผลิตใหม่ได้ การผลิต ตลอดจนการรับผิดชอบต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการต้องกำจัดกากของเสียจากผลิตภัณฑ์ หนึ่งในหกมาตรการของกฎบัตรการดูแลด้วยความรับผิดชอบ (ดู responsible care) ของสมาคมเคมีนานาชาติ

**PULL strategy กลยุทธ์โซ่อุปทานที่ยึดความต้องการของลูกค้าเป็นหลัก**
การจัดการโซ่อุปทานโดยเติมเต็มความต้องการของลูกค้า ไม่ว่าจะเป็นกำหนดเวลาผลิตหรือจัดหาให้ตรงตามระยะเวลา การส่งมอบสินค้าซึ่งเป็นตัวกำหนดแผนการขนส่ง เชื่อมโยงไปถึงความต้องการด้านการบรรจุ บรรจุภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์จากคลังสินค้า การเติมเต็มคลังสินค้า ความต้องการในการผลิต วัตถุดิบ การเติมเต็มวัตถุดิบ และการสั่งซื้อวัตถุดิบ มีผลต่อเนื่องกับความต้องการภายในองค์กร โดยเริ่มต้นจากความต้องการในการส่งมอบสินค้าของลูกค้า ข้อดีคือ สามารถลดการจัดเก็บสินค้าคงคลังทั้งระบบลง การหมุนเวียนของวัตถุดิบและสินค้าเร็วขึ้น แต่มีข้อเสียคือ อาจใช้กำลังการผลิตและทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ และประสิทธิภาพการส่งมอบสินค้าลดลง

**PUSH strategy กลยุทธ์โซ่อุปทานที่ยึดการใช้ทรัพยากรเป็นหลัก**
การจัดการโซ่อุปทานโดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เต็มศักยภาพ ได้แก่ การใช้วัตถุดิบ การใช้กำลังการผลิตที่มีอยู่ให้เต็มที่เพื่อลดต้นทุนการผลิต ข้อดีคือ การใช้ประสิทธิภาพของทรัพยากรที่มีอยู่อย่างเต็มที่ สามารถลดต้นทุนการผลิต แต่มีข้อเสียคือ อาจมีสินค้าคงคลังหมุนเวียนช้า หากการวางแผนโซ่อุปทานไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ และอาจมีสินค้าคงคลังเหลือมาก หากการจัดการการตลาดและการขายไม่ทันกับกำลังการผลิต ทำให้เกิดความสูญเสียเรื่องสินค้าคงคลังและเพิ่มต้นทุนลอจิสติกส์ขององค์กร

**quick coupling ข้อต่อแบบติดตั้งเร็ว**
ข้อต่อปลายท่อที่ใช้สำหรับขนถ่ายสารเคมีเหลว สามารถสวมหรือติดตั้งได้อย่างรวดเร็ว และบางชนิดมีวาล์วชนิดปิดอย่างรวดเร็วเมื่อถูกถอดออกจากกัน เป็นข้อต่อเพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารเคมีเหลวที่บริเวณสถานีขนถ่ายสินค้าลงรถบรรทุกหรือขนถ่ายจากรถบรรทุกเข้าสู่ถังเก็บ สามารถลดการรั่วไหลของสารเคมีที่บริเวณข้อต่อขณะขนถ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หน้าแปลน (ดู flange) ในการเชื่อมต่อท่อ สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการรั่วไหลของสารเคมี



ข้อต่อแบบติดตั้งเร็ว




การขนส่งทางรถไฟและเชื่อมโยงกับการขนส่งทางรถบรรทุก

**radio frequency identification (RFID) การระบุรหัสข้อมูลสินค้าโดยระบบความถี่วิทยุ (อาร์เอฟไอดี)**

การระบุข้อมูลสินค้าเป็นรหัสโดยใช้สัญญาณความถี่วิทยุ สามารถบันทึกข้อมูลได้มากกว่าระบบบรหัสแท่งหรือบาร์โค้ด (bar code) รับส่งข้อมูลได้รวดเร็วกว่า ในพื้นที่กว้างกว่า ได้รับความนิยมมากขึ้นในระบบลอจิสติกส์ เพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน เพิ่มความถูกต้องและรวดเร็ว สามารถติดตามสถานะของสินค้าหรือติดตามการปฏิบัติงานได้อย่างรวดเร็ว อาจติดอยู่ที่ตัวสินค้า บรรจุภัณฑ์ หรือรถขนส่ง ขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน สามารถเชื่อมโยงข้อมูลจากจุดบันทึกหน้างานไปยังศูนย์กลางเพื่อประมวลและวิเคราะห์ข้อมูล




การระบุรหัสข้อมูลสินค้าโดยระบบความถี่วิทยุ

**rail transport การขนส่งทางรถไฟ**

การขนส่งสินค้าทางบกรูปแบบหนึ่ง สามารถขนส่งได้คราวละมากๆ เช่น การขนส่งตู้สินค้าได้คราวละ 40 ตู้สินค้า เป็นต้น มีความปลอดภัยจากอุบัติเหตุทางถนน ลดมลพิษ และประหยัดพลังงาน แต่มีข้อจำกัดที่การขนส่งทำได้เฉพาะพื้นที่ที่มีรางรถไฟผ่าน จึงต้องเชื่อมโยงกับการขนส่งรูปแบบอื่นทั้งต้นทางและปลายทาง ต้องมีสถานีจัดเก็บสินค้าเพื่อรอขบวนรถไฟ มีอุปกรณ์ขนย้ายสินค้า จำเป็นต้องมีการจัดการลอจิสติกส์ที่ดี รวมถึงการวางแผน การประสานงานขนส่ง การจัดเตรียมอุปกรณ์ และอื่นๆ หากไม่มีความพร้อมในการจัดการลอจิสติกส์จะไม่มีประสิทธิภาพ ไม่สามารถแข่งขันกับการขนส่งทางรถบรรทุกได้

**reconditioned drum ถังนำกลับมาปรับปรุงสภาพ, ถังมือสอง**

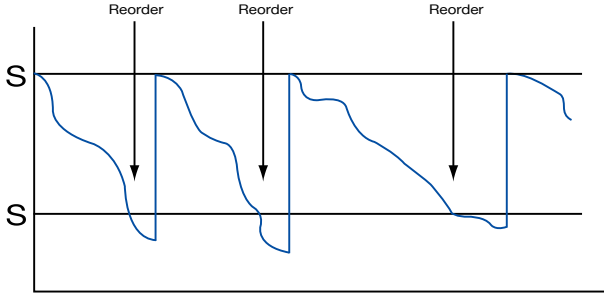
ถังมือสองหรือถังที่นำกลับมาปรับปรุงสภาพจนสามารถใช้งานได้อีก ใช้ในการบรรจุสารเคมีเหลวลงในบรรจุภัณฑ์ชนิดถังเหล็ก นิยมใช้เนื่องจากราคาถูกกว่าถังใหม่ โดยผู้ผลิตนำถังเก่ามาตรวจสอบสภาพ และแก้ไขจุดที่ชำรุด เช่น ปรับสภาพรอยบุบ ปรับสภาพตามรอยตะเข็บก้นถัง ทาสี เป็นต้น ทำให้สภาพของถังดูเหมือนถังใหม่ แต่มักเกิดปัญหาสารเคมีรั่วไหลตามรอยตะเข็บ

**registration, evaluation, authorization and restriction of chemicals (REACH) ระเบียบสารเคมีของสหภาพยุโรป (รีช)**

การควบคุมการใช้สารเคมีโดยคณะกรรมาธิการสหภาพยุโรป โดยกำหนดให้มีการดำเนินการ 4 ด้าน ต่อไปนี้

1. การจดทะเบียน (registration) โดยยื่นเสนอข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติของสารเคมี อันตรายและพิษต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม รวมถึงประเมินความเสี่ยงของการใช้สารเคมีนั้นด้วย เพื่อให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมมีข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีที่ตนผลิตและใช้ผลิตสินค้าและใช้ข้อมูลเหล่านั้นในการจัดการสารเคมีเพื่อความปลอดภัย
2. การตรวจสอบและประเมิน (evaluation) รายงานการศึกษาถึงอันตรายและความเสี่ยงในการผลิตและใช้สารเคมีที่ผู้ยื่นจดทะเบียนเสนอ เพื่อให้แน่ใจได้ว่ามีข้อมูลและใช้ข้อมูลนั้นจัดการสารเคมีในกระบวนการผลิตหรือใช้อย่างปลอดภัย
3. การอนุญาต (authorization) การขออนุญาตผลิตหรือใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายมาก (very high concern) อย่างมีเงื่อนไข เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม
4. การจำกัดการผลิต (restriction) การใช้ หรือจำหน่ายสารที่เป็นอันตรายมาก เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้สารนั้นด้วยเหตุผลทางสังคมและเศรษฐกิจ และผู้ประกอบการไม่สามารถหาสารหรือวิธีอื่นที่เหมาะสมมาใช้แทน

**reorder point เวลาที่ต้องสั่งซื้อ**
กำหนดเวลาที่ต้องสั่งซื้อวัตถุดิบ วัสดุ หรือสินค้า พิจารณาจากระยะเวลาเตรียมการ (ดู lead time) ตามที่ตกลงกับผู้ส่งมอบ มีความสำคัญต่อระบบการจัดการโซ่อุปทานและลอจิสติกส์ เพราะมีผลกระทบต่อการเติมเต็มวัตถุดิบ วัสดุหรือสินค้าให้ทันเวลาที่ต้องการ และยังมีผลต่อระดับสินค้าคงคลังที่จัดเก็บด้วย การสั่งซื้อก่อนเวลาอันควรทำให้มีสินค้าคงคลังเก็บไว้มาก การสั่งซื้อช้ากว่าเวลาอันควรทำให้สินค้าคงคลังไม่เพียงพอต่อการผลิตหรือการขาย สามารถระบุเป็นระดับสินค้าคงคลังที่ต้องสั่งให้มีการเติมสินค้า การกำหนดที่ถูกต้องมาจากกระบวนการวางแผนโซ่อุปทานที่ดี โดยคำนวณจากปริมาณสินค้าคงคลังที่จะถูกใช้ไปในช่วงเวลาในการส่งมอบสินค้า (ดู lead time) บวกกับระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำ (safety stock)



กราฟตัวอย่างการคำนวณเวลาที่ต้องสั่งซื้อ

**responsible care การดูแลด้วยความรับผิดชอบ**
ข้อตกลงร่วมกันซึ่งเกิดจากความคิดริเริ่มของกลุ่มอุตสาหกรรมเคมี เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงาน ต่อสุขภาพและต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการสื่อสารเกี่ยวกับกระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้ และการจัดการสารเคมีที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยหมวดการจัดการ 6 หมวด (management practice code) ได้แก่

1) การตระหนักของชุมชนและการตอบสนองเหตุฉุกเฉิน (community awareness & emergency response)
2) ความปลอดภัยของกระบวนการ (process safety)
3) สุขภาพและความปลอดภัยของลูกจ้าง (employee health & safety)
4) การป้องกันภาวะมลพิษ (pollution prevention)
5) การจัดจำหน่าย (distribution)
6) การดูแลตลอดอายุผลิตภัณฑ์ (product stewardship)


สัญลักษณ์ของการดูแลด้วยความรับผิดชอบ

**safety and quality assessment system (SQAS) ระบบการประเมินความปลอดภัยและคุณภาพ (เอสคิวเอเอส)**
ระบบที่ใช้ประเมินผู้ประกอบการเกี่ยวกับการขนส่งและการจัดเก็บสารเคมี ได้แก่ ผู้ให้บริการขนส่ง ผู้ให้บริการคลังสินค้า ผู้ให้บริการขนส่งทางรถไฟ ผู้ให้บริการล้างถัง และผู้ให้บริการกระจายสินค้า ระบบการประเมินริเริ่มโดยสภาอุตสาหกรรมเคมีแห่งสหภาพยุโรป (ดู European Chemical Industry Council (CEFIC)) เพื่อให้การประเมินโดยผู้ผลิตเคมีภัณฑ์มีมาตรฐานเดียวกัน ประกอบด้วยแบบสอบถามสำหรับฝ่ายจัดการและฝ่ายปฏิบัติการของผู้ให้บริการ ผลการประเมินเป็นคะแนน และข้อแนะนำในการปรับปรุงการปฏิบัติงานสามารถลดงานและเวลาของทั้งผู้ผลิตและผู้ให้บริการ ซึ่งมักมีผู้ผลิตหลายรายต้องการประเมินผู้ให้บริการรายเดียวกัน ทำให้ไม่ต้องทำการประเมินหลายครั้ง

**safety audit การตรวจสอบระบบความปลอดภัย**
การประเมินความเสี่ยง ตรวจสอบอุปกรณ์ ตรวจสอบระบบตรวจสอบเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงาน ตรวจสอบบันทึกการปฏิบัติงานจริง โดยเปรียบเทียบกับข้อกำหนดหรือมาตรฐานความปลอดภัย การตรวจสอบระบบความปลอดภัยทั้งในด้านการจัดการและการปฏิบัติงาน การตรวจสอบระบบความปลอดภัยอาจอยู่ในรูปแบบของรายการตรวจทาน (checklist) เพื่อครอบคลุมทุกประเด็นที่สำคัญและทำให้การตรวจสอบเป็นมาตรฐานเดียวกัน เมื่อตรวจสอบระบบความปลอดภัยแล้วจะต้องกำหนดมาตรการปรับปรุงหรือแก้ไขในประเด็นที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือมาตรฐาน เป็นกิจกรรมลอจิสติกส์ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งมีความเสี่ยงจากการขนส่ง ขนย้าย จัดเก็บ อาจทำให้เกิดอันตรายร้ายแรงจากผลกระทบของการรั่วไหลของสารเคมีอันตราย

**safety data sheet (SDS) ข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี (เอสดีเอส)**
เอกสารที่ผู้ผลิต ผู้นำเข้าสารเคมีอันตราย ต้องจัดทำเป็นคู่มือความปลอดภัย เพื่อสื่อสารความเป็นอันตรายของสารเคมีให้แก่ผู้ใช้และผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ เช่น ผู้ขนส่ง ผู้จัดเก็บรักษา เจ้าหน้าที่กู้ภัยและแพทย์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่กำกับดูแลเกี่ยวกับการใช้และการขนส่งสารเคมี ข้อมูลความปลอดภัยสารเคมีที่เป็นมาตรฐานตามระบบจำแนกและสื่อสารสารเคมีให้เป็นระบบเดียวกันทั่วโลก (ดู globally harmonized system for classification and labeling of chemicals (GHS)) ประกอบด้วยรายละเอียดของข้อมูล 16 หมวด ได้แก่

1. การระบุว่าเป็นสารเดี่ยวหรือสารผสมและผู้ผลิต (identification of the substance or mixture and of the supplier)
2. การบ่งชี้ความเป็นอันตราย (hazardous identification)
3. องค์ประกอบและข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม (composition/information on ingredients)
4. มาตรการปฐมพยาบาลเบื้องต้น (first-aid measures)
5. มาตรการผจญเพลิง (fire fighting measures)
6. มาตรการการจัดการเมื่อมีการหกและรั่วไหลของสารเมื่อเกิดอุบัติเหตุ (accidental release measures)
7. การขนถ่าย เคลื่อนย้าย ใช้งาน และเก็บรักษา (handling and storage)
8. การควบคุมการรับสัมผัสและการป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (exposure controls/personal protection)
9. สมบัติทางกายภาพและทางเคมี (physical and chemical properties)
10. ความเสถียรและการเกิดปฏิกิริยา (stability and reactivity)
11. ข้อมูลด้านพิษวิทยา (toxicological information)
12. ข้อมูลผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (ecological information)
13. ข้อพิจารณาในการกำจัด (disposal considerations)
14. ข้อมูลการขนส่ง (transport information)
15. ข้อมูลเกี่ยวกับกฎข้อบังคับ (regulatory information)
16. ข้อมูลอื่น (other information)

**safety stock สินค้าคงคลังขั้นต่ำ**
ปริมาณสินค้าคงคลังสำรองในแผนลอจิสติกส์ ณ เวลาที่เติมสินค้าในอนาคต เพื่อรองรับความไม่แน่นอนของอุปสงค์ (demand) หรือการขาย และอุปทาน (supply) หรือการผลิต/การจัดซื้อ ในช่วงเวลาในการส่งมอบ (ดู lead time) ความไม่แน่นอนของอุปสงค์พิจารณาจากความแม่นยำในการพยากรณ์การขาย (sales forecast accuracy) ด้านอุปทานการผลิต/การจัดซื้อ พิจารณาจากอัตราการส่งมอบตรงเวลา (on time delivery) การตั้งเป้าหมายสินค้าคงคลังขั้นต่ำได้เหมาะสม ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพทั้งต้นทุนลอจิสติกส์และการให้บริการลูกค้า

**sales and operations planning (S&OP) การวางแผนร่วมกันของฝ่ายขายและฝ่ายปฏิบัติการ (เอสแอนด์โอพี)**
การวางแผนร่วมกันของฝ่ายที่เป็นตัวแทนของอุปสงค์ (demand) หรือการขาย และอุปทาน (supply) ของสถานประกอบการ เพื่อกำหนดแผนการขาย แผนการผลิต และแผนสินค้าคงคลังในระยะเวลา 1-3 เดือนถัดไป ผู้บริหารระดับสูงขององค์กรมักมีส่วนร่วมเพื่อกำหนดกรอบการขาย การผลิต สินค้าคงคลัง และการจัดซื้อ ตลอดจนเป็นแนวทางในการจัดทำแผนในระดับปฏิบัติการต่อไป เป็นแนวทางการวางแผนโซ่อุปทานที่อุตสาหกรรมปิโตรเคมีนำมาใช้อย่างได้ผลเพื่อจัดการให้เกิดความสมดุลของสินค้าคงคลังในระบบ

**sea bulk container ตู้สินค้าทางทะเลแบบมวลรวม**
ภาชนะบรรจุขนาดใหญ่กรุอยู่ภายในตู้สินค้าเพื่อบรรจุสินค้าประเภทของแข็ง เช่น เม็ดพลาสติกในตู้สินค้า โดยขนถ่ายเม็ดพลาสติกเข้าในตู้สินค้าเป็นแบบมวลรวม (bulk) โดยไม่ต้องใช้บรรจุภัณฑ์ขนาดเล็ก ด้วยเครื่องลำเลียงสินค้าด้วยระบบท่อลม (ดู air conveyor) ขนถ่ายเข้าด้านหลังของตู้สินค้าจนเต็มตามข้อจำกัดด้านน้ำหนักบรรทุก การขนถ่ายลงจากตู้สินค้าใช้อุปกรณ์ขนถ่ายจากด้านหลัง และอาจยกตัวตู้ให้เอียง (tilt) เพื่อให้การขนถ่ายรวดเร็วขึ้น






การขนถ่ายตู้สินค้าทางทะเลแบบมวลรวม

**segregation การแยกจัดเก็บสารเคมี**
การจัดเก็บสินค้าอันตรายให้ปลอดภัย โดยแยกพื้นที่การจัดเก็บสินค้าซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยารุนแรง หรือเกิดปฏิกิริยาที่ให้ความร้อน หรือเกิดไฟไหม้หากมีการผสมกันโดยอุบัติเหตุออกจากกัน การจัดเก็บแบบแบ่งแยกเป็นส่วนๆ พิจารณาจากสมบัติของสารเคมีนั้นๆ เกี่ยวกับการเข้ากันไม่ได้ (incompatibility) กับสารอื่น หรือหากเป็นข้อกำหนดทั่วไป ก็อาจใช้คู่มือการจัดเก็บวัตถุอันตรายของกรมโรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการแยกจัดเก็บวัตถุอันตรายเป็นแนวทาง

**semi trailer รถบรรทุกกึ่งพ่วง**
รถขนส่งที่แบ่งตัวรถเป็นสองส่วน ส่วนหลังเป็นส่วนพ่วงที่ผูกโยงกับตัวรถบรรทุกส่วนหน้าและลากจูงไปได้ มีแกนล้อเฉพาะส่วนหลัง แต่จะพาดกับส่วนตัวรถที่เป็นตัวลาก ทำให้มีความคล่องตัว และควบคุมรถและหางลากได้ดีกว่ารถพ่วง รองรับน้ำหนักบรรทุกได้แตกต่างกัน ขึ้นกับการออกแบบขนาด ความยาว และจำนวนล้อทั้งหมด





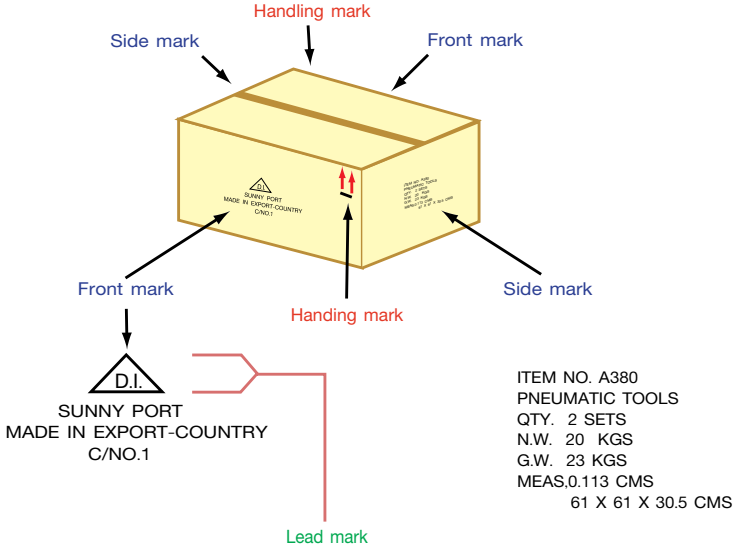


รถบรรทุกกึ่งพ่วง

**shipping mark เครื่องหมายแสดงการขนส่งสินค้า**

ข้อความหรือเครื่องหมายที่ระบุสินค้า เจ้าของสินค้า ต้นทางที่ขนส่ง เป็นประโยชน์ต่อผู้ส่งออก ผู้นำเข้า ผู้ขนส่ง ศุลกากร ในการจัดการกับสินค้า ส่วนประกอบที่สำคัญที่ต้องระบุ ได้แก่

1. หมายเลขของบรรจุภัณฑ์ (package number)
2. หมายเลขของสินค้า (item number)
3. รายละเอียดสินค้า (description of goods)
4. เครื่องหมายด้านหน้า (front mark)
5. เครื่องหมายด้านหลัง (side mark)
6. เครื่องหมายเกี่ยวกับการเคลื่อนย้าย (handling mark)




ตำแหน่งเครื่องหมายแสดงการขนส่งสินค้า

**silo ไซโล**

อุปกรณ์จัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง เช่น เม็ดพลาสติก มักทำด้วยเหล็กหรือเหล็กกล้าไร้สนิม ต้องมีอุปกรณ์เฉพาะสำหรับการขนถ่ายสินค้าเข้าและออกจากไซโล และอาจมีระบบควบคุมอากาศหมุนเวียน เป็นระบบลอจิสติกส์ที่ไม่ต้องใช้บรรจุภัณฑ์ในการขนส่งและขนถ่าย



ไซโล

**slip sheet แผ่นรองสินค้า**
แผ่นรองสินค้าสำหรับการขนย้ายสินค้าเข้าตู้สินค้า หรือนำออกจากตู้สินค้าโดยไม่ต้องนำพาเลต (ดู pallet) ไปด้วย เป็นการประหยัดพื้นที่ในตู้สินค้าและลดน้ำหนักบรรทุกลง ขณะเดียวกันก็สามารถใช้รถตัก (forklift) ขนย้ายได้เช่นเดียวกับการใช้พาเลต (ดู pallet) แต่ต้องมีอุปกรณ์เสริมในการขนย้ายด้วยรถยก





แผ่นรองสินค้า

**speculative stock สินค้าคงคลังเพื่อเก็งกำไร**
สินค้าคงคลังที่จัดเก็บเพื่อหวังผลด้านราคา เป็นสินค้าประเภทที่มีความเคลื่อนไหวด้านราคารวดเร็ว เช่น น้ำมัน สารเคมี พลาสติก เหล็ก สินค้าเกษตร เป็นต้น ผู้ดำเนินการเกี่ยวกับสินค้าคงคลังเพื่อเก็งกำไรต้องติดตามด้านราคาและสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องอย่างต่อเนื่อง เพื่อประกอบการตัดสินใจ กำหนดปริมาณที่จะเก็บสินค้าคงคลังภายใต้สภาวะที่ราคาสินค้ากำลังขึ้น ปริมาณสินค้าคงคลังมีแนวโน้มสูงเพื่อเก็บไว้ขายเมื่อราคาแพง และมีแนวโน้มต่ำเพื่อรอซื้อเข้าในราคาต่ำ มีการบริหารจัดการแยกออกจากสินค้าคงคลังในระบบลอจิสติกส์ในระบบโซ่อุปทานทั่วไป

**spherical tank ถังทรงกลม**
ถังรูปทรงกลมใช้จัดเก็บสารเคมีประเภทก๊าซภายใต้ความดันที่อุณหภูมิปกติ รูปทรงกลมทำให้ทนแรงดันภายในถังได้ดี สารเคมีที่จัดเก็บอาจควบแน่นเป็นของเหลวบางส่วน ทำให้สามารถบรรจุสารได้มากขึ้น เช่น ถังทรงกลมสำหรับก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือก๊าซแอลพีจี (LPG) ถังทรงกลมสำหรับแอมโมเนีย ถังทรงกลมสำหรับบิวทาไดอีน เป็นต้น




ถังทรงกลมสำหรับจัดเก็บก๊าซภายใต้ความดัน

**spill control การควบคุมการรั่วไหล**

มาตรการสำคัญในปฏิบัติการลอจิสติกส์เกี่ยวกับการจัดเก็บ การขนถ่าย และการขนส่งสารเคมีอันตราย การรั่วไหลของสารเคมีที่เป็นอันตรายจะเกิดอันตรายต่อชีวิต ทรัพย์สิน สิ่งแวดล้อม ทำได้โดยการสร้างเขื่อนกั้นรอบถังเก็บหรือมีภาชนะรองรับ เพื่อป้องกันการรั่วไหลออกนอกบริเวณจัดเก็บ บริเวณสถานีขนถ่ายสาร ไม่ให้สารเคมีที่รั่วไหลออกไปสู่ระบบทางน้ำสาธารณะ การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับดูดซับสารเคมีที่รั่วไหล การจัดเก็บสารเคมีที่เก็บกู้ขึ้นจากการรั่วไหล การจัดเตรียมสารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่รั่วไหลให้มีสถานะเป็นกลาง



ภาชนะรองรับป้องกันการรั่วไหลออกนอกบริเวณ

**stacking height ความสูงของบรรจุภัณฑ์ที่วางซ้อนกัน**

จำนวนชั้นของการวางซ้อนหรือความสูงของการวางซ้อนกำหนดขึ้นเพื่อลดความเสี่ยงต่อความเสียหายของบรรจุภัณฑ์ชั้นล่าง ซึ่งรับน้ำหนักสินค้าที่วางทับทั้งหมด เพื่อลดอันตรายจากการล้มหรือหล่นลงมาจากชั้นบน และไม่ให้เกินขีดจำกัดของพื้นคลังสินค้าที่จะรองรับได้ การวางซ้อนเป็นข้อปฏิบัติทั่วไปเพื่อให้จัดเก็บได้มากขึ้น สำหรับบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุสินค้าอันตราย มีมาตรฐานการวางซ้อนโดยผลการทดสอบความสามารถในการวางซ้อน (stacking test) ว่าสามารถวางทับซ้อนได้ 2 หรือ 3 ชั้น บรรจุภัณฑ์บางชนิดไม่สามารถวางซ้อนได้ ดังนั้น จึงต้องทราบรายละเอียดของบรรจุภัณฑ์ก่อนทำการวางซ้อนในการจัดเก็บสินค้า



เขื่อนกั้นรอบบริเวณถังเก็บสารเคมี



ถังเก็บทรงกระบอกแนวดิ่ง

**storage tank ถังเก็บสารเคมีเหลวหรือก๊าซ**

ถังเก็บสารเคมีเหลวหรือก๊าซ อุปกรณ์สำคัญในระบบลอจิสติกส์ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีสถานะเป็นของเหลวและก๊าซ ต้องเก็บในถังที่เหมาะสมกับชนิดของสารเคมี มีหลายลักษณะ อาจเป็นถังทรงกลม ถังทรงกระบอกแนวดิ่ง หรือถังทรงกระบอกแนวนอน การใช้ถังเก็บต้องเป็นไปตามมาตรฐาน เช่น มาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา สถาบันวิศวกรรมเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา เป็นต้น




ถังเก็บสารเคมีเหลวหรือก๊าซ

**supersack, big bag บรรจุภัณฑ์ชนิดยืดหยุ่น**

บรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่มากสำหรับบรรจุสารเคมีที่เป็นของแข็งหรือผง ขนาดประมาณตั้งแต่ 500 ถึง 1,000 กิโลกรัม ทำด้วยพลาสติกสาน และอาจมีแผ่นพลาสติกเคลือบด้านในอีกชั้นหนึ่ง มีหูหิ้วเพื่อให้รถตัก (forklift) หิ้วขนย้ายได้ เป็นบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่ที่สะดวกต่อการใช้งาน ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมักใช้กับผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนหรือผงพีวีซี เป็นต้น



บรรจุภัณฑ์ชนิดยืดหยุ่น

**supply chain optimization การจัดการที่เหมาะสมที่สุดในโซ่อุปทาน**

การจัดการโซ่อุปทานที่มีประสิทธิภาพ โดยสร้างสมดุลในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการโซ่อุปทานทั้งระบบ ได้แก่ ระบบการวางแผน ระบบการเคลื่อนย้าย จัดเก็บและขนส่ง ระบบการสื่อสารด้วยเอกสารและข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้กระบวนการตลาดโซ่อุปทานมีความเชื่อมโยงต่อเนื่องกัน ได้แก่ การจัดซื้อวัตถุดิบ การจัดเก็บวัตถุดิบ การผลิต การจัดเก็บผลิตภัณฑ์ และการส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้ลูกค้า การสร้างสมดุลระหว่างกระบวนการต่างๆ ในโซ่อุปทานเป็นการตัดสินใจร่วมกันของเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น นโยบายและแผนการผลิตให้สอดคล้องกับแผนการขาย นโยบายและแผนการจัดเก็บสินค้าคงคลังให้เหมาะสม สำหรับการจัดการตลอดทั้งสายการผลิตที่ต่อเนื่องในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกันจะต้องเกิดจากความร่วมมือระหว่างผู้ประกอบการตั้งแต่ต้นน้ำ (upstream) จนถึงปลายน้ำ (downstream) เช่น การจัดทำข้อตกลงในการวางแผนโซ่อุปทานร่วมกัน การใช้ทรัพยากรร่วมกัน เช่น รถขนส่ง ถังเก็บสารเคมี คลังสินค้า หน่วยซ่อมบำรุง หน่วยกู้ภัย หน่วยงานประเมินและตรวจสอบด้านสุขภาพ ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

**tank farm กลุ่มถังเก็บสารเคมี**

สถานที่ที่มีถังจัดเก็บสารเคมีเหลวหรือก๊าซชนิดต่างๆ รวมกลุ่มอยู่ในบริเวณเดียวกัน การจัดเก็บต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเกี่ยวกับการแยกเก็บสารเคมีที่เข้ากันไม่ได้ ระยะระหว่างถังเก็บ การใช้เขื่อนกักเก็บสารเคมีโดยรอบร่วมกัน การมีอุปกรณ์ที่จำเป็นด้านความปลอดภัยและในกรณีฉุกเฉิน การใช้อุปกรณ์ร่วมกัน เช่น สถานีบรรจุถัง สถานีบรรจุรถขนส่ง เป็นต้น



กลุ่มถังเก็บสารเคมี

**tank inspection การทดสอบถัง**
การทดสอบถังที่ใช้ในการขนส่งและถังเก็บสารเคมีในโรงงานหรือคลังสินค้า (ดู tank farm) เป็นไปตามวาระและรายการทดสอบตามมาตรฐาน เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการสร้าง การทดสอบเพื่อขออนุมัติใช้ เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งต้องทดสอบตามข้อกำหนดของมาตรฐาน หรือข้อกำหนดตามกฎหมาย เช่น ทุกๆ 3 ปี ถังที่ยึดติดกับตัวรถต้องได้รับการทดสอบสภาพของถัง รอยเชื่อม ความหนาของถัง

**tank truck รถขนส่งถังบรรจุสินค้าสารเคมีเหลวหรือก๊าซ**
รถขนส่งที่มีถังยึดติดกับตัวรถ (ดู fixed tank) ไม่ยึดติดกับตัวรถ (portable tank) หรือถังตู้สินค้า (tank container) ต้องเป็นถังที่ออกแบบและสร้างขึ้นเฉพาะสำหรับการใช้งานกับสารเคมีนั้นๆ เนื่องจากสารเคมีเหลวหรือก๊าซแต่ละชนิดมีสมบัติทางกายภาพและเคมีแตกต่างกัน ผู้ผลิตจะเป็นผู้เลือกรถและถังที่เหมาะสมกับสารเคมีที่จะขนส่ง โดยพิจารณาจากสมบัติของสาร วัสดุที่ใช้ในการทำถังต้องมีความเข้ากันได้ (compatability) กับสารเคมีที่ขนส่ง สร้างขึ้นตามข้อกำหนดให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการขนส่ง และรองรับอุบัติเหตุและความเสียหายที่อาจทำให้เกิดการรั่วไหล ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี มีสารเคมีและก๊าซอันตรายหลายประเภทที่ต้องขนส่ง เช่น ก๊าซไวไฟ ก๊าซภายใต้ความดัน ก๊าซพิษ ของเหลวไวไฟ สารพิษ สารกัดกร่อน เป็นต้น

**telemetry อุปกรณ์ส่งผ่านข้อมูลจากการวัดค่าได้**
อุปกรณ์ส่งข้อมูลที่วัดค่าได้ที่จุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เช่น วัดปริมาณสารเคมีที่เหลืออยู่ในถังเก็บที่โรงงาน และส่งผ่านข้อมูลไปยังผู้ขายเพื่อให้จัดการส่งมอบสินค้ามาเติมเต็มในถังเก็บ โดยผู้ขายเป็นผู้ตรวจสอบระดับปริมาณสารเคมีที่เหลืออยู่เอง ระบบดังกล่าวทำให้การเติมเต็มสินค้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดความผิดพลาดในการจัดการด้านลอจิสติกส์ ประหยัดเวลาในการต้องเดินทางมาตรวจสอบระดับปริมาณสารเคมีที่ถังเก็บ และประหยัดค่าใช้จ่ายจากขั้นตอนในการสั่งสินค้า สามารถส่งผ่านข้อมูลได้หลายระบบ เช่น ระบบวิทยุ อินฟราเรด โทรศัพท์ทางสาย โทรศัพท์ไร้สาย หรือการเชื่อมต่อทางอินเตอร์เนต เป็นต้น

**terminal คลังสินค้า**
(ดู tank farm)

**top loading การบรรจุสินค้าทางด้านบนถังรถขนส่ง**
การขนถ่ายสินค้าที่เป็นของเหลวโดยใช้ท่อเข้าทางด้านบนของตัวถังรถขนส่ง การขนถ่ายระบบปิดที่ท่อเข้าต่อกับข้อต่อด้านบนของถัง ทั้งท่อของเหลวและท่อไอ เพื่อป้องกันการระบายของสารออกสู่บรรยากาศ หากเป็นสารเคมีไม่อันตรายก็สามารถเปิดช่องลงซ่อมบำรุง (manhole) เพื่อจุ่มท่อลงเติมสารเข้าถังได้ สถานีขนถ่ายควรมีสะพาน (gangway) ให้เจ้าหน้าที่สามารถเดินขึ้นไปปฏิบัติงานด้านบนได้อย่างปลอดภัย



สถานีขนถ่ายสินค้าทางด้านบนตัวรถขนส่ง

**transport emergency card (TREMCARD) คู่มือการขนส่งกรณีฉุกเฉิน**

คู่มือประจำรถสำหรับพนักงานขับรถซึ่งบรรทุกสินค้าอันตราย สำหรับใช้ในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน ช่วยให้เจ้าหน้าที่กู้ภัยสามารถปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้องตามข้อมูลที่ระบุในคู่มือ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลสารเคมี ความเป็นอันตราย อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล ข้อปฏิบัติในกรณีรั่วไหล ข้อปฏิบัติในกรณีไฟไหม้ การปฐมพยาบาล ข้อมูลสำหรับเจ้าหน้าที่กู้ภัย

**tug boat เรือลากจูง**

เรือที่ใช้ดันหรือดึงเรือขนาดใหญ่ให้สามารถเข้าเทียบท่าเรือได้อย่างปลอดภัย เนื่องจากแรงส่งของเรือขนาดใหญ่มีกำลังมาก จึงต้องหยุดการขับเคลื่อนตัวเองก่อนถึงบริเวณที่จะต้องเทียบกับท่าเรือ เพื่อป้องกันความเสียหายแก่ท่าเรือและตัวเรือ และเมื่อเสร็จสิ้นการขนถ่ายสินค้า ก็ต้องใช้เรือลากจูงดึงและดันเรือขนาดใหญ่ออกจากบริเวณท่าเรือด้วย



เรือลากจูง

**twenty feet equivalent unit (TEU) หน่วยวัดปริมาณขนส่งเทียบเท่าตู้สินค้าขนาด 20 ฟุต (ทีอียู)**

มาตรฐานการวัดปริมาณการขนส่งเทียบเท่ากับตู้สินค้าขนาด 20 ฟุต ซึ่งมีความยาว 20 ฟุต กว้าง 8 ฟุต และสูง 8 ฟุต 6 นิ้ว ตู้สินค้าขนาด 40 ฟุต เท่ากับ 2 ทีอียู หน่วยวัดขนาดของเรือบรรทุกสินค้าที่เป็นตู้สินค้า และลานเก็บตู้สินค้าที่บริเวณท่าเรือ เช่น เรือขนส่งที่มาเทียบท่าเรือแหลมฉบังมีขนาด 4,000 ทีอียู ลานเก็บตู้สินค้ามีขนาด 1,400 ทีอียู เป็นต้น



ตู้สินค้าขนาด 20 ฟุต

**United Nations number หมายเลขสินค้าอันตรายของสหประชาชาติ**

หมายเลขสินค้าอันตรายของสหประชาชาติ เพื่อสื่อสารให้ทราบถึงชนิดสารเคมีซึ่งเป็นสินค้าอันตราย เป็นเลข 4 ตำแหน่ง เช่น 1077 คือ หมายเลขของโพรพิลีน 1280 คือ หมายเลขของโพรพิลีนออกไซด์ เป็นต้น แสดงตรงตำแหน่งที่สามารถเห็นได้ชัดในหน่วยการขนส่งต่างๆ เช่น ป้ายบนรถขนส่ง ฉลากบนบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ใช้ระบุในเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสารเคมี เช่น เอกสารข้อมูลความปลอดภัย (ดู safety data sheet) ทำให้ผู้เกี่ยวข้องค้นหาข้อมูลได้รวดเร็ว เมื่อเกิดอุบัติเหตุ หน่วยกู้ภัยก็จะทราบถึงชนิดสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุ และสามารถจัดการได้อย่างถูกต้องและปลอดภัยยิ่งขึ้น




ตัวอย่าง United Nations number ซึ่งปรากฏอยู่บนป้ายของรถขนส่ง




การจำแนกประเภทสินค้าอันตรายแสดงเป็นสัญลักษณ์

**United Nations Recommendation on Transport of Dangerous Goods (UNRTDG) ข้อแนะนำของสหประชาชาติเรื่องการขนส่งสินค้าอันตราย**

ข้อแนะนำจัดเป็นมาตรฐานสากลด้านการขนส่งสินค้าอันตรายของสหประชาชาติ ซึ่งจัดทำเอกสารข้อแนะนำทุกวาระ 2 ปี เช่น ฉบับที่ 16 ปี พ.ศ. 2552 กล่าวถึงการจำแนกประเภทสินค้าอันตราย มาตรฐานบรรจุภัณฑ์ การฝึกอบรม เป็นที่ยอมรับให้ปฏิบัติตามข้อแนะนำของสหประชาชาติในการขนส่งสินค้าอันตราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจำแนกประเภทสินค้าอันตรายเป็น 9 ประเภท (class) ได้แก่

1. วัตถุระเบิด
2. ก๊าซไวไฟ ก๊าซภายใต้ความดัน และก๊าซพิษ
3. ของเหลวไวไฟ
4. ของแข็งไวไฟ สารที่ติดไฟได้เอง สารที่ให้ก๊าซไวไฟเมื่อสัมผัสน้ำ
5. สารออกซิไดซ์และเพอร์ออกไซด์อินทรีย์
6. สารพิษและวัสดุติดเชื้อ
7. สารกัมมันตรังสี
8. สารกัดกร่อน
9. สินค้าอันตรายอื่นๆ

**unloading การขนถ่ายสินค้าออกจากหน่วยขนส่ง**

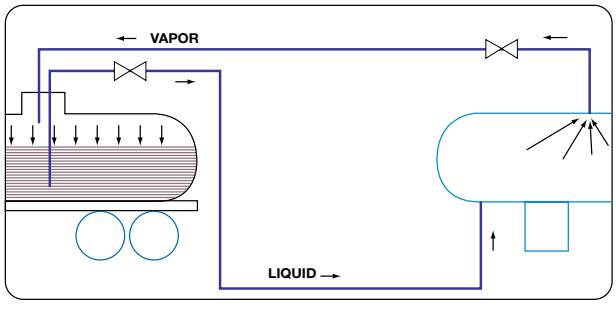
การขนถ่ายสินค้าออกจากรถขนส่งหรือเรือบรรทุกสินค้าไปยังสถานที่จัดเก็บของผู้รับสินค้า ปฏิบัติการขนถ่ายสินค้าลงจากหน่วยขนส่งมีหลายแบบ ขึ้นกับชนิดของสินค้า บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการขนถ่าย สถานที่รับสินค้า ตัวอย่างเช่น การขนถ่ายเม็ดพลาสติกที่บรรจุในถุง 25 กิโลกรัม เรียงบนแผ่นรองรับสินค้า จะต้องใช้แรงงานขนลง หากวางอยู่บนพาเลต (ดู pallet) ก็สามารถใช้รถตักมายกสินค้าลงได้ หากเป็นการขนถ่ายสารเคมีซึ่งเป็นของเหลวไวไฟจากรถขนส่งแบบมวลรวม ก็จะต้องมีขั้นตอนการปฏิบัติงานอย่างปลอดภัย และผู้ที่เกี่ยวข้องต้องได้รับการฝึกอบรมก่อนการปฏิบัติงาน รวมถึงการปฏิบัติตามขั้นตอนอย่างเข้มงวด เช่น การตรวจสอบปริมาณถังรับก่อนเติม การใช้อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล การยึดตรึงรถไม่ให้เคลื่อนที่ การต่อสายดิน การต่อท่อของเหลวและท่อไอ การเปิดปั๊มเพื่อขนถ่ายสารเคมี การหยุดปั๊ม การถอดท่อและเก็บอุปกรณ์เข้าที่ การตรวจสอบขั้นสุดท้าย เป็นต้น



ตัวอย่างการขนถ่ายสารเคมีที่เป็นของแข็งแบบมวลรวมลงจากรถขนส่ง

**value chain โซ่มูลค่าผลิตภัณฑ์**

การเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาจากสารที่เป็นโซ่ข้อบนสุดตลอดสายโซ่ จนถึงผลิตภัณฑ์ที่เป็นโซ่ข้อล่างสุด การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลจากการวิจัยและพัฒนา และเทคโนโลยีการผลิต นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้หลากหลาย ตัวอย่างเช่น โซ่มูลค่าผลิตภัณฑ์ของเอทิลีนมอนอเมอร์ สามารถพัฒนาไปเป็นสายโซ่ได้หลายสาย




ไอวนกลับ

**สายที่ 1**

จากเอทิลีน → พอลิเอทิลีน → ชิ้นส่วนยานยนต์ → รถยนต์

**สายที่ 2**

จากเอทิลีน → เอทิลีนออกไซด์ → เอทิลีนไกลคอล → สารกันเยือกแข็ง

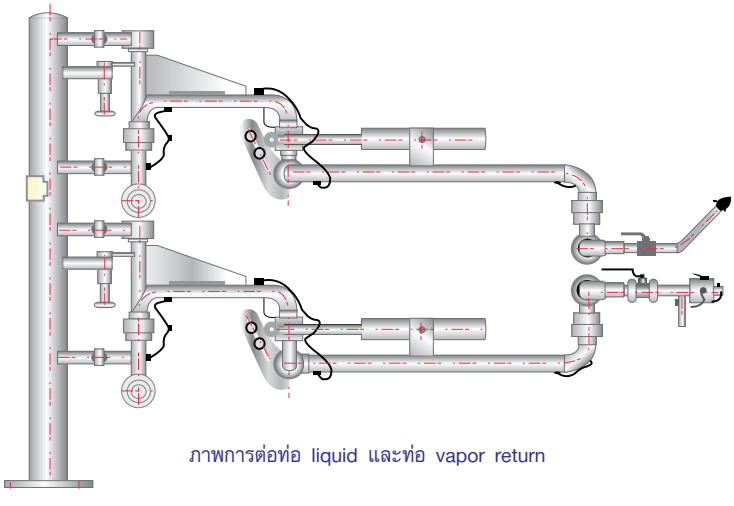
**สายที่ 3**

จากเอทิลีน → เอทิลีนไดคลอไรด์ → ไวนิลคลอไรด์ → พอลิไวนิลคลอไรด์ → ท่อพีวีซี

แนวคิดเกี่ยวกับโซ่มูลค่าผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อพัฒนาการใช้งาน เพื่อลดอันตรายต่อสุขภาพและอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

**vapor return line ท่อไอวนกลับ**

ท่อเชื่อมต่อระหว่างระบบรับและส่งสารเคมีเหลวหรือก๊าซเพื่อรับไอระเหยหรือก๊าซความดันสูงที่เกิดขึ้น ขณะขนถ่ายสารเคมีที่มีสองสถานะในภาชนะบรรจุที่ปฏิบัติภายใต้ระบบปิด เช่น สารเคมีเหลวที่มีความดันไอสูงและเป็นอันตรายหากระบายสู่บรรยากาศ หรือก๊าซภายใต้ความดันหรือภายใต้อุณหภูมิต่ำ การขนถ่ายระหว่างถังและหน่วยขนส่งต้องควบคุมความดันให้สมดุล ด้วยการเชื่อมท่อในส่วนไอหรือก๊าซ ท่อไอวนกลับจากถังรับกลับไปยังถังส่ง จะช่วยป้องกันถังรับสินค้าไม่ให้เสียหายอันเนื่องมาจากความดันสูง และปกป้องไม่ให้มีการระบายออกสู่บรรยากาศ



ภาพการต่อท่อ liquid และท่อ vapor return

**vendor managed inventory (VMI) สินค้าคงคลังที่ผู้ขายบริหารเอง (วีเอ็มไอ)**
ระบบการจัดการลอจิสติกส์จากความร่วมมือระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย โดยที่ผู้ขายสินค้าช่วยบริหารสินค้าคงคลังของตนให้เพียงพอ และพร้อมจะส่งมอบให้กับผู้ซื้อ ต้องมีการเชื่อมโยงข้อมูลความต้องการ และกำหนดปริมาณสินค้าคงคลังที่ต้องจัดการร่วมกัน ผู้ขายอาจนำสินค้าไปไว้ที่โรงงานของผู้ซื้อเพื่อให้พร้อมส่งมอบทันที และให้บริการเติมเต็มสินค้าให้ผู้ซื้อด้วย ช่วยให้การจัดการโซ่อุปทานมีประสิทธิภาพโดยการวางแผนร่วมกัน ช่วยลดสินค้าคงคลังที่เคยต้องจัดเก็บทั้งสองฝ่ายให้เหลือเพียงชุดเดียว

**vessel เรือบรรทุกสารเคมี, ถังบรรจุสารเคมี**
เรือบรรทุกสารเคมีหรือก๊าซในอุตสาหกรรมเคมีหรือปิโตรเคมี หรือเรียกว่าเรือบรรทุกสารเคมีเหลวหรือก๊าซ (ดู chemical tanker) หรือถังบรรจุสารเคมี อาจมีขนาดต่างๆ รูปร่างเป็นถังทรงกระบอกทรงนอนหรือแนวตั้ง หรือเรียกว่าถังเก็บสารเคมี (chemical storage vessel)



ถังบรรจุสารเคมี

**warehouse คลังสินค้า**
สถานที่เก็บรักษาสินค้าหรือวัตถุดิบที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์หรือเป็นสินค้าเทกอง ต้องมีสภาพเหมาะสมกับสินค้าที่จัดเก็บ สินค้าประเภทพลาสติกหรือสารเคมีเหลวที่ไม่เป็นอันตราย สามารถจัดเก็บในคลังสินค้าที่แห้ง สะอาด มีแสงสว่างเพียงพอ มีพื้นที่แข็งแรงเพียงพอสำหรับการจัดเก็บตามจำนวนชั้นที่วางซ้อน และมีระบบป้องกันอุบัติเหตุและเพลิงไหม้ในขั้นพื้นฐาน สำหรับคลังสินค้าประเภสารเคมีอันตราย ได้แก่ สารไวไฟ สารออกซิไดซ์ สารเพอร์ออกไซด์ สารกัดกร่อน ต้องมีระบบ การแยกพื้นที่การจัดเก็บ มีมาตรการเพิ่มเติมด้านความปลอดภัย เช่น อุปกรณ์ป้องกันการเกิดประกายไฟ ระบบการตรวจจับควัน/ความร้อน ระบบการกักเก็บสารเคมีรั่วไหล เป็นต้น

**warehouse management system (WMS) ระบบการจัดการคลังสินค้า (ดับเบิลยูเอ็มเอส)**
ระบบคอมพิวเตอร์เพื่อจัดการการจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้า สามารถทราบความเคลื่อนไหวของสินค้า ตั้งแต่การรับเข้า การจ่ายออก ตำแหน่งที่จัดเก็บ ระยะเวลาที่จัดเก็บ การจัดสรรพื้นที่ให้เหมาะสมกับความต้องการสินค้าในแต่ละหมวดและการประมวลผลเพื่อสนับสนุนการจัดการด้านลอจิสติกส์ เช่น การจัดการเลือกหยิบสินค้าแบบเข้าก่อนออกก่อน (first in first out (FIFO)) การกำหนดเส้นทางการหยิบสินค้าในคลังเพื่อความแม่นยำและรวดเร็ว เพิ่มความถูกต้องของข้อมูลสินค้าคงคลังสำหรับการขาย การวางแผนและการปิดบัญชี ทำให้ความสามารถในการส่งมอบสินค้าดีขึ้น และมีโอกาสลดต้นทุนลอจิสติกส์ที่ไม่จำเป็นลง

**weight discrepancy ความคลาดเคลื่อนของการชั่งน้ำหนักสินค้า**
การชั่งน้ำหนักสินค้าประเภทขนส่งแบบเทกอง (bulk) เช่น ตัวทำละลาย น้ำยางสังเคราะห์ อาจมีความแตกต่างระหว่างการชั่งด้วยอุปกรณ์ชั่งน้ำหนักรถของผู้ขาย และการชั่งด้วยอุปกรณ์ชั่งน้ำหนักรถของผู้ซื้อ อาจเป็นเพราะอุปกรณ์ชั่งมีมาตรฐานต่างกัน หรืออาจไม่ได้ทำการเทียบมาตรฐาน (calibration) มักทำให้เกิดการโต้แย้งระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย จำเป็นต้องมีการจัดการเพื่อแก้ปัญหา เช่น การเทียบมาตรฐานเครื่องชั่งด้วยมาตรฐานเดียวกัน การกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ เช่น 0.25% เป็นต้น



รถบรรทุกขึ้นชั่งน้ำหนัก



คลังสินค้าเคมี

# อาชีวอนามัย

**acoustic trauma การบาดเจ็บทางเสียง**
การบาดเจ็บที่เกิดจากเสียง มีสาเหตุจากการได้รับเสียงดังโดยทันที ทำให้เกิดการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบบชั่วคราว (ดู temporary threshold shift และ noise induced hearing loss ประกอบ)

**aerosol ละอองลอย, แอโรซอล**
อนุภาคของแข็ง อนุภาคของเหลว หรือส่วนผสมระหว่างอนุภาคของแข็งและอนุภาคของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ มีขนาดระหว่าง 1 นาโนเมตร ถึง 1 ไมโครเมตร อาจมีความเป็นพิษ ทำให้ผิวหนังระคายเคือง เป็นอันตรายต่อปอดและเนื้อเยื่อ ขึ้นอยู่กับชนิดของสาร



**air sampling การเก็บตัวอย่างอากาศ**
การสุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของอากาศซึ่งต้องการตรวจสอบคุณภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์ประเมินระดับอันตราย โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของสารที่ปนเปื้อนในอากาศที่สนใจ (ดู air pollutant หมวดสิ่งแวดล้อม ประกอบ) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การเก็บตัวอย่างตามจุดที่กำหนดเพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่ (area air sampling) และการเก็บตัวอย่างที่ตัวคนเพื่อเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรที่สนใจ (personal air sampling)



การเก็บตัวอย่างอากาศ

**allergy ภูมิแพ้**
สภาวะความไวของแต่ละบุคคลต่อสารประเภทโปรตีน เกสรดอกไม้ เชื้อแบคทีเรีย และอาหารบางชนิด โดยการสัมผัส มีผลให้ร่างกายตอบสนองรุนแรงกว่าปกติ เช่น มีผื่นแดงคัน มีไข้ขึ้น (ไข้ละอองฟาง) หอบหืด และอาจถึงช็อก ถ้าได้รับสารเพิ่มจะเพิ่มให้อาการรุนแรงยิ่งขึ้น

**American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) องค์กรอิสระของนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรม ประเทศสหรัฐอเมริกา**
องค์กรอิสระประกอบด้วยสมาชิกที่ประกอบวิชาชีพสุขศาสตร์อุตสาหกรรม ตลอดจนวิชาชีพด้านอาชีวอนามัย (ดู occupational health) และความปลอดภัย ที่มุ่งเน้นการส่งเสริมสุขภาพ และความปลอดภัยในสถานที่ทำงาน (ดู safety หมวดความปลอดภัย ประกอบ) จัดเป็นสมาคมทางด้านวิทยาศาสตร์ (scientific association) ซึ่งมีคณะกรรมการทำหน้าที่ทบทวนเอกสารวิชาการ และเสนอแนวทางที่เป็นที่รู้จักกันคือ ขีดเริ่มเปลี่ยนการรับสัมผัส (ดู threshold limit value) และดัชนีการสัมผัสสารชีวภาพ (ดู biological exposure index) จัดพิมพ์คู่มือรวบรวมค่าดังกล่าวเป็นประจำทุกปี ถึงแม้ว่าไม่มีการกำหนดให้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนการรับสัมผัสและค่าดัชนีการสัมผัสสารชีวภาพเป็นค่ามาตรฐาน แต่ในหลายๆ กรณีมีหน่วยงานของรัฐหลายๆแห่งนำมาใช้เป็นค่ามาตรฐาน

**anthropometry ศาสตร์การวัดรูปร่างสัดส่วนร่างกายมนุษย์**
การวัดรูปร่าง สัดส่วนร่างกายขณะอยู่ในท่าทางต่างๆ เช่น ยืน นั่ง เหยียดแขนหรือขา เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับออกแบบหรือปรับปรุงอุปกรณ์ เครื่องมือ สถานที่ทำงานให้เหมาะสมกับกลุ่มประชากร เพื่อให้มั่นใจว่ามีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพในการทำงาน



การวัดสัดส่วนของร่างกายผู้ปฏิบัติงานเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลตัวแทนประชากร

**asphyxiant สารแย่งออกซิเจนในร่างกาย**
สารเคมีที่อยู่ในสภาพไอระเหยหรือก๊าซ ซึ่งเมื่อสูดดมเข้าไปสามารถแย่งออกซิเจนหรือรบกวนการลำเลียงออกซิเจนในร่างกาย ทำให้ร่างกายหยุดหายใจเนื่องจากขาดออกซิเจนในเลือด (asphyxia) และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดและเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น ได้แก่ ก๊าซมีเทน (methane) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ดู carbon monoxide หมวดสิ่งแวดล้อม ประกอบ)

**biological exposure index (BEI) ดัชนีการสัมผัสสารชีวภาพ (บีอีไอ)**
ระดับชี้วัดสารในร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน บ่งชี้การสัมผัสสารโดยรวมในร่างกาย ซึ่งอาจได้รับจากสถานที่ทำงานหรือนอกสถานที่ทำงาน วัตถุประสงค์ของการตรวจติดตามทางชีวภาพ (ดู biological monitoring test) สำหรับสารที่มีค่าบีอีไอคือเพื่อประเมินการได้รับสารเข้าสู่ร่างกายจากทุกช่องทาง ซึ่งได้แก่ ทางจมูก ทางปาก และทางผิวหนัง

**biological monitoring test การตรวจติดตามทางชีวภาพ**
การตรวจสอบเพื่อเฝ้าระวังทางชีววิทยา เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ในร่างกาย เช่น เลือด ปัสสาวะ น้ำในไขสันหลัง แล้วนำผลมาประเมินปริมาณการสัมผัสของร่างกายกับสารอันตราย การตรวจติดตามทางชีวภาพเป็นกิจกรรมหนึ่งของการระแวดระวังทางการแพทย์ (medical surveillance) ซึ่งโดยปกติจัดไว้ในแผนการตรวจสุขภาพพนักงานประจำปี โดยคำนึงถึงงานและอันตรายจากงานที่มีโอกาสสัมผัสสารอันตรายด้วย



การเจาะเลือดผู้ปฏิบัติงานเพื่อนำไปตรวจสอบทางชีวภาพ

**breathing zone sample ตัวอย่างอากาศที่เก็บที่ระดับหายใจ**
ตัวอย่างอากาศที่เก็บในระยะห่างจากจมูกของผู้ถูกเก็บตัวอย่าง 30 เซนติเมตร โดยไม่คำนึงว่าผู้ปฏิบัติงานจะสวมใส่อุปกรณ์ปกป้องระบบทางเดินหายใจหรือไม่ เป็นตัวแทนของอากาศที่อยู่ในบริเวณที่มนุษย์สามารถหายใจเอาอากาศนั้นเข้าไป

**carcinogen สารก่อมะเร็ง, สิ่งก่อมะเร็ง**
สารเคมี คลื่นรังสี หรือสิ่งใดๆ ที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับการก่อให้เกิดเนื้องอกชนิดร้ายหรือมะเร็ง (malignant tumor, cancer) ในร่างกายมนุษย์ ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีสารเคมีบางชนิดที่สามารถก่อหรืออาจจะก่อให้เกิดเนื้องอกชนิดร้าย องค์กรอิสระของนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรม ประเทศสหรัฐอเมริกา (ดู American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)) ได้จัดแบ่งประเภทของสารเคมีที่มีความสัมพันธ์กับการก่อมะเร็งไว้ 5 ประเภทดังนี้ (ดู occupational cancer ประกอบ)
A1–สารที่ได้รับการยืนยันว่าก่อมะเร็งได้ในคน (confirmed human carcinogen) เช่น เบนซีน ไวนิลคลอไรด์
A2–สารที่สงสัยว่าก่อมะเร็งได้ในคน (suspected human carcinogen) เช่น เอทิลีนออกไซด์ บิวทาไดอีน
A3–สารที่ได้รับการยืนยันว่าก่อมะเร็งได้ในสัตว์ และไม่มีแนวโน้มที่จะเกิดกับคนเนื่องจากไม่มีผลการศึกษายืนยัน (confirmed animal carcinogen with unknown relevance to humans) เช่น ไดคลอโรมีเทน น้ำมันดีเซล เอทิลเบนซีน คลอโรฟอร์ม
A4–สารที่ไม่สามารถจัดว่าก่อมะเร็งในคนเนื่องจากไม่มีข้อมูลสนับสนุน (not classifiable as human carcinogen) เช่น ทอลิวอีน ไซลีน เอทิลีน ฟีนอล ไดคลอโรอีเทน
A5–สารที่ไม่สงสัยว่าก่อมะเร็งได้ในคนจากผลการศึกษาที่เหมาะสม (not suspected as a human carcinogen)

**cardio pulmonary resuscitation (CPR) การช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน (ซีพีอาร์)**
การกระทำที่ช่วยให้หัวใจ (cardio หมายถึงหัวใจ) และปอด (pulmonary หมายถึงปอด) ที่หยุดทำงานแล้วกลับมาทำงานได้อีก ควรดำเนินการทันทีภายใน 4 นาทีหลังจากผู้ป่วยหยุดหายใจและหัวใจหยุดเต้น เนื่องจากร่างกายไม่มีออกซิเจนสำรอง หากผู้ป่วยหยุดหายใจนานกว่านี้ เซลล์สมองที่ขาดออกซิเจนจะค่อยๆ ตายไปอย่างถาวร ทำให้สมองไม่สามารถทำงานได้ การฝึกอบรมหลักสูตรหนึ่งที่ช่วยให้พนักงานหรือผู้ผ่านการฝึกอบรมมีความรู้และทักษะ และมีความมั่นใจในการช่วยชีวิตเพื่อนร่วมงานหรือคนในครอบครัวที่หยุดหายใจและหัวใจหยุดเต้น แบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอนดังนี้
1. ตรวจดูว่าหมดสติจริงหรือไม่ โดยการเขย่าตัวผู้ป่วย
2. จัดให้ผู้ป่วยที่หมดสตินอนหงาย
3. เปิดทางเดินลมหายใจเพื่อตรวจสอบว่าไม่หายใจและไม่มีสิ่งอุดกลั้น
4. ถ้าไม่หายใจ ให้ปิดจมูกและเป่าปาก 2 ครั้ง พร้อมสังเกตการขึ้นของหน้าอก และสังเกตปฏิกิริยาตอบสนอง
5. ถ้าหัวใจไม่เต้น (ไม่มีชีพจร) ให้วางฝ่ามือตรงกลางหน้าอกระหว่างราวนม และทำการกดหน้าอก 30 ครั้ง โดยนับหนึ่ง สอง สาม จนถึง สามสิบ
6. เป่าปาก 2 ครั้ง สลับกับการกดหน้าอก 30 ครั้ง จนครบ 5 รอบ
7. ตรวจปฏิกิริยาตอบสนองและการหายใจของผู้ป่วย



การฝึกอบรมหลักสูตรการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน

**carpal tunnel syndrome กลุ่มอาการที่ข้อมือ**
กลุ่มอาการซึ่งเกิดขึ้นบริเวณข้อมือเนื่องจากการกดทับของเส้นประสาทที่ข้อมือ ทำให้เกิดอาการชาที่นิ้วมือและแขน บางครั้งปวดชาไปถึงข้อศอก เกิดจากการประกอบอาชีพที่ต้องใช้มือและเกิดการกดทับของเส้นประสาทที่ข้อมือ ในกรณีที่มีอาการรุนแรงอาจต้องรักษาโดยการผ่าตัด อาจพบในผู้หญิงวัยกลางคนที่ทำงานบ้านซึ่งมีการบิดข้อมืออย่างรุนแรง ทำให้ข้ออักเสบ และข้อมือบวม

**disease โรค**
พยาธิวิทยาที่มีอาการแสดงและอาการโรค ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของบุคคล การทำงานในภาวะและสิ่งแวดล้อมที่มีภาวะภัยต่อสุขภาพ และมีการควบคุมความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ไม่มีประสิทธิภาพ อาจส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานเป็นโรค โรคหรือการเจ็บป่วยที่เกิดจากการทำงานเกินเวลาพอสมควรที่จะแสดงอาการให้ตรวจพบได้ ต่างกับการบาดเจ็บที่เกิดจากการทำงานที่ส่งผลทันที (ดู occupational disease ประกอบ)

**epidemiology วิทยาการระบาด**
ศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับการกระจายตัวและการชุกชุมของโรค (ดู disease) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโรคในมนุษย์ รวมแนวคิด หลักการ และวิธีการต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อศึกษาการเกิดโรค การกระจาย และการชุกชุมของโรค หรืออุบัติการณ์ต่างๆ (ดู incident หมวดความปลอดภัย ประกอบ) ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของประชาชน ในขณะเดียวกันก็คิดค้นหาสาเหตุของโรคภัยไข้เจ็บเหล่านั้นเพื่อประโยชน์ในการป้องกันหรือควบคุมโรค เป็นการนำข้อมูลสุขภาพของกลุ่มประชากรที่สนใจซึ่งมีโอกาสสัมผัสกับสารอันตราย มาวิเคราะห์ความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพ โดยต้องใช้ข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มประชากรและสิ่งแวดล้อมร่วมด้วย เพื่อให้ทราบถึงกลุ่มเสี่ยงต่างๆ ข้อมูลที่ใช้มาจากหลายแหล่ง เช่น ข้อมูลของหน่วยงานทางด้านสาธารณสุข การตรวจสุขภาพของพนักงานในโรงงาน ข้อมูลประชากรจากการสำรวจและสอบถาม รวมถึงสภาพแวดล้อม และการใช้ชีวิตประจำวัน

**ergonomics การยศาสตร์, เออร์โกโนมิกส์**
วิทยาการจัดสภาพงาน ความรู้ที่ศึกษากิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ (activities of human beings) ที่มีความสัมพันธ์กับงาน ภาวะ และสิ่งแวดล้อมในการทำงาน (working conditions and environment) ต้องอาศัยหลักการและข้อมูลจากศาสตร์สาขาต่างๆ เช่น คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ สรีรวิทยา กายวิภาคศาสตร์ และพฤติกรรมศาสตร์ เพื่อออกแบบและปรับปรุงภาวะและสิ่งแวดล้อมในการทำงานให้เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงาน โดยคำนึงถึงปัจจัยด้านสรีรวิทยา พฤติกรรม และจิตวิทยาของผู้ปฏิบัติงานเป็นหลัก นำไปสู่คุณภาพชีวิตในการทำงานที่ดี (better quality of working life) โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ลดความผิดพลาด (errors) อุบัติเหตุ (ดู accident หมวดความปลอดภัย ประกอบ) และการบาดเจ็บในการปฏิบัติงาน การศึกษาขยายไปถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์ เครื่องมือ อุปกรณ์ สถานทำงาน และระบบงาน เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายอย่างสมบูรณ์ต่อร่างกายมนุษย์ การยศาสตร์ได้รับการยอมรับว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับอาชีวอนามัย (ดู occupational health) มาจากภาษากรีก 2 คำ คือ “ergon” ซึ่งแปลว่า งาน กับ “nomos” ซึ่งมีความหมายว่า กฎ นำมาใช้ครั้งแรกโดย วอยส์ไซเอช จาสเซโบว์สกี้ (Wojciech Jastrzebowski) ศาสตราจารย์ชาวโปแลนด์ ระหว่าง ค.ศ. 1799-1882 กลุ่มวิชาชีพวิศวกรรมมีศาสตร์ในชื่ออื่นที่มีความหมายไม่แตกต่างกัน อาทิ Human Engineering, Human Factors Engineering, Engineering Psychology, Bioengineering, Biomechanics เป็นต้น



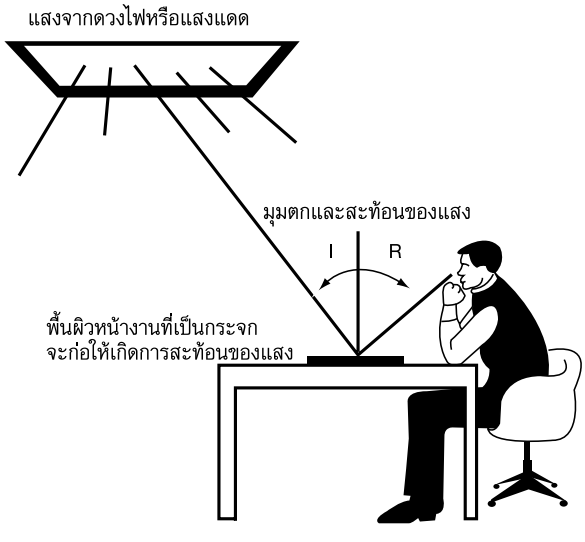
การปฏิบัติงานหน้าจอระบบควบคุมการผลิตในโรงงาน
ที่อาจได้รับผลกระทบจากแสงสะท้อนจากคอมพิวเตอร์

**fitness for duty ความเหมาะสมและความพร้อมของบุคคลในงานที่ทำ**
การบ่งชี้ว่าพนักงานและผู้รับเหมามีความเหมาะสมด้านสุขภาพและจิตใจกับงานและหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัย การใช้สารเสพติดและแอลกอฮอล์ส่งผลถึงความไม่พร้อมในการทำงานและเป็นข้อห้ามพื้นฐานในการทำงาน การสุ่มตัวอย่างตรวจสารเสพติดและแอลกอฮอล์ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เฝ้าระวังความเหมาะสมและความพร้อมของบุคคลในงานที่ทำ

**glare ภาวะแสงจ้า**

แสงจ้าหรือแสงตาพร่า เป็นระดับความเข้มของแสงที่มากเกินไป มีผลต่อการมองเห็นในชั่วระยะเวลาสั้นๆ ขึ้นอยู่กับความไวต่อแสงของตาด้วย แบ่งออกเป็น

1) แสงจ้าโดยตรงและแสงจ้าจากการสะท้อน (direct and indirect glare) ควรหลีกเลี่ยงมิให้เกิดขึ้นในจุดที่ปฏิบัติงาน โดยหลีกเลี่ยงการใช้หลอดไฟเปลือย และพื้นผิวหน้างานที่ไม่สะท้อนแสง
2) แสงจ้าตัดกัน (contrast glare) ในสนามการมองเห็นไม่ควรมีพื้นผิวของวัสดุหรืออุปกรณ์ที่มีความสว่างและความมืดอยู่ด้วยกัน เพราะจะทำให้เกิดความล้าของตาได้จากการปรับตัวให้เข้ากับระดับแสงสว่างที่ต่างกันมากๆ การแก้ไขทำได้โดยหลีกเลี่ยงการทาสีดำ หรือสีมืดที่กำแพง ฝ้า เพดาน เฟอร์นิเจอร์ หรือเครื่องจักร และควรจัดให้มีแสงสว่างเฉพาะที่อย่างเหมาะสม
3) แสงจ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนสิ่งแวดล้อมทันที (transition glare) เกิดขึ้นเมื่อบุคคลออกจากที่มืดแล้วเข้าสู่ที่สว่างมากๆ เช่น การขับรถบรรทุกจากสถานที่เก็บอุปกรณ์ที่มืดออกไปสู่ภายนอกอาคารที่มีแสงแดดจัด เป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ การแก้ไขทำได้โดยเพิ่มระดับความส่องสว่างภายในอาคารหรือสถานที่เก็บของ หรือจัดแว่นตากันแดดสำหรับพนักงานขับรถ




ภาวะแสงจ้าที่เกิดจากการสะท้อนของแสงกับกระจก

**health hazard ภาวะภัยต่อสุขภาพ**

ภาวะและสิ่งแวดล้อมที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ สามารถแบ่งออกได้เป็น

1) ภาวะภัยทางกายภาพ (อันตรายทางกายภาพ) เช่น เสียง แสง ความร้อน รังสี ความสั่นสะเทือน
2) ภาวะภัยทางเคมี (อันตรายจากสารเคมี) เช่น สารอินทรีย์ระเหยง่าย โลหะหนัก ก๊าซ ควันไอโลหะ ฝุ่น
3) ภาวะภัยทางชีวภาพ (อันตรายชีวภาพ) เช่น แบคทีเรีย ไวรัส ปรสิต พืช สัตว์ต่างๆ ที่มีสารพิษ และทำให้เกิดอาการแพ้
4) ภาวะภัยทางการยศาสตร์ (ดู ergonomics) เช่น ลักษณะท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดอาการปวดเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อบริเวณต่างๆ ชั่วโมงและระบบการทำงานที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดความเมื่อยล้าของร่างกายและจิตใจ
5) ภาวะภัยต่อจิตใจ เช่น ความกังวล ความรำคาญ ความเครียด
6) ภาวะภัยทางสังคม เช่น ความสัมพันธ์และการสื่อสารที่ไม่ดีก่อให้เกิดความเบื่อหน่าย ความไม่ไว้วางใจของสังคมและชุมชน



งานฉีดน้ำแรงดันสูงก่อให้เกิดสิ่งคุกคามทางกายภาพ เช่น เสียง



สารเคมีที่ใช้ในโรงงานอาจก่อให้เกิดสิ่งคุกคามทางเคมี

**health impact assessment (HIA) การประเมินผลกระทบทางสุขภาพ (เอชไอเอ)**

การประเมินอย่างเป็นระบบโดยอาศัยวิธีดำเนินการ (procedure) วิธี (method) และเครื่องมือต่างๆ (tool) ในการวิเคราะห์ ประเมินผล และคาดการณ์ผลกระทบทั้งทางบวกและทางลบต่อสุขภาพของประชาชนที่อาจจะเกิดขึ้นจากนโยบาย โครงการ หรือกิจกรรมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ใช้เครื่องมือที่หลากหลาย เช่น การใช้แบบจำลองในการทำนายปล่อยมลพิษทางอากาศ ระบาดวิทยา (ดู epidemiology) การประเมินสิ่งอำนวยความสะดวกด้านการให้บริการสุขภาพ และมีกระบวนการมีส่วนร่วมอย่างเหมาะสม เพื่อสนับสนุนให้เกิดการตัดสินใจที่จะเป็นผลดีต่อสุขภาพของประชาชนทั้งในระยะสั้นและระยะยาว นำไปสู่กระบวนการตัดสินใจในการพัฒนาและการขยายโครงการหรือพื้นที่เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการดำรงไว้ซึ่งสุขภาพอนามัยที่ดีของประชากรที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งช่วยสื่อสารความเสี่ยงและบรรเทาความห่วงกังวลของชุมชน มีขั้นตอนหลักๆ คือ

1) การกลั่นกรองของโครงการ
2) การกำหนดขอบเขตการศึกษาการประเมินผลกระทบ
3) การประเมินผลกระทบซึ่งประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน การประเมินผลกระทบ และจัดลำดับความสำคัญ การเสนอแนะมาตรการป้องกัน เฝ้าระวัง แก้ไขและติดตามตรวจสอบผลกระทบ ตลอดจนการจัดทำรายงาน
4) การพิจารณารายงานและการตัดสินใจ
5) การติดตามตรวจสอบและประเมินผล



การจัดเวทีประชุมรับฟังความคิดเห็นของประชาชน ผู้มีส่วนได้เสีย และภาคส่วนต่างๆ เพื่อกำหนดขอบเขตและแนวทางการศึกษาการประเมินผลกระทบและการจัดเวทีทบทวนร่างรายงานเป็นกิจกรรมที่สำคัญของการประเมินผลกระทบทางสุขภาพ

**health risk assessment (HRA) การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (เอชอาร์เอ)**

การประเมินที่เป็นเครื่องมือ (tool) ด้านอาชีวอนามัย (ดู occupational health) ใช้ในการจัดการเพื่อบ่งชี้ ประเมินและควบคุมภาวะภัยต่อสุขภาพ เพื่อจัดการปัจจัยเสี่ยงต่อสุขภาพในสถานที่ทำงาน ต้องพิจารณาทั้งมาตรการควบคุมที่มีอยู่และที่เสนอให้ดำเนินการ มาตรการควบคุมปัจจัยเสี่ยงต่อสุขภาพที่มีประสิทธิผลสอดคล้องกับหลักเศรษฐศาสตร์ที่สมเหตุสมผล นำผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพมาใช้ในการวางแผนป้องกัน หรือลดการเจ็บป่วยและโรคจากการทำงาน มี 7 ขั้นตอน คือ

1) การกำหนดพื้นที่ หรือบริเวณที่จะทำการประเมิน โดยเลือกและแบ่งพื้นที่ในสถานประกอบการ โรงงาน หรือหน่วยผลิต
2) การชี้ถึงอันตรายหรือปัจจัยเสี่ยงในแต่ละพื้นที่ โดยระบุอันตรายหรือปัจจัยเสี่ยงที่อาจส่งผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน เช่น สารเคมี เสียง ความร้อน
3) การกำหนดกลุ่มผู้ปฏิบัติงานที่จะถูกประเมิน โดยแบ่งผู้ปฏิบัติงานออกเป็นกลุ่มๆ ตามลักษณะงานที่ทำ พื้นที่ โอกาสการสัมผัสอันตราย หรือปัจจัยเสี่ยง
4) การวิเคราะห์งานหรือกิจกรรมของกลุ่มผู้ปฏิบัติงาน โดยวิเคราะห์งานหรือกิจกรรมต่างๆ เพื่อหาความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน พิจารณาจากอันตรายหรือปัจจัยเสี่ยงที่ต้องสัมผัส ความถี่ของการสัมผัส ระยะเวลาในการสัมผัส
5) การประเมินระดับความเสี่ยงของกลุ่มผู้ปฏิบัติงาน โดยการประเมินระดับการสัมผัส ระดับความรุนแรงของปัจจัยเสี่ยงแยกย่อยตามงาน หรือกิจกรรมต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการประเมินความเสี่ยง
6) การจัดการความเสี่ยง โดยเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาจากผลการประเมินความเสี่ยง ที่ได้จากตารางประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ เพื่อนำมาวางแผนลดหรือควบคุมความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพแก่ผู้ปฏิบัติงาน
7) การแสดงผลสรุปจากการประเมินความเสี่ยงในตารางประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ เพื่อนำไปขยายผลหรือประชาสัมพันธ์ ใช้เป็นข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจดำเนินงานของฝ่ายจัดการและผู้ปฏิบัติงาน

บริษัท ..... กลุ่มผู้ถูกประเมิน .....

หน่วยงาน ..... ลักษณะการสัมผัส ☐ TWA ☐ STEL

**ระดับการสัมผัส**

| ระดับความเข้มแข็งของพิษ | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| | ผลการวัด ≥ 100% RV | 100%RV > ผลการวัด ≥ 50% RV | 50%RV > ผลการวัด ≥ 10% RV | 10%RV > ผลการวัด |
| I | | | | |
| II | | | | |
| III | | | | |
| IV | | | | |

RV = ค่าที่ยอมรับให้สัมผัสได้

= ระดับความเสี่ยงสูง = ระดับความเสี่ยงปานกลาง = ระดับความเสี่ยงต่ำ

**ตารางประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ**

**health risk control การควบคุมความเสี่ยงต่อสุขภาพ**

วิธีการที่ใช้ป้องกันการสัมผัส หรือลดโอกาสและความรุนแรงของการสัมผัส ภาวะภัยต่อสุขภาพ (ดู health hazard) ประกอบด้วยการกำจัดแหล่งกำเนิด (elimination) การหาสิ่งทดแทนหรือทางเลือกอื่นที่ไม่ก่อให้เกิดภาวะภัยหรือลดภาวะภัยลง (substitution) การควบคุมทางด้านวิศวกรรม (engineering control) การควบคุมโดยใช้วิธีดำเนินการ (procedure) การใช้อุปกรณ์ป้องกันภาวะภัยส่วนบุคคล (personal protective equipment) การเฝ้าระวังทางด้านสิ่งแวดล้อมและการแพทย์ และการฝึกอบรมให้ความรู้

| | RELIABILITY | COST (Long Term) |
|---|---|---|
| Elimination | High | Low |
| Substitution | | |
| Engineering | | |
| Procedural | | |
| Personal Protective Equipment (PPE) | Low | High |

ลำดับชั้นของวิธีการควบคุมความเสี่ยงต่อสุขภาพ (hierarchy of health risk control)

**hearing conservation การอนุรักษ์การได้ยิน**
การป้องกันและเฝ้าระวังการสูญเสียการได้ยินโดยการบูรณาการวิธีการต่างๆ นิยมเรียกว่าโครงการอนุรักษ์การได้ยิน (hearing conservation program) ประกอบด้วยวิธีการและกิจกรรมหลายด้าน คือ การกำหนดนโยบายและหน้าที่ความรับผิดชอบ การประเมินและการตรวจวัดเสียง การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินโดยใช้เครื่องตรวจวัดการได้ยิน (audiometer) และการเฝ้าระวังด้านการแพทย์ การควบคุมป้องกันเสียงดังโดยเฉพาะที่แหล่งกำเนิดเสียง การฝึกอบรมและการจูงใจ การจัดหาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลจากเสียงดัง



อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลจากเสียงดังชนิดต่างๆ



**industrial hygiene สุขศาสตร์อุตสาหกรรม**
ศาสตร์และศิลป์ในการคาดหมาย (anticipation) การรู้จำ (recognition) การประเมิน (evaluation) และการควบคุม (control) ภาวะและปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในสถานที่ทำงาน ซึ่งอาจก่อให้เกิดการเจ็บป่วย ผลกระทบด้านสุขภาพ ความเป็นอยู่ที่ดี และประสิทธิภาพในการทำงานของผู้ปฏิบัติงานหรือประชากรในชุมชน โปรแกรมสุขศาสตร์อุตสาหกรรมประกอบด้วยการใช้ความรู้ ตลอดจนกระบวนการในการคาดหมายและรู้จำถึงภาวะภัยทางด้านสุขภาพ (ดู health hazard) ที่อาจเกิดจากกระบวนการผลิตและวิธีการทำงาน ดำเนินการประเมินและตรวจวัดระดับปัญหาของภาวะภัยนั้นและทำการควบคุมภาวะภัยดังกล่าว วัตถุประสงค์ของการจัดให้มีโปรแกรมสุขศาสตร์อุตสาหกรรมคือ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับการปกป้องให้ปลอดภัยจากการสัมผัสปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการทำงาน และให้เกิดความมั่นใจว่าสิ่งแวดล้อมในการทำงานได้รับการประเมิน และควบคุมให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสุขภาพ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการทำงานแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ ปัจจัยภาวะภัยทางเคมี (chemical hazards) เช่น ก๊าซไอระเหย ละออง ฝุ่น เส้นใย ไอโลหะ ภาวะภัยทางกายภาพ (physical hazards) เช่น แสง เสียง ความสะเทือน ความร้อน รังสี คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ภาวะภัยทางชีวภาพ (biological hazards) เช่น แมลง เชื้อรา แบคทีเรีย ไวรัส และภาวะภัยทางการยศาสตร์ (ergonomics hazards)



ภาพแสดงเครื่องมือตรวจวัดระดับความเข้มของแสง (ซ้ายมือ) และตรวจวัดระดับความดังของเสียง (ขวามือ)

**industrial hygienist นักสุขศาสตร์อุตสาหกรรม**
บุคคลากรที่ได้รับการศึกษาหรือได้รับการฝึกอบรม และมีความรู้ความเข้าใจสามารถดำเนินโครงการสุขศาสตร์อุตสาหกรรมได้ หรือผู้ประกอบวิชาชีพสุขศาสตร์อุตสาหกรรมที่ได้รับการรับรอง (certified industrial hygienist) บุคคลากรที่จำเป็นในการดำเนินงานตามระบบการจัดการด้านอาชีวอนามัย (ดู occupational health) และความปลอดภัย ทำหน้าที่ให้คำแนะนำ หรือดำเนินการคาดหมาย รู้จำ และประเมินภาวะแวดล้อม โดยการตรวจวัดและเสนอแนะวิธีการควบคุมภาวะภัยจากภาวะแวดล้อมในการทำงาน ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย คือระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้


การปฏิบัติงานเก็บตัวอย่างอากาศของนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรม

**lung function test การทดสอบการทำหน้าที่ของปอด**
การทดสอบเพื่อดูสมรรถภาพการทำงานของปอดและการแลกเปลี่ยนก๊าซในถุงลมปอด ซึ่งอาจเสียหายได้ในกรณีต่างๆ เช่น การสูดเอาสารต่างๆ ในอากาศที่มีความเป็นพิษ หรือสารที่ทำให้เกิดอาการแพ้เข้าไปในร่างกาย ประกอบด้วยการวัดปริมาตรความจุของปอดทั้งแบบสถิต (static) และแบบพลวัต (dynamic) ได้แก่ ความจุปอดปกติ หมายถึง ปริมาตรของลมมากที่สุดที่คนหายใจออกได้หลังจากหายใจเข้าเต็มที่แล้ว (vital capacity (VC)) ปริมาตรของลมที่หายใจออกอย่างรวดเร็วและแรงเต็มที่จากตำแหน่งหายใจเข้าเต็มที่ (forced expiratory volume (FEV)) หรือปริมาตรของลมมากที่สุดที่สามารถหายใจเข้าออกเต็มที่ใน 1 วินาที (maximum ventilatory volume (MVV)) ทั้งนี้ต้องนำค่าที่วัดได้ในแต่ละบุคคลไปเปรียบเทียบกับค่าปกติของกลุ่มประชากรที่มีความใกล้เคียงกันในสถานะ สุขภาพ เพศ อายุ และความสูง


การตรวจสมรรถภาพการทำงานของปอด

**material safety data sheet (MSDS) เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสาร (เอ็มเอสดีเอส)**
เอกสารกำกับสารซึ่งมีข้อมูลและความรู้พื้นฐาน ที่ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานหรือบุคคลที่เกี่ยวข้องปฏิบัติงานอย่างปลอดภัยและถูกสุขลักษณะอนามัย ประกอบด้วยข้อมูลส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งด้านข้อมูลทั่วไป ชื่อการค้า สูตรเคมี บริษัทผู้ผลิต หมายเลขโทรศัพท์กรณีฉุกเฉิน องค์ประกอบที่สำคัญและค่าขีดจำกัดที่ยอมให้สัมผัสได้ ข้อมูลด้านกายภาพ ข้อมูลอันตรายการติดไฟและการระเบิด ข้อมูลอันตรายด้านสุขภาพอนามัย ข้อมูลสมบัติการเกิดปฏิกิริยา วิธีการปฏิบัติกรณีมีการรั่วไหลหรือหกการปฐมพยาบาลเบื้องต้น และข้อมูลอื่นๆ ที่เป็นแนวทางเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานที่มีโอกาสสัมผัสกับสารนั้น เช่น ชนิดของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล การระบายอากาศ และข้อควรระวังเป็นพิเศษ



ป้ายแสดงข้อมูลสารเคมีเพื่อการทำงานกับสารเคมีอย่างปลอดภัย


การตรวจวัดสมรรถภาพการได้ยิน


การใช้อุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจให้เหมาะสมกับประเภทของงาน

**noise induced hearing loss การสูญเสียการได้ยินจากเสียง**
การสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน ซึ่งมีสาเหตุมาจากการรับเสียงเกินปริมาณของเสียงที่กำหนดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (dose) ซึ่งมีผลต่อเซลล์ในหู การสัมผัสเสียงที่ดังทำให้เกิดการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน 2 ระดับ คือ การสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินแบบชั่วคราว (temporary threshold shift) ซึ่งมักทำให้ความสามารถในการได้ยินเสียงความถี่สูงลดลง หูอื้อ หรือมีอาการเสียงก้องในศีรษะร่วมด้วย (tinnitus) อาการเหล่านี้มักเกิดขึ้นใน 2 ชั่วโมงแรกของการทำงานที่สัมผัสเสียงดังอย่างต่อเนื่อง และการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินอย่างถาวร (permanent threshold shift) ซึ่งเกิดจากการสัมผัสเสียงดังซ้ำๆ กันเป็นระยะเวลานานโดยไม่มีการป้องกันที่เหมาะสม การสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินอย่างถาวรไม่สามารถรักษาให้หายได้ การตรวจกระทำโดยใช้เครื่องมือวัดความไวของการได้ยินของคน (audiometer) มีหน่วยเป็นเดซิเบล

**occupational cancer มะเร็งที่เกิดจากงานอาชีพ**
เซลล์ของร่างกายที่มีการเจริญเติบโตผิดปกติโดยที่ร่างกายไม่สามารถควบคุมได้ เป็นเนื้องอกชนิดร้าย (malignant tumor) ที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำลายอวัยวะส่วนที่ปกติดี เซลล์ของเนื้องอกสามารถกระจายสู่อวัยวะอื่นๆ ของร่างกายได้ด้วย สาเหตุของการเกิดเนื้องอกชนิดนี้พิสูจน์โดยวินิจฉัยด้านการแพทย์ว่าเกิดจากการทำงานหรือการประกอบอาชีพ ซึ่งมีการสัมผัสภาวะภัยต่อสุขภาพที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมในการทำงาน เช่น การสัมผัสรังสี สารเคมีบางชนิด เป็นต้น ภาวะภัยต่อสุขภาพที่ก่อให้เกิดเนื้องอกชนิดร้าย เรียกว่า สารก่อมะเร็ง (ดู carcinogen)

**occupational disease โรคที่เกิดจากงานอาชีพ**
โรคที่เกิดจากสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสมโดยมีการสัมผัสปัจจัยสภาพแวดล้อมในการทำงานติดต่อกันเป็นระยะเวลานานจนทำให้เกิดความเจ็บป่วยจากการทำงานขึ้น (occupational illness) เช่น การสัมผัสกับสารตะกั่วเป็น

เวลานานจนทำให้เกิดโรคพิษตะกั่ว การสัมผัสสารอินทรีย์ไอระเหยจนทำให้เกิดความผิดปกติของอวัยวะภายใน การสัมผัสสารจนทำให้เป็นโรคผิวหนัง การสัมผัสเสียงจนทำให้มีการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน (ดู noise induced hearing loss) การวินิจฉัยว่าเป็นโรคจากงานอาชีพหรือไม่ต้องกระทำโดยแพทย์ด้านอาชีวเวชศาสตร์และพิจารณา วิเคราะห์ข้อมูลประวัติการทำงาน และภาวะภัยสุขภาพที่พบในที่ทำงานร่วมด้วย

**occupational exposure limit (OEL) ขีดจำกัดการรับสัมผัสในงานอาชีพ (โออีแอล)**

ระดับความเข้มข้นของสาร และ/หรือปัจจัยเสี่ยงต่อสุขภาพในสถานที่ทำงาน ซึ่งเชื่อว่าผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่รับสัมผัสได้วันแล้ววันเล่าตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ ค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อเป็นแนวทาง หรือข้อเสนอแนะในการประเมินและควบคุมอันตรายต่อสุขภาพ ซึ่งเกิดจากสารที่แฝงอยู่ในสถานที่ทำงาน องค์กรต่างๆ กำหนดค่าโออีแอลและเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น หน่วยงานด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของกระทรวงแรงงาน ประเทศสหรัฐอเมริกา (ดู Occupational Safety and Health Administration (OSHA)) เรียกว่า ขีดจำกัดการรับสัมผัสที่ยอมได้ (ดู permissible exposure limit (PEL)) องค์กรอิสระของนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรม ประเทศสหรัฐอเมริกา (ดู American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH)) เรียกว่า ขีดเริ่มเปลี่ยนการรับสัมผัส (ดู threshold limit value) สถาบันแห่งชาติด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัย ประเทศสหรัฐอเมริกา (NIOSH) เรียกว่า ขีดจำกัดการรับสัมผัสที่แนะนำ (recommended exposure limit (REL)) ค่าโออีแอลมี 3 ประเภท คือ ขีดจำกัดเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงาน (time-weighted average (TWA)) ขีดจำกัดการรับสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ (short-term exposure limit (STEL)) และขีดจำกัดสูงสุด (ceiling (C)) สารส่วนใหญ่มีขีดจำกัดเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงานเพียงค่าเดียวหรือมีขีดจำกัดการรับสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ ที่สัมพันธ์กัน แต่สำหรับสารบางชนิด เช่น ก๊าซที่ก่อการระคายเคือง มีเพียงค่าขีดจำกัดสูงสุดเท่านั้น ถ้าสารใดในสิ่งแวดล้อมในการทำงานมีค่าโออีแอลประเภทใดก็ตามสูงเกินไป สันนิษฐานได้ว่าสถานที่ทำงานหรือวิธีการทำงานนั้น มีความเสี่ยงที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพจากสารนั้นๆ (ดู permissible exposure limit (PEL) ประกอบ)

**occupational health อาชีวอนามัย, อาชีวะอนามัย**

สุขภาพของผู้ประกอบอาชีพ การดำเนินงานด้านอาชีวอนามัยประกอบด้วยการตระหนัก การบ่งชี้ การประเมิน และการควบคุมสภาพและปัจจัยที่มีหรืออาจมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งครอบคลุมทั้งพนักงาน ลูกจ้าง ผู้รับเหมา โดยมีวัตถุประสงค์คือ ป้องกันการเจ็บป่วยและการเป็นโรคอันเนื่องมาจากการทำงาน ต้องใช้บุคลากรที่ได้รับการศึกษาและการฝึกอบรมตามหลักสูตรที่ได้รับการยอมรับ ได้แก่ แพทย์ด้านอาชีวเวชศาสตร์ (occupational medicine) ผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวอนามัย (occupational health specialist) พยาบาลอาชีวอนามัย (occupational health nurse) นักสุขศาสตร์อุตสาหกรรม (ดู industrial hygienist) เป็นต้น

**occupational health management system ระบบการจัดการอาชีวอนามัย**

ระบบการบริหารจัดการการดูแลสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานอย่างเป็นระบบ (systematic approach) ช่วยให้องค์กรจัดการและควบคุมความเสี่ยงด้านอาชีวอนามัย (ดู occupational health) และความปลอดภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง กรอบการดำเนินงานตามระบบการจัดการอาชีวอนามัยประกอบด้วยการกำหนดนโยบาย การวางแผน การนำไปใช้และการปฏิบัติ การตรวจสอบและแก้ไข การทบทวนการจัดการและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างมาตรฐานที่เกี่ยวกับระบบการจัดการอาชีวอนามัย ได้แก่ BS OHSAS 18001:2007 (occupational health and safety management system : requirements) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 18011-2549 ระบบการจัดการอาชีวอนามัย และความปลอดภัย: แนวทางการตรวจประเมินระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

**Occupational Safety and Health Administration (OSHA) หน่วยงานด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัย ประเทศสหรัฐอเมริกา (โอชา)**

หน่วยงานของรัฐที่ก่อตั้งขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาเมื่อ พ.ศ. 2514 ซึ่งเป็นปีที่กฎหมายด้านอาชีวอนามัย (ดู occupational health) และความปลอดภัย (Williams-Steiger Occupational Safety and Health Act) มีผลบังคับใช้อยู่ภายใต้การดูแลของกระทรวงแรงงาน ซึ่งมีบทบาทหน้าที่บังคับใช้และออกกฎหมายลูก เพื่อคุ้มครองความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยของผู้ประกอบอาชีพ กฎหมายและมาตรฐานที่ออกโดยหน่วยงานนี้ได้รับการอ้างอิงอย่างแพร่หลาย รวมถึงการนำมาใช้ในการเรียนการสอนระดับอุดมศึกษาในประเทศต่างๆ รวมทั้งประเทศไทย นอกจากการบังคับใช้กฎหมายโดยเจ้าหน้าที่ผู้มีอำนาจหน้าที่ในการเข้าตรวจสถานประกอบการ โดยไม่จำเป็นต้องแจ้งล่วงหน้าแล้ว ยังจัดทำโครงการเพื่อสนับสนุนความสมัครใจของนายจ้าง เจ้าของผู้ประกอบการ ในโครงการปรับปรุงเพื่อให้สถานประกอบการมีความปลอดภัย ตลอดจนมีสิ่งแวดล้อมในการทำงานที่ถูกสุขลักษณะอนามัยมากขึ้น

**permissible exposure limit (PEL) ขีดจำกัดการรับสัมผัสที่ยอมได้ (พีอีแอล)**
ขีดจำกัดที่ยอมให้ผู้ปฏิบัติงานรับสัมผัสได้ในสถานที่ทำงาน กำหนดโดยหน่วยงานด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของกระทรวงแรงงาน ประเทศสหรัฐอเมริกา (ดู occupational safety and health administration (OSHA) และดู occupational exposure limit (OEL) ประกอบ)

**pneumoconiosis โรคฝุ่นจับปอด**
โรคปอดที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นที่มีขนาดเล็ก และทำให้เกิดพยาธิสภาพของพังผืดขึ้นในเนื้อเยื่อปอดบริเวณถุงลมปอด ทำให้แน่นหน้าอก หายใจลำบาก เช่น โรคฝุ่นหินจับปอด (silicosis) ที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นซิลิกาเข้าไป โรคใยหินจับปอด (asbestosis) ที่เกิดจากการหายใจเอาเส้นใยของแร่ใยหินเข้าไปในปอด

**product stewardship การดูแลและรับผิดชอบต่อผลิตภัณฑ์**
เครื่องมือที่ส่งเสริมกระตุ้นให้ทุกคนที่มีส่วนได้เสีย มีความตระหนักและมีส่วนร่วมในวงจรชีพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเริ่มตั้งแต่การจัดสรรวัตถุดิบ การผลิต การครอบครอง การจัดจำหน่าย การขนส่ง การใช้และการกำจัดกากผลิตภัณฑ์ โดยคำนึงถึงผลกระทบด้านสุขภาพอนามัย ความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากขั้นตอนและกิจกรรมต่างๆ ในวงจรชีพของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เจ้าของกิจการ ผู้ผลิต พนักงานและผู้รับเหมา ผู้ขนส่ง ผู้จัดจำหน่าย และผู้บริโภค มีส่วนร่วมในระบบการจัดการความเสี่ยงด้านสุขภาพอนามัย ความปลอดภัย สิ่งแวดล้อม และคุณภาพของผลิตภัณฑ์

**Raynuad's disease โรคที่เกิดจากการหดเกร็งของหลอดเลือด**
โรคที่เกิดจากการหดเกร็งของหลอดเลือดโดยเฉพาะที่นิ้วมือ เกิดการซีดและเขียวเนื่องจากขาดเลือดไปหล่อเลี้ยง เกิดจากการทำงานกับความเย็น หรือทำงานกับเครื่องจักรกลที่มีความสั่นสะเทือน หรือเรียกว่า กลุ่มอาการหดเกร็งของหลอดเลือด (Raynuad's syndrome)




วงจรชีวิตของการดูแลและรับผิดชอบต่อผลิตภัณฑ์

**respiratory protection การป้องกันระบบทางเดินหายใจ**
การคุ้มครองป้องกันสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งมีโอกาสสัมผัสสารมลพิษที่เข้าสู่ร่างกายผ่านทางระบบทางเดินหายใจ เช่น ฝุ่น เส้นใย ควันไอโลหะ ละอองของเหลว ก๊าซ และไอ ตลอดจนภาวะออกซิเจนไม่เพียงพอ กิจกรรมการคุ้มครองป้องกันระบบทางเดินหายใจครอบคลุมการกำหนดบทบาทหน้าที่ของหัวหน้างานและผู้ปฏิบัติงาน การให้ความรู้และการอบรมผู้ปฏิบัติงาน การจัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เหมาะสมกับงานและการดูแลรักษา การประเมินและตรวจวัดสภาพแวดล้อมอย่างสม่ำเสมอ ระบบดูดระบายอากาศเสียที่มีประสิทธิภาพ ระบบการทำงานและการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย การสังเกตการทำงานเพื่อดำรงไว้ซึ่งการทำงานที่ปลอดภัย รวมทั้งการจัดให้มีการตรวจสมรรถภาพการทำงานของปอดและการตรวจสุขภาพประจำปี

**temporary threshold shift (TTS) การสูญเสียการได้ยินแบบชั่วคราว (ทีทีเอส)**
การสูญเสียสมรรถภาพทางการได้ยินแบบชั่วคราว ซึ่งเกิดจากการสัมผัสเสียงจากการทำงาน และเมื่อออกจากบริเวณที่มีเสียงดังนั้นเป็นระยะเวลาพอสมควรก็จะสามารถหายเป็นปกติได้ ด้วยเหตุผลของการเกิด TTS หลังจากการสัมผัสเสียงดังนี้เอง ทำให้การตรวจสมรรถภาพการได้ยินนั้นต้องทำ



อุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจ

หลังจากคนงานสัมผัสเสียงดัง หยุดการสัมผัสผ่านไปแล้ว 16 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้ผลการตรวจสมรรถภาพการได้ยินได้ค่าที่ถูกต้อง อย่างไรก็ตาม ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้และจำเป็นต้องทำการตรวจสมรรถภาพการได้ยินหลังการทำงาน ต้องให้คนงานสวมใส่ที่ครอบหูหรือที่อุดหูขณะทำงาน ก่อนที่จะนำคนงานมาตรวจสมรรถภาพการได้ยิน

**threshold limit value (TLV) ขีดเริ่มเปลี่ยนการรับสัมผัส (ทีแอลวี)**
ขีดจำกัดที่ยอมให้สัมผัสได้ในสถานที่ทำงาน กำหนดโดยองค์กรอิสระของนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรม ประเทศสหรัฐอเมริกา (ดู American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH))

**volatile organic compounds (VOCs) สารอินทรีย์ไอระเหย (วีโอซี)**
สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอ กระจายตัวไปในอากาศที่อุณหภูมิและความดันปกติ ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นหลัก อาจมีออกซิเจนหรือคลอรีนร่วมด้วย กลุ่มตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) ที่อุณหภูมิปกติอยู่ในรูปของเหลว มีสมบัติชะล้างไขมันและละลายสารเคมีอื่นๆ ได้ดี มีกลิ่นหอมฉุน ระเหยได้ง่าย ไวไฟ และมีอันตรายต่อร่างกาย มีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น เบนซีน ทอลิวอีน สไตรีน ไซลีน บิวทาไดอีน ไวนิลคลอโรเอทิลีน แอลกอฮอล์ แอซีโทน ฟอร์มาลิน เป็นต้น นิยมใช้ในอุตสาหกรรมและกิจกรรมประเภทต่างๆ เช่น การผลิตสารเคมี อุตสาหกรรมปิโตรเคมี การกลั่นน้ำมัน การผลิตสี การผลิตกาว แลกเกอร์ น้ำมันสน การผลิตเครื่องหนัง การชะล้างโลหะ การสกัดน้ำมันจากพืชและสมุนไพร การผลิตสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ การผลิตเครื่องสำอาง การผลิตน้ำหอม การผลิตสเปรย์ การผลิตเวชภัณฑ์ การผสมสารเคมีในห้องปฏิบัติการ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังพบได้ในควันบุหรี่ และการทำกิจกรรมต่างๆ ในชุมชน เช่น สถานีบริการน้ำมัน การจราจรและการขนส่ง การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช การก่อสร้าง เป็นต้น

สารวีโอซีเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ได้แก่
1) การหายใจ โดยหายใจเข้าสู่ร่างกายได้มากกว่าทางอื่น
2) การดูดซึมผ่านผิวหนัง สารวีโอซีซึมผ่านผิวหนังได้ดีและจะทำลายชั้นไขมันของผิวหนังและเนื้อเยื่อของผิวหนัง
3) ทางปาก โดยการรับประทานอาหารหรือดื่มน้ำที่ปนเปื้อน อันตรายต่อสุขภาพมีทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง และอันตรายจากเหตุฉุกเฉิน เช่น การรั่วไหล เพลิงไหม้และการระเบิด (ดู emergency หมวดความปลอดภัย ประกอบ)



การตรวจวัดระดับสารอินทรีย์ระเหยง่าย

# ความปลอดภัย

**accident อุบัติเหตุ**
เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยไม่คาดคิด ไม่ได้ตั้งใจให้เกิดขึ้น ไม่มีการกำหนดล่วงหน้า ไม่สามารถควบคุมได้ ทั้งสถานที่ เวลา ขอบเขต ขนาดของความรุนแรง ตลอดจนผลกระทบและความเสียหายที่เกิดขึ้น ทั้งต่อบุคคล ทรัพย์สิน กระบวนการผลิต สิ่งแวดล้อม และสังคม โดยอาจเกิดขึ้นเพียงระยะเวลาสั้นๆ หรือส่งผลเป็นระยะเวลายาวนาน ตัวอย่างการเกิดอุบัติเหตุในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ได้แก่ การบาดเจ็บจากการสัมผัสความเย็น การขาดอากาศหายใจ การตกจากที่สูง การพังทลายของโครงสร้าง การเกิดเพลิงไหม้ และการระเบิด เป็นต้น (ดู incident ประกอบ)



กระบวนการผลิตหยุดชะงัก



ชุมชนได้รับผลกระทบ




การบาดเจ็บ เจ็บป่วย หรือเสียชีวิต









ทรัพย์สินเสียหาย



สิ่งแวดล้อมเสียหาย

**American National Standard Institute (ANSI) สถาบันมาตรฐานแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (แอนซี)**

สถาบันเอกชนของประเทศสหรัฐอเมริกา จัดตั้งขึ้นโดยไม่หวังผลกำไรใดๆ เพื่อทำหน้าที่กำหนดและควบคุมมาตรฐานของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ รวมทั้งอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างเช่น การกำหนดแนวทางการคำนวณสถิติด้านความปลอดภัยในการทำงาน ได้แก่ อัตราความถี่ของการบาดเจ็บ (Injury Frequency Rate (IFR)) และอัตราความรุนแรงของการบาดเจ็บ (Injury Severity Rate (ISR)) โดยรายละเอียดการคำนวณกำหนดไว้ ดังนี้

อัตราความถี่ของการบาดเจ็บจะคำนวณจากจำนวนรายของพนักงานที่ได้รับบาดเจ็บ เนื่องจากการทำงานในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (กำหนดให้ใช้ชั่วโมงการทำงาน 1,000,000 ชั่วโมง เป็นช่วงเวลาการทำงานมาตรฐานที่ใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบ) สามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ดังนี้

$$IFR = (N \times 1{,}000{,}000)/MH$$

เมื่อ : N = จำนวนรายผู้ที่ได้รับบาดเจ็บในหน่วยงาน (number of injured workers)
MH = จำนวนชั่วโมงการทำงานทั้งสิ้นของพนักงาน (total workers man hours)

อัตราความรุนแรงของการบาดเจ็บจะคำนวณจากจำนวนวันทั้งหมดที่พนักงานต้องหยุดงานเพื่อรักษาพยาบาลเนื่องจากการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน จนกว่าจะกลับไปทำงานใหม่ได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (กำหนดให้ใช้ชั่วโมงการทำงาน 1,000,000 ชั่วโมง เป็นช่วงเวลาการทำงานมาตรฐานที่ใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบ) สามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ดังนี้

$$ISR = (DL \times 1{,}000{,}000)/MH$$

เมื่อ : DL = จำนวนวันที่หยุดงานหรือสูญเสียไปเนื่องจากการเกิดการบาดเจ็บ (number of days lost)
MH = จำนวนชั่วโมงการทำงานทั้งสิ้นของพนักงาน (total workers man hours)

**boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) การระเบิดจากแรงดันไอของของเหลวเดือด**

การระเบิด (ดู explosion) ซึ่งเกิดจากแรงดันของไอระเหยภายในภาชนะบรรจุ (vessel) ของเหลวไวไฟ เกิดจากภาชนะบรรจุถูกไฟเผา ทำให้ของเหลวภายในมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเดือด เกิดไอระเหยสะสมมากขึ้นต่อเนื่องตามระยะเวลาของการถูกความร้อน เมื่อแรงดันของไอระเหยภายในถังสูงขึ้นมากจนเกินขีดจำกัดของภาชนะบรรจุ ทำให้ภาชนะบรรจุแตกออกเป็นเสี่ยงๆ เกิดการระเบิดรุนแรง



การระเบิดจากแรงดันไอของของเหลวเดือด



ระบบสารดับเพลิงสะอาด

**clean agent system ระบบสารดับเพลิงสะอาด**
ระบบดับเพลิงซึ่งใช้สารดับเพลิงที่สะอาด เมื่อเพลิงดับแล้วไม่ทำให้อุปกรณ์และทรัพย์สินได้รับความเสียหาย รวมทั้งต้องไม่นำไฟฟ้า หลังการใช้งานต้องระเหยทั้งหมดจนไม่เหลือสารตกค้าง

**cold work งานทั่วไป**
งานหรือกิจกรรมที่ไม่มีการใช้ความร้อนหรือประกายไฟ หรือที่ผู้อนุญาตไม่ต้องการให้เกิดความร้อนหรือประกายไฟโดยเด็ดขาด เช่น งานตรวจสอบเครื่องจักร อุปกรณ์ งานทำสวน งานตรวจวัดสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ปฏิบัติงาน เป็นต้น

**crisis management การจัดการภาวะวิกฤติ**
การจัดการกับผลกระทบระยะยาวที่เกิดจากภาวะฉุกเฉินหรือเหตุอื่น ซึ่งส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานหรือธุรกิจขององค์กร เช่น การจัดการด้านการเงิน การจัดการด้านกฎหมาย การประสานงานกับลูกค้า การดำเนินการเพื่อภาพลักษณ์ขององค์กร เป็นต้น




แนวคิดในการจัดการภาวะวิกฤติ

**dry run การซักซ้อมการปฏิบัติ**
การฝึกวิธีการปฏิบัติงานหรือฝึกปฏิบัติตามหน้าที่ เฉพาะงานหรือเฉพาะหน้าที่โดยไม่ใช้วัสดุอุปกรณ์จริง ต่างจากการฝึกปฏิบัติแผนฉุกเฉิน (ดู emergency drill) เช่น การฝึกปฏิบัติของทีมดับเพลิงในการนำรถเข้าพื้นที่เกิดเหตุ การฝึกต่อสายน้ำดับเพลิงกับจุดจ่ายน้ำ (ดู hydrant) โดยไม่เปิดน้ำ เป็นต้น

**emergency ภาวะฉุกเฉิน**
ภาวะที่เกิดอุบัติภัยทำให้เกิดอันตรายหรืออันตรายแฝงสูง ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วไม่สามารถควบคุมได้ หรือต้องเสียเวลาจัดการควบคุมนานกว่าจะกลับสู่ภาวะปกติ ส่งผลกระทบต่อชีวิต ทรัพย์สิน สิ่งแวดล้อม และภาพลักษณ์ขององค์กร เช่น ก๊าซไวไฟหรือก๊าซพิษรั่ว เพลิงไหม้ ระเบิด สารไวไฟหรือสารเคมีรั่วไหลหกล้น และรังสีรั่วไหล เป็นต้น

**emergency drill การฝึกปฏิบัติแผนฉุกเฉิน**
การฝึกวิธีการปฏิบัติงานหรือฝึกปฏิบัติตามหน้าที่ เฉพาะงานหรือเฉพาะหน้าที่ เช่น การฝึกวิธีการชำระล้างสารเคมีของหน่วยดับเพลิงและกู้ภัย หรือการฝึกการแจ้งเหตุของพนักงานสื่อสาร เป็นต้น (ดู dry run ประกอบ)

**emergency exercise การฝึกซ้อมแผนฉุกเฉิน**
การฝึกซ้อมการปฏิบัติตามนโยบาย แผนงาน ขั้นตอนการปฏิบัติงานของแต่ละหน่วยงาน ตั้งแต่การป้องกัน การตอบสนองภาวะฉุกเฉิน การฟื้นฟูสภาพแวดล้อม การติดต่อสื่อสาร การประสานงานทั้งภายในและภายนอกองค์กร เพื่อประเมินถึงความพร้อมของทรัพยากร การปฏิบัติการและความรู้ ความเข้าใจในหน้าที่ความรับผิดชอบ เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงพัฒนาต่อไป บางครั้งเรียกว่า การฝึกซ้อมเต็มรูปแบบ (full-scale exercise) เป็นการปฏิบัติจริงเกือบทุกขั้นตอนของการปฏิบัติที่กำหนดไว้ในแผนปฏิบัติการ เช่น การฝึกซ้อมแบบปฏิบัติการภาคสนาม (field training exercise (FTX)) มีการจัดตั้งศูนย์บัญชาควบคุมภาวะฉุกเฉินกับศูนย์สั่งการของหน่วยปฏิบัติที่อยู่ในพื้นที่ และการปฏิบัติการของทีมตอบสนองภาวะฉุกเฉิน

**emergency management การจัดการภาวะฉุกเฉิน**
การจัดการด้านต่างๆ เพื่อป้องกัน เตรียมความพร้อม ตอบสนองหรือลดผลกระทบจากภาวะฉุกเฉิน (ดู emergency) เพื่อให้กิจกรรมขององค์กรดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่องในระหว่างเกิดอุบัติภัย รวมถึงการฟื้นฟูภายหลังเกิดอุบัติภัย ซึ่งส่งผลกระทบต่อชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนการดำเนินกิจการขององค์กรด้วย

**emergency response team (ERT) ทีมตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน**
กลุ่มบุคคลที่องค์กรได้กำหนดขึ้นให้มีหน้าที่ความรับผิดชอบในการตอบสนองภาวะฉุกเฉิน เป็นตัวแทนของแต่ละหน่วยงานที่มีความจำเป็นในการตอบสนองภาวะฉุกเฉิน (ดู emergency) ได้แก่ ผู้ทำหน้าที่ผู้อำนวยการดับเพลิง หัวหน้าทีมดับเพลิงและกู้ภัย ผู้ประสานงาน ช่างซ่อมบำรุง เจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิต เจ้าหน้าที่สื่อสารองค์กร เจ้าหน้าที่บุคคล และเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหารทั่วไป เป็นต้น โดยต้องกำหนดให้มีช่องทางการสื่อสารและแจ้งเหตุที่มีประสิทธิภาพให้กับผู้ทำหน้าที่ดังกล่าว

**excavation work งานเจาะและงานขุด**
งานเจาะหรือขุดหลุมในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ซึ่งอาจเกิดอันตรายได้ตลอดเวลา ที่สำคัญมี 2 ลักษณะ คือ การเกิดอุบัติเหตุต่อผู้ปฏิบัติงาน เช่น การพังทลายของดินทับผู้ปฏิบัติงาน การตกลงไปในหลุมที่ขุด และการขุดหรือเจาะโดนอุปกรณ์ที่ฝังไว้ในผนังหรือใต้ดิน จำเป็นต้องกำหนดให้มีระบบควบคุมความปลอดภัย (ดู safety) ในช่วงดังกล่าวอย่างเข้มงวด ซึ่งต้องเป็นไปตามมาตรการป้องกันการพังทลายของดิน โดยการใช้แผ่นโลหะป้องกันดินทลายและการทำรั้วรอบบริเวณที่ขุดเพื่อป้องการการตกหล่น เป็นต้น ก่อนการขุดเจาะต้องผ่านขั้นตอนการขออนุญาตงานขุดเจาะ เพื่อให้มีการตรวจสอบว่ามีอุปกรณ์ฝังอยู่ใต้ดินอยู่ในบริเวณที่ขุดเจาะหรือไม่ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น



งานเจาะและงานขุด

**explosion การระเบิด**

การปลดปล่อยก๊าซที่มีแรงดันสูงอย่างรุนแรงและรวดเร็วสู่สภาพแวดล้อม พลังงานที่ปลดปล่อยออกมากลายเป็นคลื่นกระแทก (shock wave) ระดับการส่งผลต่อสภาพแวดล้อมมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับอัตราการปลดปล่อย ความดันขณะระเบิด ปริมาณ ทิศทาง อุณหภูมิ ลักษณะการระเบิดของก๊าซไวไฟแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ การไหม้ปะทุ (deflagration) หมายถึง การระเบิดของก๊าซไวไฟที่เผาไหม้อย่างช้าๆ ตัวอย่างเช่น สารไฮโดรคาร์บอนมีความเร็วของการไหม้ปะทุประมาณ 1 เมตร/วินาที เท่าๆ กับความเร็วของเปลวไฟ และการระเบิดรุนแรง (detonation) หมายถึง การระเบิดของก๊าซไวไฟที่เผาไหม้อย่างรวดเร็วและปลดปล่อยพลังงานสูงมาก ตัวอย่างเช่น สารไฮโดรคาร์บอนมีความเร็วจากการระเบิด 2,000-3,000 เมตร/วินาที และความดันที่เกิดจากการระเบิดรุนแรงมีค่ามากกว่าความดันจากการไหม้ปะทุ

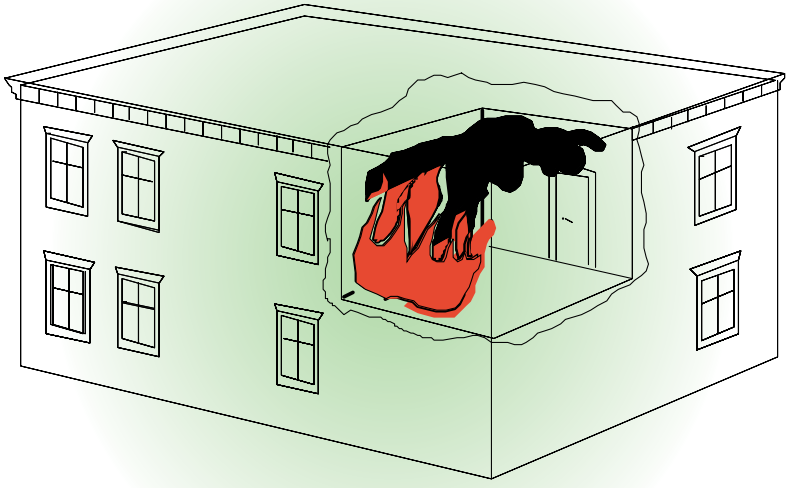
**fireball ลูกไฟขนาดใหญ่**

ลูกไฟขนาดใหญ่ที่เกิดจากการรั่วไหลของสารไวไฟอย่างรวดเร็วมากในช่วงแรก เนื่องจากภาชนะบรรจุ (vessel) ฉีกขาด ทำให้ไอฟุ้งกระจายสู่บรรยากาศ จากนั้นลดขนาดลงอย่างรวดเร็ว และถ้ามีการจุดระเบิดจากการเกิดไฟฟ้าสถิตหรือการเกิดประกายไฟ อาจเกิดไฟ ไฟพุ่งเป็นลำ (ดู jet fire) ตามมา อันตรายของไฟลูกใหญ่ส่วนใหญ่เกิดจากปริมาณการแผ่รังสีความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมหาศาลในเวลาอันรวดเร็ว แต่เนื่องจากเวลาการเกิดไฟลูกใหญ่สั้นมาก ความเสียหายที่เกิดจะไม่รุนแรงเท่ากับไฟพวยลมซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นเวลานาน



การเกิดลูกไฟขนาดใหญ่

**fire compartment การกั้นแยกอาคารเพื่อควบคุมขนาดอัคคีภัย**
การควบคุมบริเวณที่เกิดอัคคีภัยไม่ให้เพลิงลุกลามออกจากพื้นที่ เปลวไฟถูกควบคุมและกั้นแยกออกจากบริเวณอื่นด้วยผนังทนไฟและพื้น

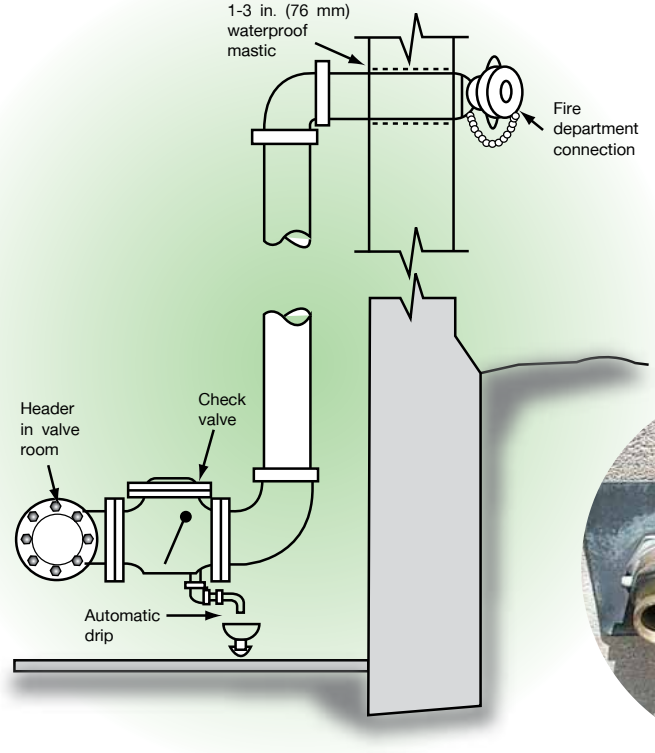




การกั้นแยกอาคารเพื่อควบคุมขนาดอัคคีภัย



**fire department connection ข้อต่อรับน้ำดับเพลิง**
ข้อต่อสำหรับพนักงานดับเพลิงใช้ต่อสายส่งน้ำ เพื่อส่งน้ำเข้าไปในระบบดับเพลิง หัวต่อมีทั้งแบบสวมเร็ว และแบบเกลียวมีลิ้นกันไหลย้อนกลับ หัวรับน้ำจะต้องมีหัวต่ออย่างน้อยสองทาง





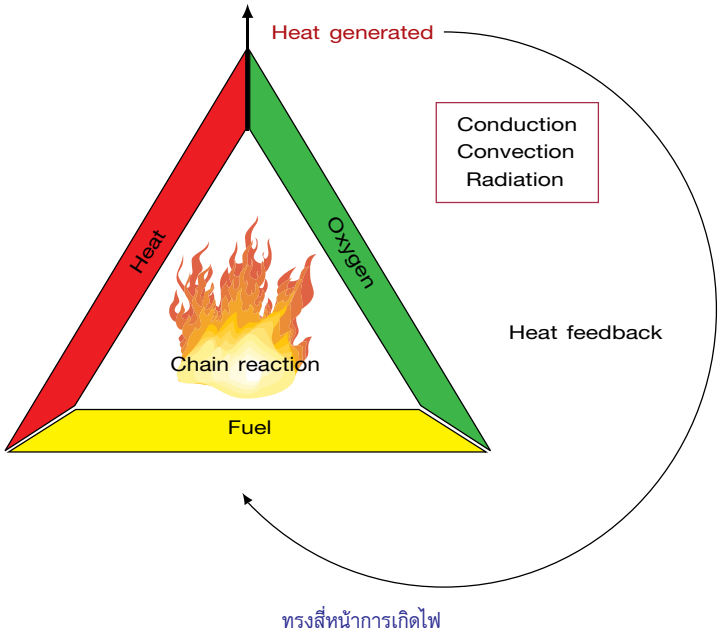

ข้อต่อรับน้ำดับเพลิง

**fire pump เครื่องสูบน้ำดับเพลิง, ปั๊มน้ำดับเพลิง**
เครื่องสูบน้ำซึ่งสามารถสูบน้ำได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 150 ของปริมาณสูบน้ำที่กำหนด โดยมีความดันทางด้านส่งไม่ต่ำกว่าร้อยละ 65 ของความดันที่กำหนด เมื่อปิดวาล์วทางด้านส่งจนแน่นสนิท ความดันน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 140 ของความดันที่กำหนด



ปั๊มน้ำดับเพลิง

**fire tetrahedron ทรงสี่หน้าการเกิดไฟ**
องค์ประกอบการเกิดไฟต้องประกอบด้วย 3 ประการ คือ เชื้อเพลิง (fuel) ออกซิเจน (oxygen) ซึ่งในบรรยากาศทั่วไปมาจากอากาศ และความร้อน (heat) หรือประกายไฟ แสดงโดยรูปสามเหลี่ยม แต่การรักษาเปลวไฟหรือการเผาไหม้ให้เกิดอย่างต่อเนื่องต้องมีองค์ประกอบที่ 4 ร่วมด้วย คือ การทำให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (combustion reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง องค์ประกอบทั้งสี่แสดงโดยรูปทรงสี่หน้า ความร้อนที่ผลิตจากการเผาไหม้ (heat generated) ต้องถูกป้อนกลับ (heat feedback) ไปยังส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิเจนตลอดเวลา




ทรงสี่หน้าการเกิดไฟ

**fire triangle สามเหลี่ยมการเกิดไฟ**

องค์ประกอบการเกิดไฟต้องประกอบด้วย 3 ประการ คือ เชื้อเพลิง (fuel) ออกซิเจน (oxygen) ซึ่งในบรรยากาศทั่วไปมาจากอากาศ และความร้อน (heat) หรือประกายไฟ องค์ประกอบทั้งสามแสดงโดยรูปสามเหลี่ยม ต้องมีองค์ประกอบทั้งสามครบจึงจะเกิดไฟหรือการเผาไหม้ หรือทำให้ไฟที่ลุกไหม้อยู่ลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง ถ้าขาดองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งแล้วจะไม่เกิดไฟ หรือจะทำให้ไฟที่กำลังลุกไหม้อยู่ดับลง ทั้งนี้เงื่อนไขที่ทำให้ไฟติด คือ ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศที่เหมาะสม นอกจากนั้น ประกายไฟจะทำให้ไฟติดได้ ต้องให้ความร้อนหรือพลังงานมากพอที่จะทำให้ส่วนผสมมีอุณหภูมิจุดไฟติดได้

**flash fire ไฟพลุ่ง**

ไฟซึ่งเกิดจากก๊าซไวไฟที่รั่วไหลออกสู่บรรยากาศ เกิดการจุดระเบิดขึ้นอย่างฉับพลัน (instantaneous) ความเข้มของรังสีความร้อนไม่สูงมากนัก ไม่ทำให้ผู้ที่อยู่บริเวณรอบนอกของกลุ่มหมอกไอ (vapor cloud) ที่ติดไฟได้รับอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต และไม่น่าจะก่อให้เกิดความเสียหายร้ายแรงต่อทรัพย์สิน นอกจากจะเกิดเพลิงไหม้จากวัตถุที่ติดไฟในบริเวณนั้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณของสารและความเร็วของเปลวไฟไม่มากพอที่จะเกิดแรงดันหรือระเบิดหลังจากก๊าซรั่วไหล



ไฟพลุ่ง

**flash over ไฟท่วม**

ปรากฏการณ์ไฟไหม้ที่เกิดขึ้นจากพื้นผิวส่วนประกอบของห้องและวัสดุต่างๆ ภายในห้อง มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิจุดไฟติด (ignition temperature) จากนั้นทั้งผนังและวัสดุภายในห้องเกิดการลุกติดไฟพร้อมกันทันที ทำให้เกิดเปลวไฟลุกท่วมห้องและมีปริมาณความร้อนสูง โดยมีอุณหภูมิประมาณ 500–800 องศาเซลเซียส

**frostbite, cold burn โรคความเย็นกัด**

การบาดเจ็บที่ผิวหนังซึ่งมีสาเหตุจากความเย็นจัดและสูญเสียน้ำในร่างกาย ส่งผลให้เนื้อเยื่อถูกทำลายอย่างรุนแรง เกิดที่ระดับอุณหภูมิ -2.2 องศาเซลเซียส (28 องศาฟาเรนไฮต์) หรือต่ำกว่านั้น การทำลายเนื้อเยื่อเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณที่เนื้อเยื่อกลายเป็นเกล็ดน้ำแข็ง และเกิดการแตกตัวของเซลล์เส้นเลือดฝอย ทำให้น้ำซึมผ่านผนังเซลล์ หลังจากนั้น ของเหลวภายในเซลล์ถูกปล่อยออกมาสู่เนื้อเยื่อมากขึ้น ทำให้มีการเจ็บปวดมาก มักมีอาการอักเสบเฉพาะแห่ง โดยเฉพาะอวัยวะที่อยู่ภายนอกร่างกาย เช่น จมูก หู แก้ม คาง นิ้วมือ นิ้วเท้า อาการแสดงเริ่มต้นคือ เลือดไปเลี้ยงมือและเท้าลดลง ชา หมดความรู้สึกบริเวณที่สัมผัสความเย็นจัด ปวดแสบปวดร้อน ผิวหนังมีสีเป็นสีเทาปนขาว ซีด หรือเป็นมันเงาคล้ายขี้ผึ้ง ถ้าเป็นโรคความเย็นกัดเนื้อเยื่อชั้นตื้น (superficial frostbite) ผิวหนังจะมีสีเทาปนขาว แห้ง สูญเสียความรู้สึก ทำให้เกิดอาการเจ็บปวด ผิวหนังบวมแดง พอง ถ้าเป็นโรคความเย็นกัดเนื้อเยื่อชั้นลึก (deep frostbite) ที่เกิดบริเวณใต้ผิวหนังลึกลงไป มักมีอาการเลือดออกบริเวณที่เป็น เกิดแผลพอง เนื้อเยื่อตาย และแผลเป็นหนอง แผลจะเน่าเปื่อยและลุกลามมากขึ้นจนอาจจะต้องตัดเนื้อเยื่อหรืออวัยวะทิ้ง

การปฐมพยาบาลเบื้องต้น ต้องยกส่วนที่ได้รับบาดเจ็บของร่างกายของผู้ได้รับบาดเจ็บให้สูงกว่าระดับหัวใจเพื่อลดอาการบวม เคลื่อนย้ายผู้ได้รับบาดเจ็บไปยังพื้นที่อบอุ่น เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกจากร่างกาย หลีกเลี่ยงการเดินเพราะจะทำให้ร่างกายบาดเจ็บเพิ่มขึ้น ถอดเสื้อผ้าและเครื่องประดับที่เปียกออก ห้ามดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์หรือมีคาเฟอีน ให้ความอบอุ่นร่างกายอย่างต่อเนื่องโดยแช่บริเวณที่ได้รับบาดเจ็บในน้ำอุ่น ควรเพิ่มอุณหภูมิทีละน้อยจนกระทั่งเนื้อเยื่อที่แข็งละลาย หรือใช้ผ้าพันแผลที่แห้งและปราศจากเชื้อพันบริเวณที่ได้รับบาดเจ็บ และพันระหว่างนิ้วมือหรือนิ้วเท้าที่ได้รับบาดเจ็บเพื่อป้องกันการเสียดสี ห้ามนวดบริเวณที่ได้รับบาดเจ็บหรือบริเวณที่เนื้อเยื่อบวม ให้ความอบอุ่นทั้งร่างกาย และรีบนำส่งโรงพยาบาล





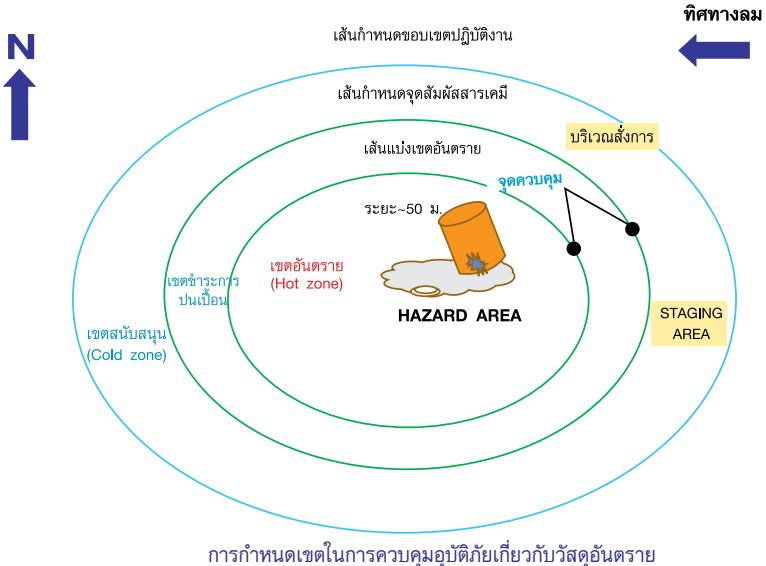



โรคความเย็นกัด

**hazardous material control การควบคุมอุบัติภัยจากวัสดุอันตรายและสารเคมี**

การควบคุมเมื่อมีอุบัติภัยเกี่ยวกับวัสดุอันตรายและสารเคมี ผู้ทำหน้าที่จัดการต้องประเมินสถานการณ์เกี่ยวกับประเภทของเหตุการณ์ ชนิดและปริมาณของสารเคมีที่หกรั่ว ระดับความเป็นอันตรายที่มีต่อชีวิต ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการกำหนดหรือแสดงขอบเขตในการจัดการกับอุบัติภัยได้อย่างถูกต้องเหมาะสม โดยกำหนดเขต (zone) ไว้ 3 เขต ดังนี้

1) เขตอันตราย (hot zone) เป็นบริเวณที่มีอุบัติภัย ควรปิดกั้นพื้นที่โดยรอบในรัศมี 50 เมตรจากจุดเกิดเหตุ
2) เขตลดระดับการปนเปื้อน (warm zone) เป็นบริเวณที่อยู่ระหว่างเขตอันตรายและเขตสนับสนุน ซึ่งเป็นบริเวณสำหรับทำการชำระการปนเปื้อนของวัสดุอันตราย
3) เขตสนับสนุน (cold zone) เป็นบริเวณที่กำหนดให้ผู้มีหน้าที่เกี่ยวข้องในการจัดการกับอุบัติภัยปฏิบัติงาน อาทิเช่น ผู้สั่งการ (incident command) และลูกทีม ทีมสนับสนุนต่างๆ เป็นต้น




การกำหนดเขตในการควบคุมอุบัติภัยเกี่ยวกับวัสดุอันตราย

**hot work งานที่ทำให้เกิดความร้อนหรือประกายไฟ**

งานหรือกิจกรรมที่มีการใช้เครื่องมือกล เครื่องเชื่อม หรืออุปกรณ์ให้ความร้อนประเภทต่างๆ ทำให้เกิดแหล่งกำเนิดความร้อนหรือประกายไฟ เช่น งานตัดและเชื่อมโลหะด้วยเครื่องเชื่อมด้วยไฟฟ้าหรือก๊าซ และงานที่ต้องใช้เครื่องขัดผิวหรือเจียระไน เป็นต้น หากไม่มีมาตรการป้องกันที่ดีอาจส่งผลให้เกิดอัคคีภัย มลพิษทางอากาศและทางน้ำ ตลอดจนการสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สิน จำเป็นต้องกำหนดมาตรการความปลอดภัย (ดู safety) เริ่มตั้งแต่การกำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานต้องมีใบอนุญาตทำงาน (ดู work permit) ก่อนเข้าปฏิบัติงาน เพื่อการดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆ ให้เกิดความปลอดภัยและมีผู้รับผิดชอบความปลอดภัยเฝ้าระวังในการทำงาน ก่อนปฏิบัติงานต้องตรวจสอบบริเวณโดยรอบไม่ให้มีวัสดุและสารติดไฟอยู่ในรัศมีที่สะเก็ดไฟจากการปฏิบัติงานจะกระเด็นไปถึง โดยเคลื่อนย้ายวัสดุติดไฟออกไปหรือจัดหาผืนแผ่นวัสดุที่ไม่ติดไฟ (fire proof blanket) เป็นแนวกั้น และปิดกั้นบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน เพื่อป้องกันไม่ให้ประกายไฟหรือสะเก็ดไฟกระเด็นไปตกนอกบริเวณปฏิบัติงานหรือไปถูกผู้อยู่ใกล้เคียง กับต้องจัดให้มีอุปกรณ์ดับเพลิงติดตั้งไว้ใกล้บริเวณพื้นที่ทำงานให้เพียงพอ และสามารถหยิบใช้ได้โดยสะดวกในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน (ดู emergency)



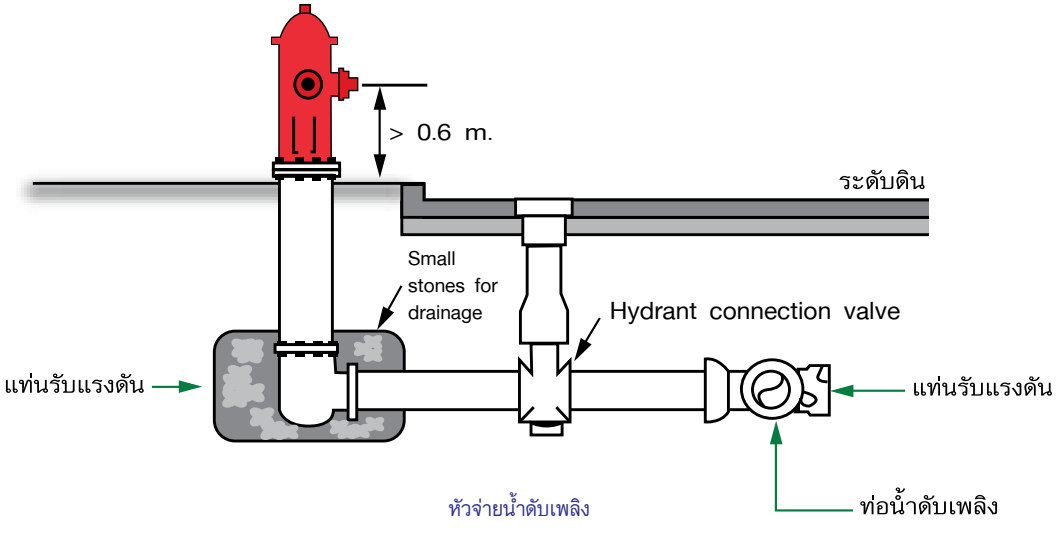
งานเชื่อมโลหะ



งานหลอมเหล็ก

**hydrant หัวจ่ายน้ำดับเพลิง**

หัวต่อกับสายฉีดน้ำดับเพลิง ติดตั้งอยู่ภายนอกอาคารของสถานประกอบการ




หัวจ่ายน้ำดับเพลิง

**incident อุบัติการณ์**

เหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ที่ไม่ได้คาดคิดไว้ล่วงหน้าหรือไม่ทราบล่วงหน้า หรือขาดการควบคุม แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วมีแนวโน้มที่จะส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยจากการทำงาน (ill health) เสียชีวิต หรือความสูญเสียต่อทรัพย์สิน รวมทั้งก่อให้เกิดความเสียหายต่อสภาพแวดล้อมในการทำงานหรือต่อสาธารณชน อาจเป็นเหตุการณ์ที่เกือบจะก่อให้เกิดอุบัติเหตุ (near miss) ซึ่งยังไม่เกิดความสูญเสีย หรือเป็นอุบัติเหตุได้ (ดู accident) หากมีความสูญเสียเกิดขึ้น









เป็นเหตุการณ์เกือบเกิดอุบัติเหตุ

เหตุการณ์เกิดอุบัติเหตุ

ตัวอย่างอุบัติการณ์ซึ่งขาดการควบคุมที่ดี ส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บในระยะยาวหรือเกิดการเจ็บป่วยจากการทำงาน (ill health)





การที่ไม่คาดคิดไว้ล่วงหน้า
หรือไม่ทราบล่วงหน้า

อุบัติการณ์

เกิดการบาดเจ็บหรือเสียชีวิต

เป็นเหตุการณ์เกือบเกิดอุบัติเหตุ

เหตุการณ์เกิดอุบัติเหตุ

ตัวอย่างอุบัติการณ์ที่มีลักษณะของเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งไม่ได้คาดคิดไว้ล่วงหน้าหรือไม่ทราบล่วงหน้า
แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วมีผลให้เกิดการบาดเจ็บหรือเสียชีวิต





การที่ไม่คาดคิดไว้ล่วงหน้าหรือ
ไม่ทราบล่วงหน้าและขาดการควบคุม

อุบัติการณ์

เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สิน
และสภาพแวดล้อมในการทำงาน
และสาธารณชน

เป็นเหตุการณ์เกือบเกิดอุบัติเหตุ

เหตุการณ์เกิดอุบัติเหตุ

ตัวอย่างอุบัติการณ์ที่มีลักษณะของเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งไม่ได้คาดคิดไว้ล่วงหน้า
หรือไม่ทราบล่วงหน้า และเมื่อเกิดขึ้นแล้วมีผลให้เกิดความสูญเสียต่อทรัพย์สิน ความเสียหายต่อสภาพแวดล้อม
ในการทำงานหรือต่อสาธารณชน



ไฟพุ่งเป็นลำ

**jet fire ไฟพุ่งเป็นลำ**

ไฟลุกไหม้ในลักษณะคล้ายไฟคบเพลิง (blow torch) เกิดจากสารเคมีที่เก็บไว้ภายใต้ความดันสูง เกิดการรั่วไหล จึงฟุ้งกระจายสู่บรรยากาศแล้วเกิดการจุดระเบิดในทันที ขนาดของเปลวไฟที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับขนาดของรูรั่ว และความดันในเส้นท่อหรือภาชนะบรรจุ ความร้อนที่แผ่กระจายออกมาจากเปลวไฟขึ้นอยู่กับประเภทของไอที่รั่วออกมา โดยทั่วไปอุณหภูมิของเปลวไฟอยู่ในช่วง 1,600-2,000 องศาเซลเซียส เนื่องจากไฟพวยลมมีปริมาณความร้อนต่อพื้นที่สูง (heat flux) จึงทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์หรือโครงสร้างใดๆ ที่สัมผัสกับเปลวไฟโดยตรงได้มาก

**jockey pump เครื่องสูบน้ำรักษาความดัน, ปั๊มน้ำรักษาความดัน**

เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กซึ่งใช้สูบน้ำทดแทนน้ำที่รั่ว หรือที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับป้องกันไม่ให้เครื่องสูบน้ำดับเพลิงทำงานเมื่อไม่จำเป็นหรือทำให้เครื่องสูบน้ำดับเพลิงเดินๆ หยุดๆ และสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติโดยใช้สวิทช์ที่ทำงานโดยอาศัยความดัน (pressure switch)



เครื่องสูบน้ำรักษาความดัน

**lower explosive limit (LEL) ขีดจำกัดขั้นต่ำของส่วนผสมระเบิดได้ (แอลอีแอล)**
ร้อยละของก๊าซเชื้อเพลิงหรือไอระเหยของสารไวไฟซึ่งเจือจางที่สุดที่มีในอากาศ และเป็นส่วนผสมที่เหมาะสมซึ่งทำให้เกิดการระเบิดหรือจุดไฟติดได้ (explosive mixture) หากปริมาณก๊าซหรือไอระเหยดังกล่าวเจือจางกว่านี้ก็จะไม่สามารถติดไฟได้ ก๊าซเชื้อเพลิงหรือสารไวไฟแต่ละชนิดมีค่าขีดจำกัดขั้นต่ำของส่วนผสมระเบิดได้ไม่เท่ากัน เช่น ก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับร้อยละ 5 โดยปริมาตร และโพรเพนมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.1 โดยปริมาตร เป็นต้น (ดู upper explosive limit (UEL) ประกอบ)

**opening protection การป้องกันช่องเปิด**
การป้องกันช่องที่เชื่อมต่อกันระหว่างผนังกับพื้น เพื่อป้องกันไม่ให้ไฟลุกลาม ตลอดจนทำให้ส่วนกั้นแยก (fire barriers) และผนังทนไฟ (fire wall) มีความสมบูรณ์ใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์



การป้องกันช่องเปิด



การป้องกันช่องเปิด

**personal protective equipment (PPE) อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล, อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (พีพีอี)**
สิ่งใดสิ่งหนึ่งซึ่งนำมาสวมใส่ที่อวัยวะใดอวัยวะหนึ่งของร่างกาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการเกิดอันตรายให้แก่อวัยวะนั้นๆ เช่น ถุงมือกันสารเคมี ซึ่งนำมาสวมที่มือเพื่อลดอันตรายจากการถูกสารเคมีกัดกร่อน หรือแว่นตาเพื่อป้องกันวัตถุกระเด็นเข้าตา เป็นต้น อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลสามารถแบ่งเป็นหมวดหมู่ที่สำคัญได้ ดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| **1. อุปกรณ์ป้องกันศีรษะ** | ใช้ลดอันตรายจากการถูกเจาะ กระแทก การลดอันตรายจากกระแสไฟฟ้าหรือการใช้ในงานเฉพาะ เช่น การดับเพลิง เป็นต้น |   |
| **2. อุปกรณ์ป้องกันเสียง** | ใช้อุดหรือครอบหู เพื่อลดอันตรายจากการรับเสียงดังที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อการได้ยิน |    |
| **3. อุปกรณ์ป้องกันใบหน้าและดวงตา** | ใช้ป้องกันอันตรายจากวัตถุหรือสารเคมีกระเด็นถูกใบหน้าและดวงตา |      |
| **4. อุปกรณ์ป้องกันระบบหายใจ** | ใช้สวมใส่เพื่อลดอันตรายจากการสูดดมฝุ่นหรือสารเคมีเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ หรือเป็นอุปกรณ์ที่ส่งผ่านอากาศเพื่อใช้ในการหายใจในบริเวณที่ขาดอากาศหรือมีสิ่งปนเปื้อนสูง |    |
| **5. อุปกรณ์ป้องกันลำตัว** | ใช้สวมใส่เพื่อป้องกันอันตรายจากสิ่งแวดล้อม เช่น สารเคมีหรือความร้อนสัมผัสร่างกาย ส่วนใหญ่เป็นชุดที่สวมใส่ทั้งลำตัว เช่น ชุดกันสารเคมี ชุดกันความร้อน และชุดดับเพลิง เป็นต้น |   |
| **6. อุปกรณ์ป้องกันมือ** | ใช้สวมใส่เพื่อป้องกันอันตรายที่มือ เช่น ถูกของมีคมบาด สัมผัสความร้อน หรือสัมผัสสารเคมี เป็นต้น |   |
| **7. อุปกรณ์ป้องกันเท้า** | ใช้สวมใส่ป้องกันอันตรายที่เท้าจากการถูกวัตถุทิ่มตำ หรือของหนักตกกระแทก |   |
| **8. อุปกรณ์ป้องกันการตก** | ใช้สวมใส่ร่างกายเพื่อป้องกันการตกจากที่สูง |   |

**pool fire ไฟบนพื้น**
ไฟไหม้ของเหลวติดไฟเป็นบริเวณกว้าง เกิดจากของเหลวที่มีจุดเดือดในบรรยากาศสูงกว่าอุณหภูมิในบรรยากาศขณะนั้น เกิดการรั่วไหลไปตามพื้น ได้รับความร้อนจนติดไฟ



การเกิดไฟบนพื้น



**safety ความปลอดภัย**
สภาวะที่ปลอดหรือพ้นจากภาวะภัย (hazard) รวมถึงการปลอดจากอันตราย (danger) การบาดเจ็บ (injury) การเสี่ยงภัย (risk) หรือการสูญเสีย (loss)



ไม่ปลอดภัย



ปลอดภัย

**ตัวอย่างที่ 1** การทำงานกับเครื่องทอผ้าที่ไม่มีการ์ดครอบเพลาหรือสายส่งกำลังของเครื่อง ถือเป็นสภาพการณ์ที่เป็นภัยซึ่งอาจทำให้บาดเจ็บหรือพิการได้ ถ้าถูกหนีบหรือถูกดึงม้วนเข้าเครื่องถือว่ามี ***อันตราย*** อยู่ระดับหนึ่ง แต่ถ้าผู้ปฏิบัติงานทำงานกับเครื่องทอผ้าที่มีการติดตั้งตะแกรงเหล็กเหนียวครอบส่วนที่หมุนและส่วนส่งถ่ายกำลังให้มิดชิด ก็จะป้องกันการถูกหนีบหรือถูกดึงม้วนเข้าเครื่องได้ ดังนั้นระดับ ***อันตราย*** ก็จะไม่มี ทำให้เกิด ***ความปลอดภัย*** (ดู safety) ขณะปฏิบัติงาน



ปลอดภัย

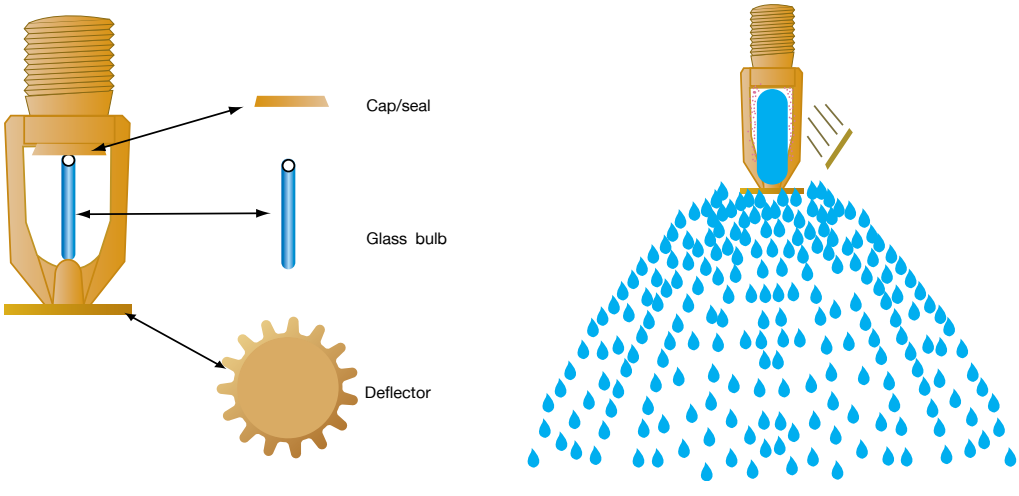


ปลอดภัย

**ตัวอย่างที่ 2** การทำงานขณะที่หยิบของออกมาจากตู้อบที่มีความร้อนสูง ถือเป็นสภาพการณ์ที่เป็น ***ภัย*** ซึ่งอาจทำให้มือถูกความร้อนเผาไหม้ ถือว่ามี ***อันตราย*** อยู่ระดับหนึ่ง แต่ถ้าผู้ปฏิบัติงานสวมเสื้อแขนยาวและถุงมือกันความร้อน ก็จะป้องกันมือถูกความร้อนเผาไหม้ได้ ดังนั้นระดับ ***อันตราย*** ก็จะลดน้อยลง ทำให้เกิด ***ความปลอดภัย*** ในขณะปฏิบัติงาน

**sprinkler system ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง**

ระบบส่งน้ำ โครงข่ายระบบท่อน้ำดับเพลิง วาล์วควบคุม หัวกระจายน้ำดับเพลิง และอุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง หัวกระจายน้ำดับเพลิงจะทำงานทันทีอย่างอัตโนมัติ




ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง

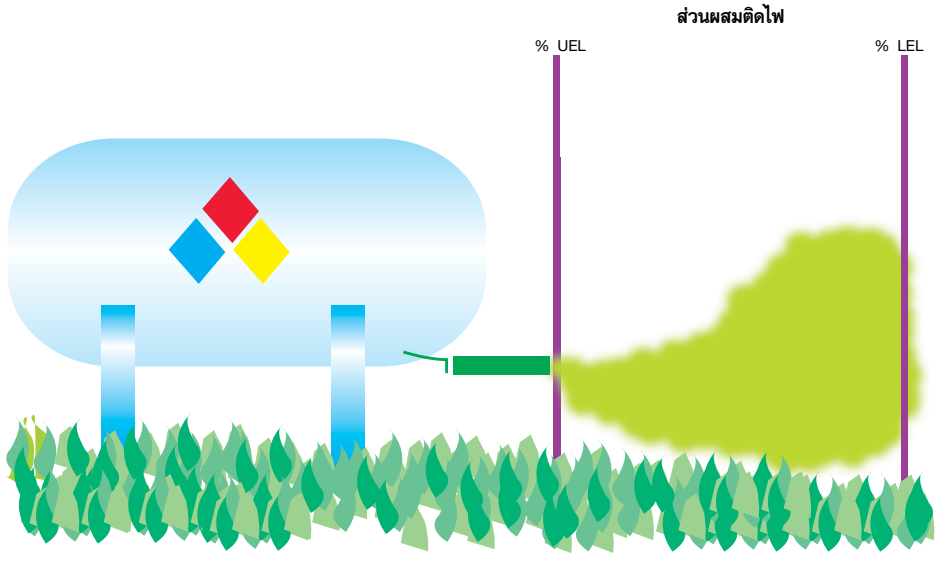
**table top exercise การฝึกซ้อมแบบจำลองสถานการณ์**

การฝึกซ้อมที่มีการกำหนดสถานการณ์จำลองบนโต๊ะในห้องประชุม หรือสถานที่เดียวกัน เกี่ยวข้องกับผู้รับผิดชอบหลัก เพื่อนำเสนอการปฏิบัติในสถานการณ์จำลองอย่างไม่เป็นทางการ เพื่อให้เป็นไปตามแผน นโยบาย และขั้นตอนการปฏิบัติ หรืออีกลักษณะหนึ่งซึ่งทางทหารนิยมใช้ เรียกว่า การฝึกซ้อมในที่บังคับการ (command post exercise (CPX)) ซึ่งเป็นการฝึกซ้อมการวิเคราะห์การวางแผนตลอดจนการตัดสินใจสั่งการเจ้าหน้าที่และผู้มีอำนาจตัดสินใจ

**upper explosive limit (UEL) ขีดจำกัดขั้นสูงของส่วนผสมระเบิดได้ (ยูอีแอล)**

ร้อยละของก๊าซเชื้อเพลิงหรือไอระเหยของสารไวไฟซึ่งเข้มข้นที่สุดที่มีในอากาศ และเป็นส่วนผสมที่เหมาะสมซึ่งทำให้เกิดการระเบิดหรือจุดไฟติดได้ (explosive mixture) หากปริมาณก๊าซหรือไอระเหยเจือปนในอากาศเข้มข้นกว่านี้ จะไม่สามารถติดไฟได้ ก๊าซเชื้อเพลิงหรือสารไวไฟแต่ละชนิด

มีค่าขีดจำกัดขั้นสูงของส่วนผสมระเบิดได้ไม่เท่ากัน ค่าระหว่างขีดจำกัดขั้นต่ำและขีดจำกัดขั้นสูงคือช่วงความเข้มข้นของการติดไฟของก๊าซหรือสารไวไฟ ถ้าเชื้อเพลิงมีช่วงระหว่างขีดจำกัดขั้นต่ำและขีดจำกัดขั้นสูงกว้าง หมายถึง ส่วนผสมที่สามารถติดไฟได้กว้างจึงเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้มากด้วย




ขีดจำกัดขั้นสูงของส่วนผสมระเบิดได้






**work permit ใบอนุญาตทำงาน**

การขออนุญาตทำงานเฉพาะ ในสถานที่เฉพาะตามระยะเวลาที่กำหนด หรือการขออนุญาตทำงานที่มีความเสี่ยงสูง ซึ่งแตกต่างกันไปตามลักษณะกิจกรรมการทำงานขององค์กร มีโอกาสเกิดอันตรายหรือทำให้ได้รับบาดเจ็บขั้นรุนแรง งานที่นิยมกำหนดให้มีการขอใบอนุญาตทำงาน ได้แก่ งานที่ทำให้เกิดความร้อนหรือประกายไฟ (ดู hot work) งานทั่วไป (ดู cold work) งานบนที่สูง งานไฟฟ้าแรงดันสูง งานในที่อับอากาศ งานเจาะและงานขุด (ดู excavation work) เป็นต้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความพร้อมของผู้ปฏิบัติงาน ความพร้อมของอุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องจักร รวมทั้งความพร้อมของสภาพแวดล้อมต่างๆ ให้แน่ใจว่ามีความพร้อมมีความปลอดภัย (ดู safety) เพียงพอเสียก่อน จึงจะได้รับอนุญาตให้เริ่มทำงานนั้นๆ ได้ ถือเป็นข้อตกลงระหว่างผู้ขออนุญาตและผู้อนุญาต เป็นเอกสารเงื่อนไขที่แสดงถึงการเตรียมการป้องกันและข้อจำกัดต่างๆ ก่อนเข้าทำงาน ต้องแสดงหลักฐานเป็นลายลักษณ์อักษรเพื่อแสดงว่างานที่ดำเนินการนั้นได้รับการอนุญาตแล้ว อนุญาตโดยใคร หลักฐานดังกล่าวเรียกว่า ใบอนุญาตทำงาน รายละเอียดที่ต้องมีในใบอนุญาตทำงาน ได้แก่ รายละเอียดของผู้ขออนุญาต รายละเอียดของงานที่จะทำ วัน เวลา สถานที่ที่มีการทำงาน อันตรายที่เกี่ยวข้องกับงาน รายละเอียดการพิจารณาสภาพการทำงาน แสดงเป็นรายการหรือหัวข้อที่ใช้ในการพิจารณาความพร้อมต่างๆ ว่า มีความปลอดภัยเพียงพอที่จะอนุญาต รายละเอียดของผู้ให้อนุญาต ระยะเวลาที่อนุญาต การตรวจสอบสภาพพื้นที่ปฏิบัติงานหลังงานแล้วเสร็จ ในใบอนุญาตทำงานจะต้องบันทึกการตรวจสอบหลังงานเสร็จสิ้นด้วย อุปกรณ์ป้องกันอันตรายทั้งหมดที่จำเป็น อันตรายและข้อควรระวังทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับงาน ซึ่งจะต้องพิจารณาก่อนเริ่มทำงาน เป็นต้น

**working environment ภาวะแวดล้อมในการทำงาน**

สิ่งต่างๆ ที่อยู่ล้อมรอบตัวผู้ปฏิบัติงานในขณะทำงาน แบ่งเป็นปัจจัยทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ และการยศาสตร์ (ดู ergonomics หมวดอาชีวอนามัย ประกอบ) เช่น หัวหน้าผู้ควบคุมงาน เพื่อนร่วมงาน เครื่องจักร เครื่องกล เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งอากาศ เสียง ความร้อน รังสี ฝุ่นละออง และสารเคมีต่างๆ แม้กระทั่งเชื้อโรคและสัตว์เลี้ยงต่างๆ เป็นต้น

- ปัจจัยภาวะแวดล้อมทางกายภาพ (physical environment) ได้แก่ บรรยากาศที่อยู่รอบตัวผู้ปฏิบัติงาน เช่น เสียง ความเย็น รังสี ความดันบรรยากาศ รวมถึงเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ต่างๆ ในบริเวณนั้น



ระวังอันตรายจากรังสี

เครื่องหมายแสดงภาวะแวดล้อมทางกายภาพ

- ปัจจัยภาวะแวดล้อมทางเคมี (chemical environment) ได้แก่ สารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในรูปของก๊าซของเหลว เช่น ตัวทำละลาย (solvent) ต่างๆ และของเสียที่ต้องกำจัด ฝุ่น ควัน ละออง





ภาวะแวดล้อมทางเคมี

- ปัจจัยภาวะแวดล้อมทางชีวภาพ (biological environment) ได้แก่ สิ่งมีชีวิต เช่น งู หนู แมลงสาบ เชื้อรา แบคทีเรีย เชื้อโรคต่างๆ และของเสียจากสิ่งมีชีวิต เช่น ฝุ่นไม้ ฝุ่นฝ้ายและฝุ่นเมล็ดพืชต่างๆ



ขยะติดเชื้อ





ภาวะแวดล้อมทางชีวภาพ

- ปัจจัยทางการยศาสตร์ (ergonomic) ได้แก่ การทำงานที่ไม่เหมาะสมกับความสามารถของร่างกายและจิตใจ รวมถึงอิริยาบถในการทำงานที่ไม่เหมาะสม การปฏิบัติงานที่จำเจซ้ำซาก การทำงานบางอย่างที่เร่งรัดหรือต้องแข่งกับเวลา การทำงานเป็นผลัด การทำงานที่มีชั่วโมงการทำงานที่ยาวนาน การทำงานที่หนักเกินกำลัง





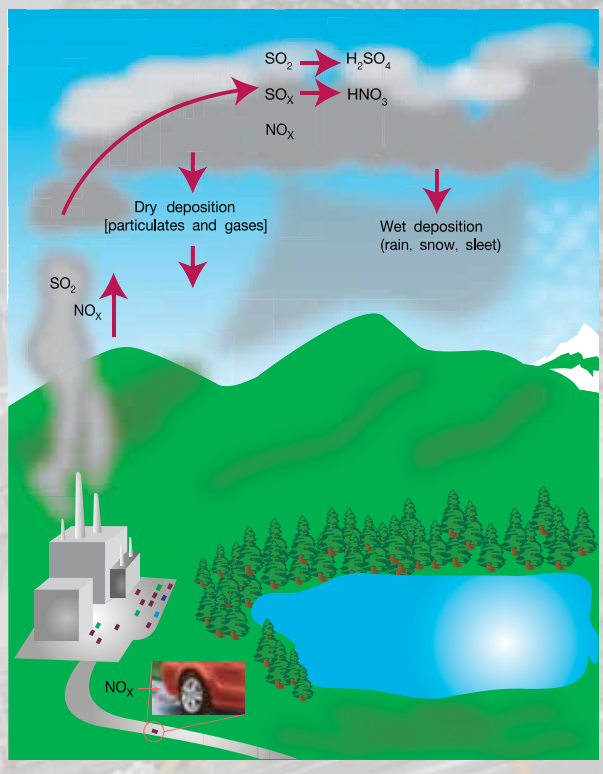
ภาวะแวดล้อมทางการยศาสตร์



# สิ่งแวดล้อม

**acid deposition การตกสะสมของกรด**

สารมลพิษที่เป็นสารตั้งต้นของกรดในบรรยากาศที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ ($SO_x$) ซึ่งรวมถึงก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ($SO_2$) และก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ($SO_3$) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ($NO_x$) ซึ่งรวมถึงก๊าซไนตริคออกไซด์ (NO) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ($NO_2$) ซึ่งสารตั้งต้นของกรดในบรรยากาศที่สำคัญสองกลุ่มนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดซัลฟูริค ($H_2SO_4$) และกรดไนตริค ($HNO_3$) ด้วยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและความชื้นในบรรยากาศ แล้วตกกลับสู่ผิวโลก การตกสะสมของกรดสู่ผิวโลกเกิดได้ 2 ทาง คือ การตกสะสมแห้ง (ดู dry deposition) และการตกสะสมเปียก (ดู wet deposition) การตกสะสมของกรดในแหล่งน้ำและผิวดินจะทำให้น้ำและดินมีความเป็นกรดมากขึ้น เกิดความเสียหายต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศวิทยา รวมทั้งก่อให้เกิดการสึกกร่อนของวัสดุและสิ่งก่อสร้างต่างๆ

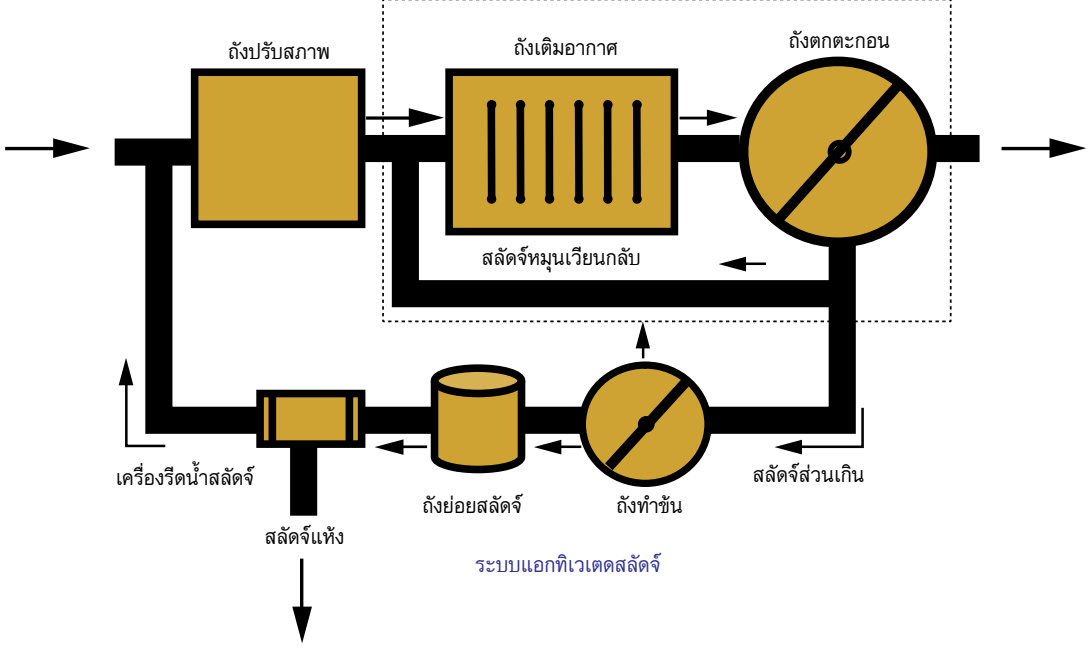



การตกสะสมของกรด

**acid rain ฝนกรด**
น้ำฝนที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำกว่า 5.6 หยดน้ำฝนที่เกิดจากการควบแน่นในบรรยากาศควรจะมีค่า pH เป็นกลางหรือเท่ากับ 7 แต่เนื่องจากในบรรยากาศปกติมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 340 ส่วนในล้านส่วนเป็นองค์ประกอบตามธรรมชาติ ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้จะละลายเข้าไปในหยดน้ำฝน เกิดเป็นกรดคาร์บอนิค ($H_2CO_3$) ที่มีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ ส่งผลให้หยดน้ำฝนในธรรมชาติมีค่า pH เท่ากับ 5.6 หากน้ำฝนมีค่า pH ต่ำกว่า 5.6 แสดงว่ามีการละลายของสารกรดที่อยู่ในบรรยากาศ เช่น กรดซัลฟูริก หรือกรดไนตริก ซึ่งเป็นกรดแก่เข้าไปในหยดน้ำฝน ส่งผลให้น้ำฝนมีความเป็นกรดสูงขึ้นกว่าที่เป็นตามธรรมชาติ

**activated carbon ถ่านกัมมันต์, คาร์บอนกัมมันต์**
คาร์บอนหรือถ่านที่สังเคราะห์จากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้ ถ่านหิน และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม โดยผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนในที่ไม่มีออกซิเจนเพื่อระเหยสารอินทรีย์ระเหยได้ แล้วกระตุ้น (activate) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว เป็นสารดูดซับที่ไม่มีประจุจึงไม่ถูกรบกวนด้วยไอน้ำในกระบวนการดูดซับ (adsorption) ใช้อย่างแพร่หลายในระบบการดูดซับสารมลพิษจำพวกก๊าซ โดยเฉพาะกลุ่มสารประกอบอินทรีย์และสารก่อกลิ่น ปัจจุบัน นิยมใช้ควบคุมไอสารอินทรีย์ระเหยจากบริเวณถังเก็บสารเคมี และกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

**activated sludge (AS) แอกทิเวเตดสลัดจ์ (เอเอส)**
กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนโดยอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย ดูดซับ หรือเปลี่ยนรูปแบบของมลสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลง อุปกรณ์ที่สำคัญในการบำบัด ได้แก่ ถังเติมอากาศและถังตกตะกอน น้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศ ซึ่งมีจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก ภายในถังจะมีสภาวะแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์จะทำการลดปริมาณมลสารที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยการย่อยสลายให้อยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ น้ำเสียที่บำบัดแล้วจะไหลต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำใส สลัดจ์หรือกากตะกอน ซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่แยกตัวอยู่ที่ก้นถังตกตะกอน ส่วนหนึ่งจะถูกวนกลับไปยังถังเติมอากาศเพื่อลดมลสารที่เข้ามาใหม่ อีกส่วนหนึ่งจะเป็นสลัดจ์ส่วนเกินซึ่งจะต้องนำไปทิ้ง สำหรับน้ำใสที่อยู่ส่วนบนของถังตกตะกอน จะเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วทิ้งจากระบบไป



ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์

**acute effect ผลกระทบเฉียบพลัน**
อาการหรือผลกระทบในทางลบต่อสุขภาพที่แสดงออกโดยรวดเร็วในคนและสัตว์ (ภายใน 24 ชั่วโมง) หลังจากได้รับหรือสัมผัสสารพิษ ซึ่งอาการดังกล่าวจะบรรเทาลง เมื่อสิ้นสุดการได้รับหรือสัมผัสสารพิษ

**aerated lagoon บ่อเติมอากาศ, สระเติมอากาศ**
กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบเติมอากาศลงในสระด้วยเครื่องเติมอากาศแบบลอยน้ำ เช่น กังหันอากาศเพื่อให้น้ำและอากาศสัมผัสกันได้ดีขึ้น ทำให้ออกซิเจนละลายน้ำง่ายขึ้น แต่ไม่มีถังตกตะกอน และไม่มีการหมุนเวียนสลัดจ์

**aerobic digestion การย่อยแบบใช้อากาศ, การย่อยแบบใช้ออกซิเจน, การย่อยแบบแอโรบิก**
การย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ออกซิเจนในอากาศในการเจริญเติบโต

**air dispersion model แบบจำลองการกระจายอากาศ**
แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับประเมินการแพร่กระจายสารมลพิษทางอากาศ (ดู air pollutant) ใช้ประเมินผลกระทบของการปลดปล่อยสารมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดที่มีต่อคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป นอกจากนี้ ยังนำมาใช้ประเมินศักยภาพการรองรับมลพิษทางอากาศในพื้นที่ต่างๆ เพื่อใช้ประกอบการวางแผนการป้องกันผลกระทบจากการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมในพื้นที่

**air pollutant สารมลพิษทางอากาศ**
สารซึ่งเจือปนในอากาศในปริมาณที่มากพอ และเป็นระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สิ่งมีชีวิต และวัสดุต่างๆ ตลอดจนทำให้เกิดผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ และเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศวิทยา ลักษณะและความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารมลพิษ สารมลพิษทางอากาศอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ อาจอยู่ในรูปของก๊าซ หยดของเหลว หรืออนุภาคของแข็ง

**air quality index (AQI) ดัชนีคุณภาพอากาศ (เอคิวไอ)**
การรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อเผยแพร่ ประชาสัมพันธ์ให้สาธารณชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ ดัชนีคุณภาพอากาศที่ใช้อยู่ในประเทศไทยคำนวณโดยเทียบจากมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของสารมลพิษทางอากาศ 5 ประเภท ได้แก่ โอโซน ($O_3$) ไนโตรเจนไดออกไซด์ ($NO_2$) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ($SO_2$) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ทั้งนี้ ดัชนีคุณภาพอากาศที่คำนวณได้ของสารมลพิษทางอากาศประเภทใดมีค่าสูงสุด จะใช้เป็นดัชนีคุณภาพอากาศของวันนั้น ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยแบ่งเป็น 5 ระดับ ซึ่งแต่ละระดับจะใช้สีเป็นสัญลักษณ์เปรียบเทียบกับระดับของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

**air quality monitoring system (AQMS) ระบบตรวจติดตามคุณภาพอากาศ (เอคิวเอ็มเอส)**
ระบบติดตาม เฝ้าสังเกต และตรวจสอบปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต่างๆ เพื่อเฝ้าระวังสภาพปัญหาและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ระบบจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งสามารถใช้เรียกข้อมูลและประมวลข้อมูลผลการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ต่างๆ ได้ตามเวลาจริง (real time monitoring) และสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพอากาศและสภาพอุตุนิยมวิทยา โดยติดตั้งใน 2 ลักษณะ คือ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในชุมชน เพื่อเฝ้าระวังปัญหาหรือผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง เช่น โรงงานอุตสาหกรรม เหมืองหิน เป็นต้น และสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศริมเส้นทางจราจร ติดตั้งห่างจากถนนไม่เกิน 10 เมตร เพื่อเฝ้าระวังปัญหาจากสารมลพิษทางอากาศที่ปลดปล่อยจากยานพาหนะ

**ambient air quality standard มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป**
ค่าที่กำหนดเพื่อควบคุมความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ (ดู air pollutant) ในบรรยากาศ ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ปัจจุบันประเทศไทยกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับสารมลพิษทางอากาศตามเกณฑ์ (ดู criteria air pollutants) จำนวน 8 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โอโซน ตะกั่ว ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (PM100) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) และค่ามาตรฐานสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายจำนวน 9 ชนิด ได้แก่ เบนซีน ไวนิลคลอไรด์ 1,2-ไดคลอโรอีเทน ไทรคลอโรเอทิลีน ไดคลอโรมีเทน 1,2-ไดคลอโรโพรเพน เททระคลอโรเอทิลีน คลอโรฟอร์ม และ 1,3-บิวทาไดอีน

**anaerobic digestion การย่อยแบบไร้อากาศ, การย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน, การย่อยแบบแอนแอโรบิก**
การย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจนในการเจริญเติบโต

**anaerobic filter ถังกรองไร้อากาศ, ถังกรองแบบแอนแอโรบิก**
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยมีลักษณะคล้ายถังกรอง ภายในบรรจุตัวกลางเป็นหินหรือพลาสติก น้ำเสียจะไหลถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของถังผ่านตัวกลางขึ้นไปสู่ด้านบนของถัง จุลินทรีย์ที่ถูกจับอยู่ภายในถังกรองจะทำหน้าที่ย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งน้ำที่รับการบำบัดแล้วจะผ่านไปทางด้านบนของถัง

**anaerobic pond บ่อเหม็น, บ่อแอนแอโรบิก**
มีลักษณะเป็นบ่อดินมีความลึกมาก (ประมาณ 3-4 เมตร) ไม่มีฝาปิด มีเวลากักน้ำนานหลายวัน ภายในระยะเวลาดังกล่าวสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน

**anaerobic treatment การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ, การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน, การบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิก**
กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน มวลสารที่มีอยู่ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นจุลินทรีย์เซลล์ใหม่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน



**assimilative capacity ขีดความสามารถในการรองรับสารมลพิษของแหล่งน้ำ**

กลไกการทำความสะอาดตนเองของแหล่งน้ำตามธรรมชาติเมื่อได้รับน้ำเสียหรือสารมลพิษ ซึ่งจะช่วยรักษาสมดุลไม่ให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของสัตว์น้ำหรือมนุษย์ ที่บริโภคน้ำจากแหล่งน้ำนั้น ซึ่งแหล่งน้ำจะมีขีดความสามารถในการรองรับน้ำเสียโดยปราศจากผลกระทบในทางลบ หรือรองรับค่าบีโอดี (ดู biochemical oxygen demand (BOD)) โดยยังมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในระดับที่เหมาะสม หากแหล่งน้ำได้รับน้ำเสียหรือสารมลพิษ มากเกินขีดความสามารถในการรองรับสารมลพิษของแหล่งน้ำ ก็จะเกิดผลกระทบในทางลบ เช่น ภาวะน้ำเน่าเสีย เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและผู้บริโภคน้ำ เป็นต้น

**bag filter ถุงกรอง**

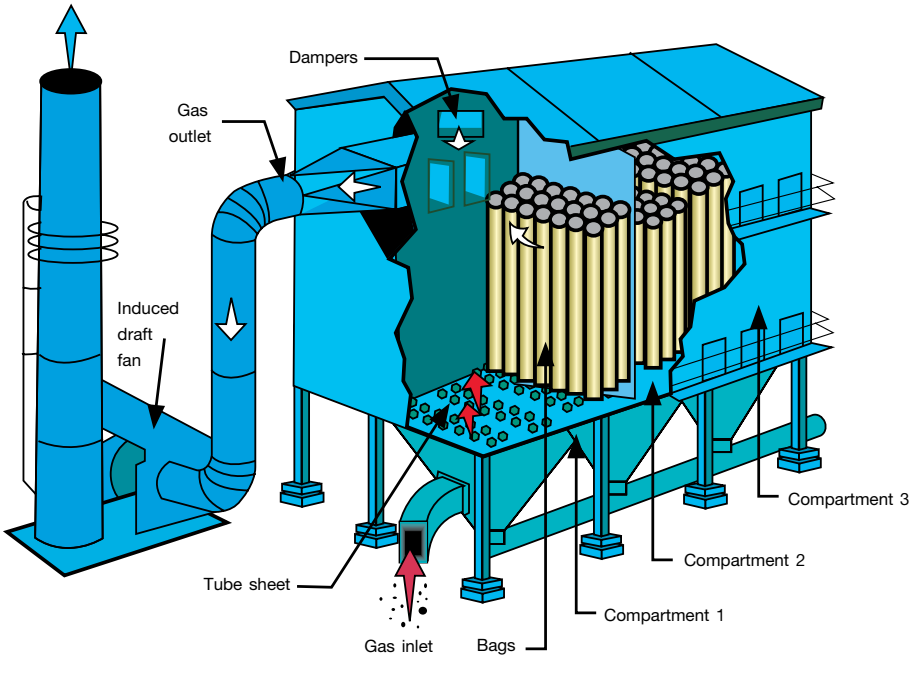
อุปกรณ์ดักกรองฝุ่นในอากาศหรือก๊าซ อาจทำจากแผ่นเส้นใยขนสัตว์หรือใยสังเคราะห์อื่นๆ ฝุ่นถูกแยกออกจากก๊าซโดยแผ่นเส้นใยและชั้นอนุภาค (cake) ในถุงกรอง สามารถแยกฝุ่นขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ไม่เหมาะกับฝุ่นที่มีอุณหภูมิสูง (100-450 องศาเซลเซียส) และฝุ่นที่มีความชื้นสูง อุปกรณ์ดักฝุ่นจากอากาศที่ใช้ระบบถุงกรอง (bag house) มีลักษณะเป็นห้องกั้นแยกเป็นส่วนๆ (compartment) บรรจุถุงกรองจำนวนมากเรียงกันเป็นชุด ในการปฏิบัติการ เมื่อผ่านก๊าซไประยะหนึ่ง ชั้นฝุ่นที่เกาะสะสมอยู่ภายในถุงหนาขึ้นทำให้ความดันที่ก๊าซไหลผ่านลดลง จึงต้องหยุดผ่านก๊าซเพื่อเป่าฝุ่นออกจากถุงกรองเป็นระยะๆ

**Basel Convention อนุสัญญาบาเซลว่าด้วยการควบคุมการเคลื่อนย้ายข้ามแดนของของเสียอันตรายและการกำจัด**

สืบเนื่องจากปัญหาการลักลอบนำของเสียอันตรายจากประเทศอุตสาหกรรมไปทิ้งในประเทศด้อยพัฒนา โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (The United Nations Environment Programme (UNEP)) จึงได้จัดประชุมนานาชาติขึ้นเมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2532 ณ นครบาเซล ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เพื่อจัดทำร่างอนุสัญญาบาเซล อนุสัญญาฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการขนส่งเคลื่อนย้ายของเสียอันตรายระหว่างประเทศให้มีการจัดการของเสียอันตรายโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันเข้าเป็นภาคีสมาชิกต่ออนุสัญญาฯ เมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2540 และมีผลบังคับใช้กับประเทศไทยตั้งแต่วันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2541 เป็นต้นมา โดยมีกรมควบคุมมลพิษเป็นศูนย์ประสานงานอนุสัญญาบาเซลของประเทศไทย

**biochemical oxygen demand (BOD) ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (บีโอดี)**

ค่าวัดความสกปรกของน้ำ โดยประเมินจากปริมาณของออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำในคาบเวลาหนึ่ง ณ อุณหภูมิหนึ่ง โดยทั่วไปใช้ที่ช่วงเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยค่าบีโอดีมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร




ระบบเครื่องกรองที่ติดตั้งถุงกรองภายใน

**bottom ash เถ้าก้นเตา**
เถ้าซึ่งเกิดจากการเผาไหม้และตกลงสู่ก้นเตา กากของแข็งที่เหลืออยู่หลังจากที่วัสดุซึ่งเผาไหม้ ได้ถูกเผาไปหมดแล้วและตกลงสู่ส่วนเก็บเถ้าของเตาเผา

**breathing loss การสูญเสียไอระเหย**
การสูญเสียไอระเหยสารเคมีออกจากถังเก็บชนิดหลังคาติดตาย (ดู fixed roof tank) สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย เช่น สาร 1,2-ไดคลอโรอีเทน และไซลีน จะระเหยเป็นไอสะสมในช่องว่างระหว่างหลังคากับระดับของของเหลวที่บรรจุในถัง (vapor space) ในช่วงเวลากลางวันที่ถังได้รับความร้อนจากแสงแดด ปริมาณของไอเพิ่มสูงขึ้นทำให้ความดันในถังเก็บเพิ่มขึ้นสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ วาล์วควบคุมความดัน (PV valve) จะทำหน้าที่ระบายไอออกจากถังเพื่อป้องกันความเสียหายอันอาจเกิดกับตัวถัง ในเวลากลางคืนเมื่อถังเย็นลง ไอระเหยในถังมีความดันน้อยกว่าความดันบรรยากาศภายนอกถัง วาล์วควบคุมความดันจะเปิดให้อากาศภายนอกไหลเข้าไปในถัง คล้ายกับการหายใจออกของถังในเวลากลางวันและหายใจเข้าในเวลากลางคืน ถังเก็บจัดเป็นแหล่งระบายสารอินทรีย์ระเหยสู่บรรยากาศที่สำคัญในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

**buffer zone เขตกันชน, พื้นที่แนวกันชน**
พื้นที่ที่อยู่ระหว่างพื้นที่ใดๆ ตั้งแต่สองพื้นที่หรือมากกว่า ช่วยลดผลกระทบซึ่งเกิดขึ้นจากกิจกรรมในแต่ละพื้นที่ นำมาใช้ในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยช่วยจำกัดขอบเขตและการขยายตัวของอุตสาหกรรมไม่ให้ส่งผลกระทบต่อชุมชนในพื้นที่ ลดปัญหาความขัดแย้งระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน เขตกันชนซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกต้นไม้จะช่วยกรองมลพิษ และลดผลกระทบจากการปลดปล่อยมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมสู่พื้นที่ชุมชน ต้องศึกษาและกำหนดผังที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมและเขตกันชนอย่างเหมาะสม ก่อนจัดทำเขตกันชน โดยพิจารณาจากศักยภาพของสารมลพิษที่ถูกปลดปล่อยจากโรงงาน ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างข้อมูลสารมลพิษ สภาพอุตุนิยมวิทยา และระดับของสารมลพิษที่พบในพื้นที่

**carbon monoxide คาร์บอนมอนอกไซด์**
ก๊าซไม่มีสีไม่มีกลิ่น เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของคาร์บอนในเชื้อเพลิง เป็นสารมลพิษ การสัมผัสกับคาร์บอนมอนอกไซด์จะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ถูกส่งไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายลดลง การสัมผัสคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ความเข้มข้นสูงอาจทำให้ถึงแก่ชีวิตได้ แหล่งกำเนิดคาร์บอนมอนอกไซด์ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงในยานพาหนะ กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเหล็ก และอุตสาหกรรมผลิตเคมีภัณฑ์ การเผาฟืนและไฟป่า การเผาไหม้เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม

**catalytic incinerator เตาเผาเชิงเร่งปฏิกิริยา**
อุปกรณ์ควบคุมสารมลพิษทางอากาศ (ดู air pollutant) ที่เผาไหม้ได้ เช่น สารอินทรีย์ระเหย (volatile organic compounds) โดยใช้เทคนิคการเผาแบบใช้สารเร่งปฏิกิริยาช่วยในกระบวนการเผาไหม้ การเผานี้ต้องการอุณหภูมิต่ำกว่าการเผาทั่วไป ทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงและค่าใช้จ่ายอื่นๆ ซึ่งสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้นี้จะช่วยควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในแก๊สที่ผ่านเข้าสู่ระบบ สารเร่งปฏิกิริยาอาจเป็นวัสดุพรุนที่มีลักษณะทรงกระบอกหรือทรงกลม หรืออาจมีลักษณะเป็นรังผึ้ง โดยทั่วไปมักเป็นโลหะมีค่า เช่น แพลตตินัม ระบบนี้มีประสิทธิภาพในการควบคุมกลิ่น ในกรณีถ้ามีความชื้นสูงและสารประกอบคลอรีนหรือซัลเฟอร์อยู่จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบนี้ลดลง

**chemical oxygen demand (COD) ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (ซีโอดี)**
ค่าวัดความสกปรกของน้ำวิธีหนึ่ง โดยประเมินจากปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีการทางเคมี มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

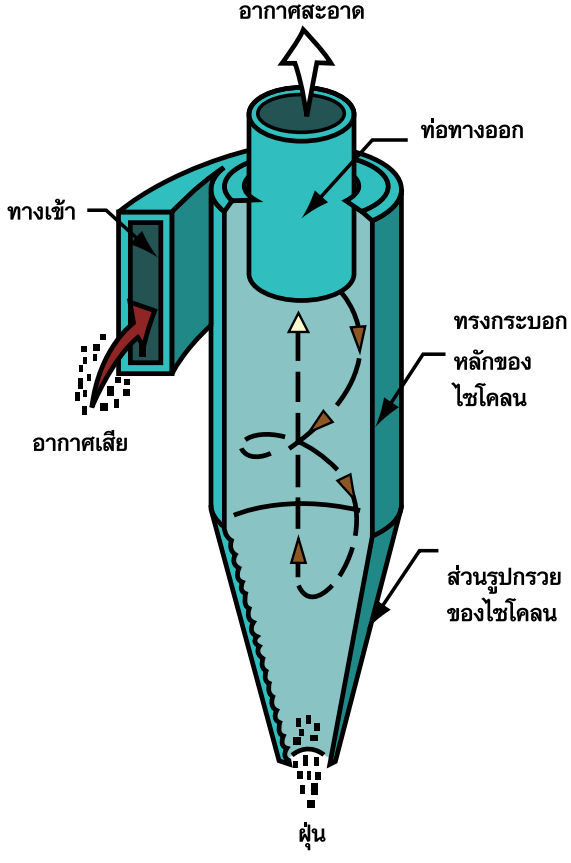
**chronic effect อาการเรื้อรัง, ผลกระทบในระยะยาว**
อาการหรือผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสัตว์ ซึ่งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ อันเนื่องมาจากการได้รับหรือสัมผัสกับสารพิษที่ระดับความเข้มข้นต่ำอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน โดยอาจใช้เวลาหลายเดือนถึงหลายปีที่จะแสดงอาการให้ตรวจพบได้ทางการแพทย์ อาการดังกล่าวจะไม่บรรเทาลงเมื่อสิ้นสุดการได้รับหรือสัมผัสกับสารพิษ

**clean technology (CT) เทคโนโลยีสะอาด (ซีที)**
การปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์ เพื่อให้การใช้วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากรธรรมชาติ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด รวมถึงการเปลี่ยนวัตถุดิบ การใช้ซ้ำ และการนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดของเสียให้เหลือน้อยที่สุด

**coagulation การจับเป็นกลุ่มก้อน**
กระบวนการทางเคมีที่ใช้บำบัดน้ำเสีย โดยการเติมสารเคมี ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวประสานให้อนุภาคมารวมตัวกันเป็นก้อน เช่น สารส้ม เพื่อทำให้สารแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ช้ามาก จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน จนมีน้ำหนักมาก และสามารถตกตะกอนลงมาได้รวดเร็ว

**criteria air pollutants (CAPs) สารมลพิษทางอากาศตามเกณฑ์, สารมลพิษอากาศหลัก**
สารมลพิษทางอากาศ (ดู air pollutant) ซึ่งหน่วยงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา (Environment Protection Agency (EPA)) กำหนดขึ้นเพื่อควบคุมมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ (criteria) หรือหลักการพิจารณาผลกระทบต่อสุขภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กำหนดจากสารมลพิษทางอากาศที่พบโดยทั่วไป (common air pollutants) 6 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โอโซน ฝุ่นละออง และตะกั่ว สารมลพิษทางอากาศตามเกณฑ์เหล่านี้สามารถทำอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสภาพแวดล้อม รวมทั้งสร้างความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้างต่างๆ

**cyclone ไซโคลน**
อุปกรณ์ดักฝุ่นโดยใช้แรงหนีศูนย์กลาง มีลักษณะเป็นทรงกระบอกและมีปลายเป็นรูปโคน เมื่ออากาศผ่านเข้ามาในไซโคลนจะเกิดกระแสวน เรียกว่า main vortex ซึ่งทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนังของไซโคลน เมื่อกระแสวนนี้เคลื่อนลงจนถึงเกือบปลายโคน อากาศจะหมุนกลับเป็นกระแสวนที่เล็กกว่าเดิม เรียกว่า core vortex และเคลื่อนที่ขึ้นไปตามตัวไซโคลน จนออกไปทางท่อออกที่อยู่ส่วนบนของเครื่อง สำหรับอนุภาคที่ถูกเหวี่ยงไปยังผนังของไซโคลนจะเคลื่อนที่ลงไปยังส่วนปลายของโคนไปยังถังพัก เนื่องจากแรงเฉื่อยและแรงถ่วง ส่วนอากาศที่ไม่มีอนุภาคจะหมุนขึ้นผ่านท่อออกที่อยู่ส่วนบนของไซโคลน โดยทั่วไป ไซโคลนสามารถจับฝุ่นที่มีขนาด 10 ไมครอน หรือใหญ่กว่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไซโคลนซึ่งใช้กันทั่วไปจับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 25 ไมครอนได้เกินร้อยละ 90



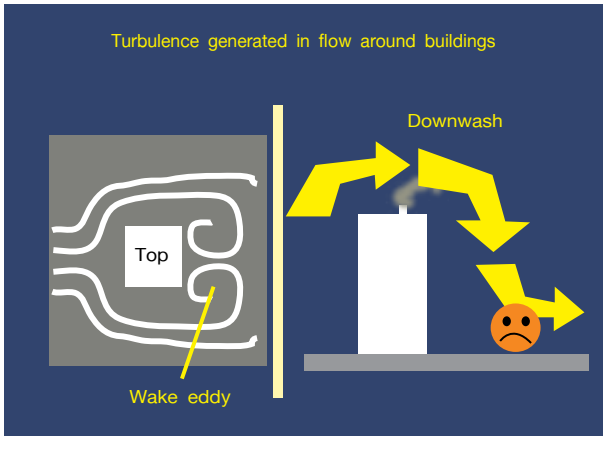
ไซโคลน

**day-night sound (pressure) level (Ldn) ระดับเสียงเฉลี่ยกลางวัน-กลางคืน**
ค่าระดับเสียงสมมูล 24 ชั่วโมง (ดู equivalent sound (pressure) level) ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางเสียง โดยบวก 10 เดซิเบล เข้าไปกับค่าระดับเสียงสมมูล 1 ชั่วโมง (Leq 1 hr) ของช่วงเวลากลางคืน (22:00 - 7:00 น.)

**decibel เดซิเบล**
หน่วยวัดในสเกลของลอการิทึม ของระดับความเข้มของเสียงใดๆ ต่อระดับความเข้มของเสียงมาตรฐาน หรือระดับขีดเริ่มการได้ยิน มีค่าจาก 0 ซึ่งเป็นระดับต่ำสุดที่มนุษย์ได้ยินไปจนถึงระดับ 130 ซึ่งเป็นระดับที่ทำให้มีอาการปวดหู

**dissolved oxygen (DO) ออกซิเจนละลายน้ำ (ดีโอ)**
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ น้ำเสีย หรือของเหลวอื่นๆ โดยปกติจะวัดเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร หรือส่วนในล้านส่วน หรือร้อยละของค่าการละลายที่สภาวะอิ่มตัว

**downwash การล้างลง**
การที่กลุ่มควันหรือพลูม ซึ่งระบายจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ในที่สูง เช่น ปล่องควันหรือปล่องระบายอากาศเสีย เคลื่อนที่ต่ำลงสู่พื้นโดยอิทธิพลของสิ่งกีดขวาง เช่น อาคาร สิ่งก่อสร้าง หรือโดยลักษณะของบรรยากาศที่อยู่ในสภาพคงตัว ส่งผลให้เกิดเขตอากาศนิ่ง ที่มีความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ (ดู air pollutant) สูงกว่าปกติ

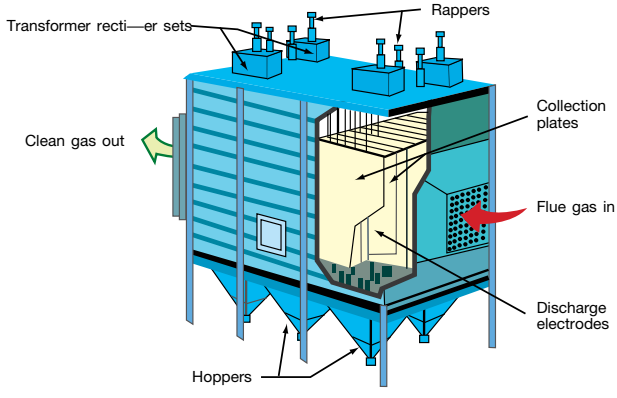


การล้างลง

**dry deposition การตกสะสมแห้ง**
การตกของกรดในสภาวะที่ไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ กรดที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ตลอดจนอนุภาคหรือละอองซัลเฟตและไนเตรท จะถูกพัดพาไปโดยลมและตกสะสมบนผิวดิน ต้นไม้ สิ่งก่อสร้าง รวมถึงการเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ (ดู wet deposition ประกอบ)

**effluent standard มาตรฐานน้ำทิ้ง**
มาตรฐานซึ่งกำหนดขึ้นเพื่อควบคุมสมบัติของน้ำทิ้ง ที่ยอมให้ระบายออกจากแหล่งกำเนิดสู่แหล่งน้ำภายนอก

**electrostatic precipitator เครื่องดักฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต**
อุปกรณ์ที่ใช้ในการดักฝุ่นออกจากก๊าซเสีย โดยมีหลักการผ่านก๊าซเสียที่มีฝุ่นไปยังขั้วไฟฟ้าปล่อยประจุ (discharge electrode) ทำให้ฝุ่นหรืออนุภาคมีประจุไฟฟ้า แล้วผ่านฝุ่นที่มีประจุไฟฟ้าเข้าไปในสนามไฟฟ้าสถิต ฝุ่นจะเคลื่อนที่เข้าหาและถูกเก็บบนแผ่นเก็บ (collection plate) ซึ่งมีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับฝุ่น ประสิทธิภาพของการดักฝุ่นจะลดลงเมื่อมีฝุ่นสะสมบนแผ่นเก็บมาก จึงต้องหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า แล้วเคาะให้ฝุ่นสะสมร่วงลงสู่ด้านล่างไปยังถังพัก (hopper) อุปกรณ์ดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตนี้มีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 99.5 หรือสูงกว่า เหมาะสำหรับการกำจัดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน สามารถแยกฝุ่นที่มีอุณหภูมิสูง และมีทั้งชนิดเก็บฝุ่นแห้งและฝุ่นเปียก



เครื่องดักฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต

**emission inventory บัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ**
ข้อมูลปริมาณการปล่อยสารมลพิษทางอากาศ (ดู air pollutant) แต่ละชนิด จากแหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศ (ดู emission source) แต่ละประเภทในพื้นที่ที่สนใจ ซึ่งจัดไว้เป็นหมวดหมู่ โดยมีการระบุปีฐานของข้อมูลหรือช่วงเวลาที่ทำการรวบรวมข้อมูล เพื่อจัดทำบัญชี ขอบเขตของบัญชีอาจครอบคลุมแค่โรงงานแห่งหนึ่ง หรือเมืองหนึ่ง หรือทั้งโลกก็ได้ และมีความละเอียดแตกต่างกันไปตามระดับของบัญชี บัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศของเมืองแห่งหนึ่งควรครอบคลุมข้อมูลการระบายมลพิษจากแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศที่สำคัญในเมืองนั้น เช่น การปล่อยสารมลพิษจากภาคขนส่ง โรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงการทำกิจกรรมในครัวเรือน เป็นต้น

**emission source แหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศ**
แหล่งที่ก่อให้เกิดสารมลพิษทางอากาศ (ดู air pollutant) และระบายออกไปสู่อากาศภายนอก แหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

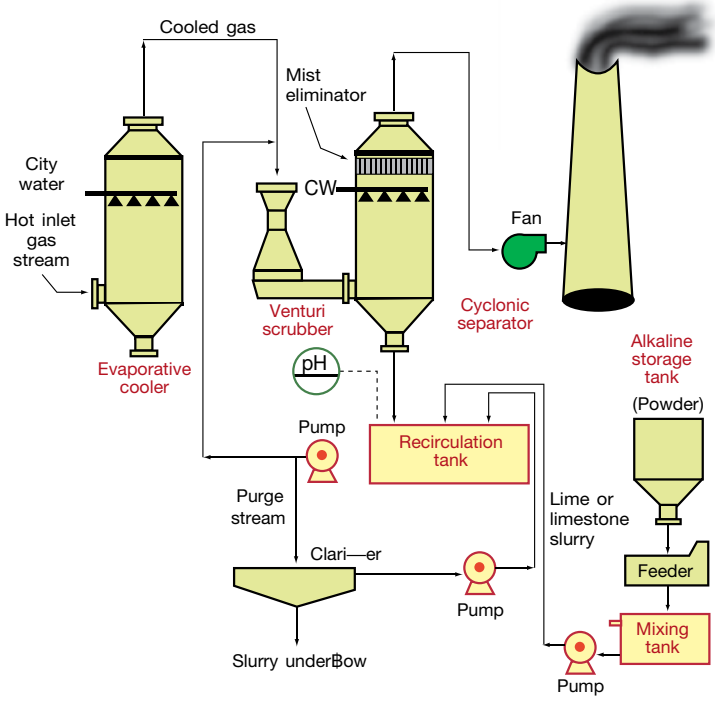
1. แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (natural sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสารมลพิษอากาศตามกระบวนการทางธรรมชาติ ไม่มีการกระทำของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องแต่อย่างใด เช่น ภูเขาไฟระเบิด ไฟป่า ทะเลทราย และมหาสมุทร เป็นต้น
2. แหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสารมลพิษอากาศอันเนื่องมาจากการทำกิจกรรมของมนุษย์ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ยานพาหนะ การก่อสร้าง การทำเหมืองแร่ เป็นต้น

**emission standard มาตรฐานการปล่อยสารมลพิษทางอากาศ**
มาตรฐานที่กำหนดขึ้นเพื่อควบคุมค่าปริมาณของสารมลพิษเจือปนในอากาศ ที่ระบายออกจากแหล่งกำเนิดสู่บรรยากาศภายนอก

**Environmental Management System (EMS) ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (อีเอ็มเอส)**
เครื่องมือให้โรงงานอุตสาหกรรมได้นำไปจัดกระบวนการวางแผน เพื่อให้มีแนวทางที่ชัดเจนในการนำแผนไปปฏิบัติ รวมทั้งมีการตรวจสอบ แก้ไข และการทบทวนโดยผู้บริหาร เพื่อให้เกิดการปรับปรุงแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยระบบจะสนับสนุนให้โรงงานมีการใช้วัตถุดิบและทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า เพื่อลดต้นทุนการผลิต ลดปริมาณของเสียและมลพิษภายในโรงงาน ลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสีย และสามารถประกอบกิจการได้สอดคล้องตามกฎหมายสิ่งแวดล้อม ตลอดจนช่วยสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับผู้ประกอบการในการมีส่วนร่วมรักษาสิ่งแวดล้อม

**equivalent sound (pressure) level (Leq, 24 hr) ระดับเสียงสมมูล 24 ชั่วโมง**
ค่าวัดระดับเสียงในอุดมคติซึ่งมีการสะสมพลังงานของเสียงเท่ากับการสะสมพลังงานของเสียงที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

**evaporative cooler ตัวทำความเย็นแบบระเหย, อุปกรณ์หล่อเย็นก๊าซ**
อุปกรณ์ลดอุณหภูมิก๊าซร้อน โดยฉีดพ่นน้ำเป็นหยดน้ำขนาดเล็กซึ่งรับความร้อนจากก๊าซร้อน ทำให้น้ำระเหยเป็นไอ มักติดตั้งไว้ด้านหน้าของเครื่องฟอกเวนจูรี (venturi scrubber) ในระบบดักฝุ่นแบบเปียก (particulate wet scrubbing system) ซึ่งใช้ดักฝุ่นที่มีขนาดเล็กมาก (เล็กกว่า 1 ไมครอน) เป็นอุปกรณ์จำเป็นเพื่อป้องกันความเสียหายของวัสดุโครงสร้างภายในเครื่องฟอกเวนจูรี และช่วยป้องกันการเกิดหยดน้ำภายในคอคอด (throat) ซึ่งอาจไปขัดขวางการชนหรือปะทะกันระหว่างของเหลวที่ฉีดพ่นเข้ามาที่คอคอดกับอนุภาคฝุ่น (ดู wet scrubber ประกอบ)




อุปกรณ์หล่อเย็นก๊าซ

**excess air อากาศส่วนเกิน**
อากาศส่วนที่เกินไปจากปริมาณที่เชื้อเพลิงต้องการใช้เพื่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ตามทฤษฎี

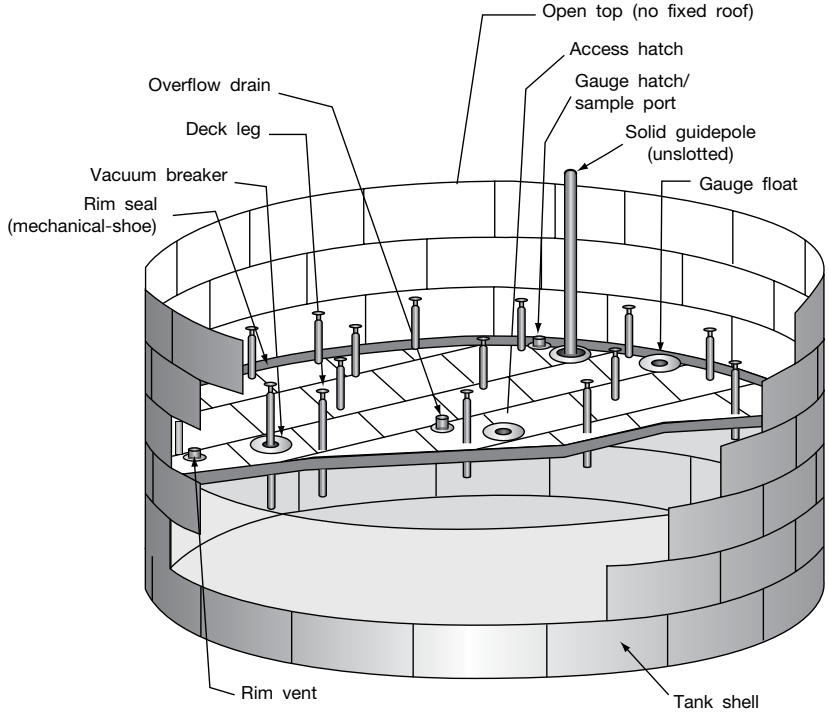
**external floating roof tank ถังเก็บสารเคมีชนิดหลังคาไม่ติดตาย**
ถังเก็บชนิดที่มีหลังคาไม่ติดตาย แต่ยกระดับขึ้นลงตามระดับของน้ำมันที่บรรจุในถัง ทำให้ไม่มีช่องว่างเหนือของเหลวใต้หลังคา (vapor space) ช่วยควบคุมไม่ให้สารเคมีระเหย มีระบบขอบหลังคากันรั่ว (rim seal system) มักใช้เก็บน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมัน (ดู fixed roof tank ประกอบ)

**facultative pond บ่อแฟคัลเททีฟ, บ่อกึ่งแอโรบิก**
ระบบบ่อปรับเสถียรในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ส่วนบนของบ่อจะอยู่ในสภาพแอโรบิก จากการเติมอากาศที่ผิวหน้าและจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ส่วนล่างของบ่อจะอยู่ในสภาพแอนแอโรบิก โดยสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนสู่ช่วงล่างของบ่อจะถูกย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก

**fixed roof tank ถังเก็บสารเคมีชนิดหลังคาติดตาย**
ถังทรงกระบอกแนวตั้ง มีหลังคาเป็นรูปโคนปลายแหลมหรือโดมโค้งมน ใช้เก็บน้ำมันหรือสารเคมี (ดู external floating roof tank ประกอบ)


ถังเก็บสารเคมีชนิดหลังคาไม่ติดตาย


ถังเก็บสารเคมีชนิดหลังคาติดตาย



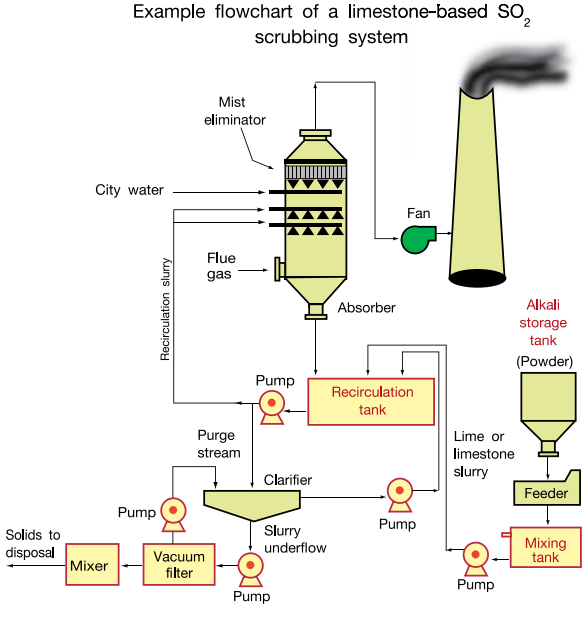
ถังเก็บสารเคมีชนิดหลังคาไม่ติดตาย

**flare การเผาทิ้ง**

การเผาก๊าซส่วนเกินหรือก๊าซที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์โดยระบบการเผาไหม้ภายนอก ในปล่องสูงซึ่งมีเปลวไฟเลี้ยง (flare stack) ที่ปลายปล่องตลอดเวลา ใช้กำจัดสารมลพิษทางอากาศ (ดู air pollutant) ที่ติดไฟได้ เช่น สารอินทรีย์ระเหย ซึ่งเมื่อถูกส่งผ่านเปลวไฟเลี้ยง จะติดไฟและเผาไหม้จนสลายไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ โรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีใช้ระบายก๊าซในระบบไปเผาทิ้งที่ปลายปล่องในกรณีฉุกเฉิน หรือเมื่อต้องการระบายความดันส่วนเกินในกระบวนการผลิตเป็นอุปกรณ์จำเป็นเพื่อความปลอดภัยและควบคุมสภาวะแวดล้อม

**flue gas desulfurization (FGD) การขจัดกำมะถันในก๊าซเสีย (เอฟจีดี)**

การขจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกจากก๊าซ หรือไอเสียจากการเผาไหม้ มีทั้งแบบเปียก เช่น วิธีดูดซับด้วยปูนขาว วิธีดูดซับด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และแบบแห้ง เช่น วิธีพ่นผงปูนขาวเข้าไปในเตา วิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (ดู activated carbon) วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ระบบฟอกก๊าซแบบเปียกด้วยปูนขาว (limestone wet scrubbing system) โดยใช้ปูนขาวในรูปของเหลวข้น ซึ่งเตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมออกไซด์ (CaO) กับน้ำ ได้เป็น $Ca(OH)_2$ ทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนของเหลวในระบบ ซึ่งจะจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดเป็นแคลเซียมซัลไฟต์ ($CaSO_3 \cdot \frac{1}{2}H_2O$) การขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธีการดูดซับนี้ต้องควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้อยู่ระหว่าง 5-9 โดยทั่วไปประสิทธิภาพของการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยระบบฟอกก๊าซแบบเปียกอยู่ระหว่างร้อยละ 80-95




การขจัดกำมะถันในก๊าซเสีย

**fly ash เถ้าลอย**

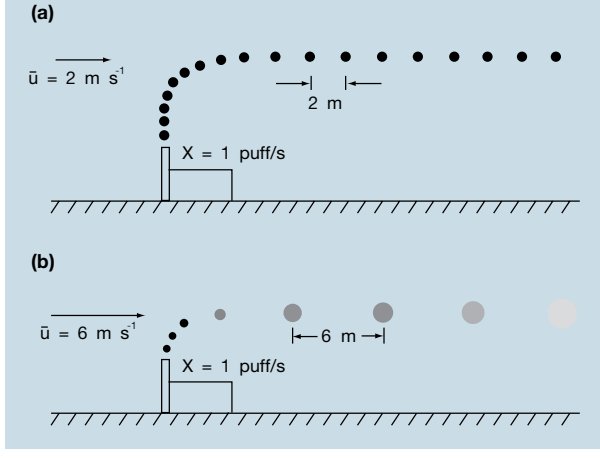
อนุภาคละเอียดของเถ้าที่ลอยไปกับแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ เถ้าขนาดเล็กที่ผ่านออกจากห้องเผาไหม้ไปกับอากาศเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกแยกและกักเก็บไว้โดยอุปกรณ์ควบคุมฝุ่นที่ติดตั้งไว้กับเตาเผา และมีบางส่วนที่สามารถผ่านออกสู่อากาศได้ทางปล่องควัน

**Gaussian plume model แบบจำลองพลูมของเกาส์เซียน**

แบบจำลองซึ่งประเมินการแพร่กระจายสารมลพิษทางอากาศ (ดู air pollutant) จากแหล่งกำเนิด โดยใช้หลักการพิจารณาว่าสารมลพิษที่ถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดจะแพร่กระจายไปในอากาศตามทิศทางลม ในลักษณะคล้ายกรวย (plume) ที่แผ่ฟูออกตามสภาพอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยเท่าๆ กันทั้งพื้นที่และค่าความเข้มข้น ณ จุดต่างๆ ภายในกรวย โดยมีค่าคงที่ในชั่วขณะเวลาที่คำนวณ ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษคำนวณด้วยสมการเกาส์เซียน (Gaussian equation)

**Gaussian puff model แบบจำลองพัฟของเกาส์เซียน**

แบบจำลองซึ่งประเมินการแพร่กระจายสารมลพิษทางอากาศ (ดู air pollutant) จากแหล่งกำเนิด โดยใช้หลักการพิจารณาว่าสารมลพิษที่ถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดจะแพร่กระจายไปในอากาศตามทิศทางลม ในลักษณะลูกทรงกลม (puff) ที่พองโตและกระจายออกตามเวลา ความเข้มข้นที่จุดต่างๆ ได้มาจากการรวมค่าความเข้มข้นที่มาจากพัฟแต่ละลูก ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษคำนวณด้วยสมการเกาส์เซียนเช่นเดียวกับแบบจำลองพลูมของเกาส์เซียน (ดู Gaussian plume model)



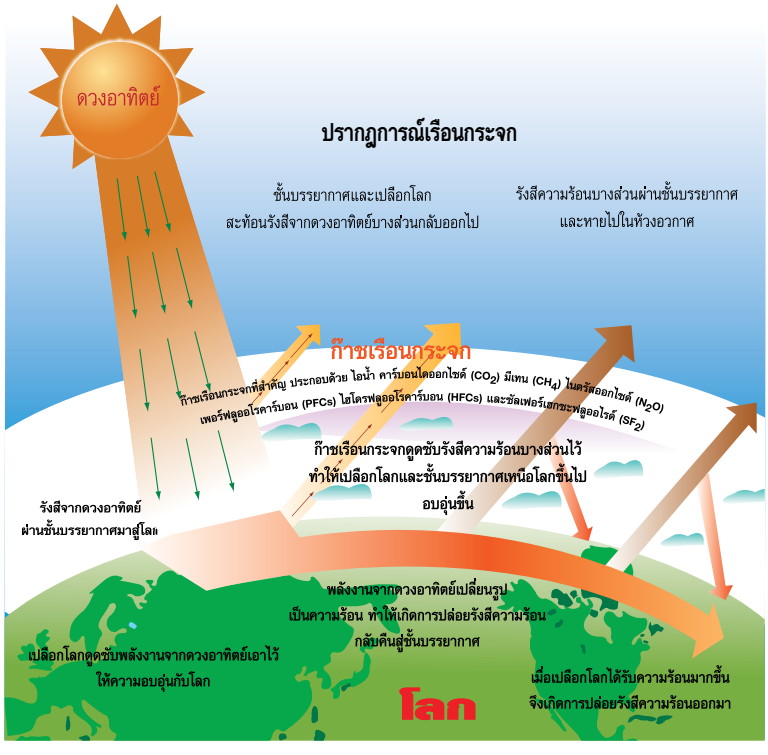

แบบจำลองพัฟของเกาส์เซียน

**grab sample ตัวอย่างสุ่ม, ตัวอย่างแบบฉวย**

ตัวอย่างที่เก็บเป็นครั้งๆ โดยไม่คำนึงถึงเวลาและอัตราการไหลในขณะเก็บตัวอย่าง

**gravity settling chamber ห้องตกอนุภาค**
อุปกรณ์ที่ใช้ดักฝุ่นละออง มีลักษณะเป็นห้อง (chamber) ที่ขยายใหญ่ เพื่อให้อนุภาคมีความเร็วลดลงและตกด้วยแรงโน้มถ่วง ใช้สำหรับแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ประมาณ 40-60 ไมครอน โดยกระแสก๊าซที่มีฝุ่นจะไหลเข้าห้องตกอนุภาคทางท่อเข้า กระแสก๊าซจะเคลื่อนผ่านห้องตกอนุภาคด้วยความเร็วต่ำ อนุภาคขนาดใหญ่จะตกลงสู่ด้านล่างของห้องด้วยแรงโน้มถ่วง เนื่องจากประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของอุปกรณ์นี้มีค่าต่ำ จึงมักใช้เป็นเครื่องที่ดักฝุ่นใหญ่ก่อนหรือหลังอุปกรณ์ดักฝุ่นชนิดอื่น

**greenhouse effect ปรากฏการณ์เรือนกระจก**
ภาวะที่ชั้นบรรยากาศซึ่งห่อหุ้มโลก เป็นเสมือนกระจกที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ผ่านลงมายังผิวโลกได้ แต่จะดูดกลืนรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดที่แผ่ออกจากพื้นผิวโลกเอาไว้ และคายพลังงานความร้อนให้กระจายอยู่ภายในชั้นบรรยากาศและพื้นผิวโลก ในภาวะปกติจึงเปรียบเสมือนกระจกที่ปกคลุมผิวโลก ให้มีภาวะสมดุลทางอุณหภูมิและเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิต แต่เมื่อมีการปล่อยและการสะสมของก๊าซเรือนกระจก (ดู greenhouse gas) หลายชนิดจากกิจกรรมของมนุษย์โดยเฉพาะจากการเผาไหม้มากเกินไป จึงส่งผลให้พื้นผิวโลกและชั้นบรรยากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น (global warming) เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (climate change) และมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต



ปรากฏการณ์เรือนกระจก

**greenhouse gas ก๊าซเรือนกระจก**
ก๊าซที่มีสมบัติดูดกลืนและคายรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดได้ดี เมื่อพื้นผิวโลกคายรังสีอินฟราเรดขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ จะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเอาไว้ และคายความร้อนให้กระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศและบริเวณพื้นผิวโลกเพิ่มมากขึ้น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuel) ได้แก่ ถ่านหินและเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม ทั้งจากกิจกรรมในชีวิตประจำวันและจากการประกอบกิจกรรมอุตสาหกรรม เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้มีการสะสมของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศมากขึ้น ก๊าซเรือนกระจกสำคัญที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) มีเทน ($CH_4$) ไนตรัสออกไซด์ ($N_2O$) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ($SF_6$)

**ground level ozone โอโซนระดับพื้นดิน**
ผลผลิตจากปฏิกิริยาโฟโตเคมี (ดู photochemical reaction) ระหว่างสารอินทรีย์ระเหย (volatile organic compounds (VOCs)) และก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ ($NO_x$) โดยมีแสงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงานและตัวเร่งปฏิกิริยา การเผาไหม้เชื้อเพลิงในยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรม รวมไปถึงการเกษตร ล้วนเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของทั้งสารอินทรีย์ระเหยและก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดโอโซนที่ระดับพื้นดิน




โอโซนระดับพื้นดิน

**hazardous air pollutant (HAPs) สารมลพิษทางอากาศที่เป็นอันตราย (เอชเอพี)**
สารมลพิษทางอากาศ (ดู air pollutant) ที่ก่อให้เกิดอันตรายหรือทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว เช่น เบนซิน ปรอท แร่ใยหินหรือแอสเบสทอส โดยจะทำลายภูมิคุ้มกันระบบประสาท และทำให้เกิดความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์และต่อมไร้ท่อ หน่วยงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา (Environment Protection Agency (EPA)) ได้กำหนดชนิดของสารมลพิษทางอากาศที่เป็นอันตรายไว้รวม 189 ชนิด

**hazardous waste ของเสียอันตราย**
สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบ หรือปนเปื้อนสารอันตราย ได้แก่ สารไวไฟ สารกัดกร่อน สารเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย วัตถุระเบิด สารพิษ สารกัมมันตรังสี และ/หรือสิ่งที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ พืช ทรัพย์สินอื่น และสิ่งแวดล้อม

**hazardous waste manifest system ระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย**
ระเบียบปฏิบัติในเรื่องระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย พ.ศ. 2547 ซึ่งกำหนดให้ผู้ก่อกำเนิดของเสียอันตรายตั้งแต่ 100 กิโลกรัมต่อเดือนขึ้นไป ผู้ขนส่งของเสียอันตรายและผู้เก็บรวบรวมบำบัดและกำจัดของเสียอันตราย ต้องปฏิบัติตามระเบียบในขณะครอบครองของเสียอันตราย จัดทำใบกำกับการขนส่งของเสียอันตรายตามแบบกำกับการขนส่งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และการปฏิบัติตนเมื่อมีอุบัติเหตุหรือเหตุฉุกเฉิน หรือของเสียอันตรายรั่วไหลหรือลุกไหม้ระหว่างการขนส่ง และต้องรายงานข้อมูลการขนส่งของเสียอันตรายให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบ

**industrial wastes ของเสียอุตสาหกรรม, กากอุตสาหกรรม**
ของเสียทุกชนิดที่เกิดจากกิจกรรมอุตสาหกรรม เช่น ของเสียจากกระบวนการผลิต วัตถุดิบที่ถูกเก็บจนเสื่อมสภาพ ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพหรือเสื่อมสภาพ ภาชนะบรรจุที่มีของปนเปื้อนและของเหลือใช้ ของเสียที่ถูกปล่อยจากกิจกรรมอุตสาหกรรม อาจอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว และก๊าซหรือไอ ซึ่งทั้งหมดนี้อาจมีคุณสมบัติเป็นพิษอันตราย และไม่เป็นพิษ

**integrated risk information system (IRIS) ระบบสารสนเทศการประเมินความเสี่ยงอย่างครบวงจร (ไอริส)**
ระบบประเมินผลกระทบที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์ของหน่วยงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา (Environment Protection Agency (EPA)) ซึ่งจะหาค่าความเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบอันเนื่องมาจากการสัมผัสกับสิ่งปนเปื้อนในสภาวะแวดล้อม ให้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์คุณภาพสูงที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบสุขภาพ ซึ่งจะช่วยสนับสนุนบทบาทในการกำกับดูแลสิ่งแวดล้อมของหน่วยงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา ฐานข้อมูลประกอบด้วยรายการข้อมูลผลกระทบ ที่อาจมีต่อสุขภาพของมนุษย์ของสารเคมีจำนวนมากกว่า 540 ชนิด สามารถสืบค้นเพิ่มเติมได้จาก www.epa.gov/iris

**internal floating roof tank ถังเก็บชนิดหลังคาลอยภายใน**
ถังเก็บซึ่งภายในมีหลังคาลอยติดตั้งซ้อนไว้ใต้หลังคาแบบติดตาย เพื่อคลุมผิวหน้าของน้ำมันไม่ให้ระเหย หลังคาลอยมีขอบยาง ซึ่งช่วยปิดช่องว่างระหว่างหลังคาลอยและผนังด้านในของถัง เพื่อกักไอระเหยของน้ำมันไว้ใต้หลังคา เหมาะสำหรับเก็บน้ำมันชนิดระเหยง่ายและไวไฟมาก เช่น น้ำมันเบนซิน เป็นต้น

**ion exchange การแลกเปลี่ยนไอออน**
การบำบัดน้ำเสียโดยหลักการแลกเปลี่ยนไอออนทั้งบวกและลบที่มีในน้ำเสียกับเรซิน ซึ่งทำหน้าที่แลกเปลี่ยนไอออน สามารถกำจัดไอออนประจุบวกและลบ เช่น $Ca^{2+}$ $Mg^{2+}$ $SO_4^{2-}$ $Cl^-$ ออกจากน้ำเสียได้

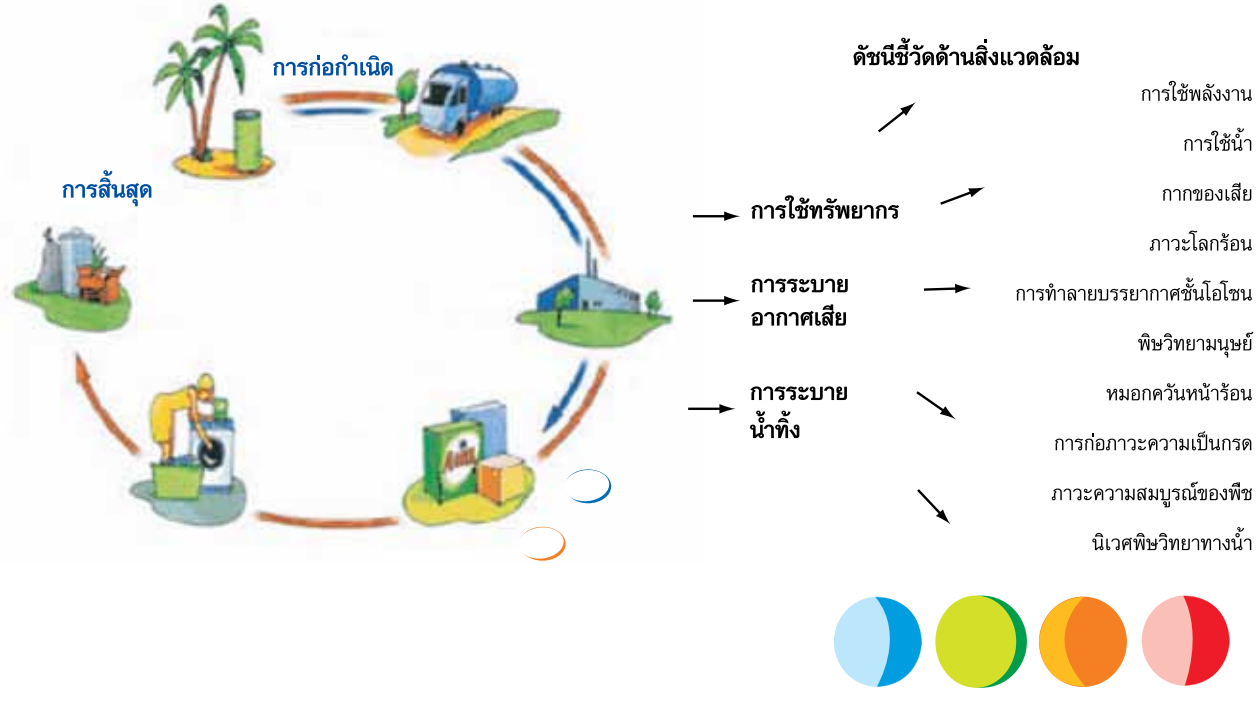
**Kyoto protocol พิธีสารเกียวโต**
พิธีสารเกียวโตเกิดขึ้นจากการที่ประเทศภาคีอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เล็งเห็นความสำคัญในการผลักดันให้ประเทศอุตสาหกรรมให้ความร่วมมืออย่างจริงจังในการแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พิธีสารเกียวโตเกิดขึ้นในการประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาฯ สมัยที่ 3 ณ เมืองเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น เมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2540 ระบุถึงพันธะกรณีในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มประเทศในภาคผนวก I (กลุ่มประเทศพัฒนาแล้วและกลุ่มประเทศที่กำลังมีการเปลี่ยนแปลงเศรษฐกิจ) ให้เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดภายในช่วงพันธะกรณีแรกคือ พ.ศ. 2551-2555 โดยอ้างอิงจากระดับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อ พ.ศ. 2533 ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันต่อพิธีสารเกียวโตเมื่อ พ.ศ. 2547 โดยที่ประเทศไทยจัดอยู่ในกลุ่มประเทศนอกภาคผนวก I จึงไม่มีพันธะกรณีในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงพันธะกรณีแรกดังกล่าว แต่สามารถเข้าร่วมในการดำเนินการโครงการภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาด (clean development mechanism (CDM)) และสามารถรับการสนับสนุนทางการเงินและเทคโนโลยีจากประเทศในภาคผนวก I เพื่อการลงทุนในโครงการภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาดได้ ซึ่งเป็นกลไกหนึ่งในพิธีสารเกียวโตเพื่อช่วยประเทศนอกภาคผนวก I ให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการพัฒนาอย่างยั่งยืน และยังช่วยให้ประเทศในภาคผนวก I สามารถบรรลุพันธะสัญญาในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วย (ดู greenhouse gas)

**leak detection and repair program (LDAR) การตรวจหาการรั่วซึมและซ่อมบำรุง (แอลดีเออาร์)**
โปรแกรมการตรวจหาการรั่วซึมและซ่อมบำรุง ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมดำเนินการได้เอง (self monitoring) มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมและป้องกันการรั่วซึมของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากอุปกรณ์ต่างๆ ภายในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น วาล์ว ปั๊ม ข้อต่อ หน้าแปลน เป็นต้น เป็นโปรแกรมที่ต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อตรวจพบว่ามีการรั่วซึมเกินเกณฑ์ที่กำหนดที่อุปกรณ์ใดๆ ก็ต้องดำเนินการซ่อมบำรุง หรือเปลี่ยนให้อยู่ในสภาพที่ไม่มีการรั่วซึมหรือรั่วซึมไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด

**life cycle analysis, life cycle assessment (LCA) การวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต (แอลซีเอ)**

กระบวนการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (cradle to grave) โดยเริ่มวิเคราะห์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการกระจาย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำมาใช้ใหม่/การแปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ในการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ใดๆ จะระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม และประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขภาพอนามัยของประชาชน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

**การวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตสามารถช่วยกำหนดทิศทางสำหรับการสร้างนวัตกรรมผลิตภัณฑ์**




การวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต

**low $NO_x$ burner หัวเผาออกไซด์ไนโตรเจนต่ำ**
หัวเผาเชื้อเพลิงที่ปล่อยก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ต่ำ ($NO_x$) หัวเผาที่ออกแบบขึ้นเพื่อไม่ให้เกิดสภาวะการเผาไหม้ที่เอื้อต่อการเกิดก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ สภาวะใดสภาวะหนึ่งหรือหลายสภาวะร่วมกัน เช่น การควบคุมปริมาณของออกซิเจนในบริเวณที่เกิดการเผาไหม้ไม่ให้มีมากเกินไป การลดอุณหภูมิสูงสุดของเปลวไฟ การลดระยะเวลาที่ก๊าซตกค้างอยู่ในช่วงที่มีอุณหภูมิสูงให้สั้นลง เป็นต้น

**neutralization การทำให้เป็นกลาง, การปรับค่า pH**
กระบวนการทางเคมีที่ใช้บำบัดน้ำเสีย โดยการเติมกรดหรือด่างเพื่อปรับค่า pH ของน้ำเสีย

**odor threshold value ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่มนุษย์รับรู้กลิ่นได้, ระดับเริ่มรับรู้กลิ่น**
ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารก่อกลิ่นที่ทำให้ร้อยละ 50 ของกลุ่มประชากรตัวอย่างเริ่มได้กลิ่น

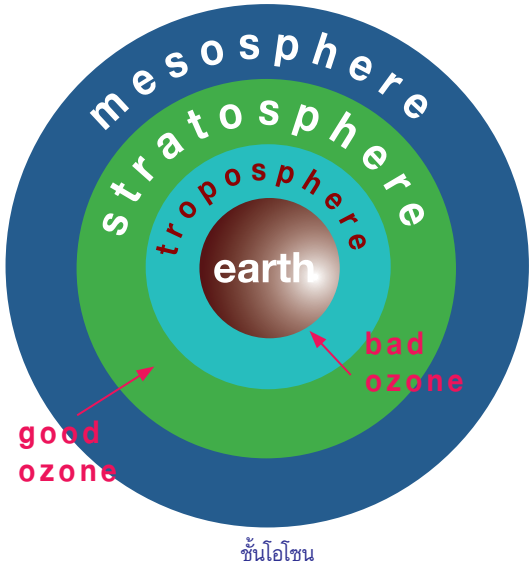
**oil and grease trap ถังดักไขมันและน้ำมัน**
การดักไขมันและน้ำมันโดยอาศัยสมบัติของไขมันและน้ำมันที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำ จึงลอยตัวอยู่เหนือน้ำ โดยน้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังดักไขมันและน้ำมัน ซึ่งมีท่อทางออกของน้ำจุ่มอยู่ใต้น้ำ และอยู่ต่ำกว่าชั้นของไขมันและน้ำมัน จึงสามารถดึงเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำออกจากถังดัก ส่วนไขมันหรือน้ำมันจะสะสมอยู่ในถังและสามารถตักออกไปทิ้งได้ กรณีที่น้ำมันจับเป็นเนื้อเดียวกับน้ำเสีย จะต้องทำให้น้ำมันและน้ำเสียแยกตัวจากกัน โดยใช้สารเคมีหรืออาจใช้วิธีทำให้ลอยตัว

**oxidation-reduction ออกซิเดชัน-รีดักชัน**
การเติมสารเคมีซึ่งอาจเป็นสารออกซิไดซ์ (oxidant) หรือสารรีดักชัน (reductant) อย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันกับสารมลพิษ ผลของปฏิกิริยาทำให้ได้สารที่ไม่เป็นพิษหรือมีความเป็นพิษน้อยลง มักใช้ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย

**ozonation การเติมโอโซน**
การผ่านโอโซน (ดู ozone) ในน้ำเพื่อฆ่าเชื้อโรค หรือควบคุมกลิ่นและรสชาติ

**ozone โอโซน**
ก๊าซที่โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม เป็นก๊าซสีฟ้า ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดี จึงมีการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมและเครื่องใช้ตามบ้านเรือนโดยทั่วไป

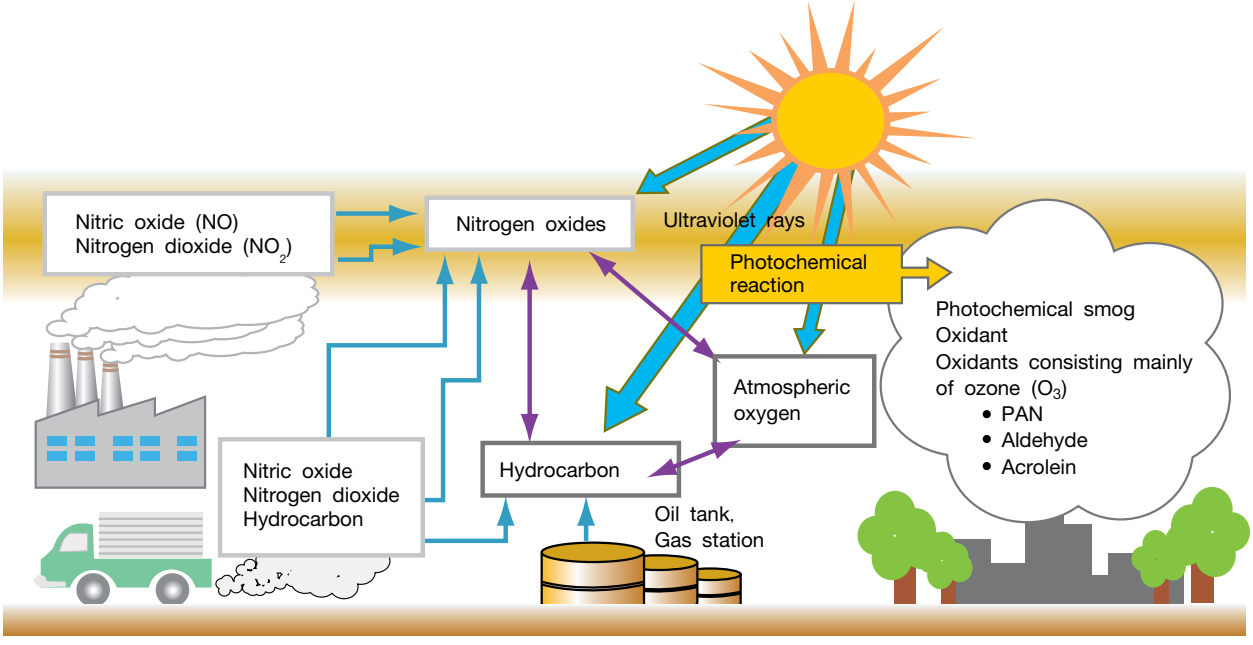
**ozone layer ชั้นโอโซน**
โอโซน (ดู ozone) ที่สะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศส่วนบน สูงจากผิวโลกราว 15-30 กิโลเมตร ทำหน้าที่ดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลตจากแสงอาทิตย์ ก่อนส่องลงสู่ผิวโลก ซึ่งโอโซนที่อยู่ในชั้นบรรยากาศส่วนบนนี้จัดเป็นโอโซนที่ดี (good ozone) ส่วนโอโซนในชั้นบรรยากาศระดับใกล้พื้นดินจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ โดยส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ทำลายพืชพันธุ์บางชนิดอีกด้วย โอโซนที่อยู่ในระดับใกล้พื้นดินนี้จัดเป็นโอโซนที่ไม่ดี (bad ozone)



ชั้นโอโซน

**perceived noise level (PNL, LPN) ระดับเสียงรับรู้ (พีเอ็นแอล, แอลพีเอ็น)**
ค่าระดับความดันเสียงซึ่งแสดงถึงความรู้สึกรำคาญของมนุษย์ที่ได้ยินเสียงที่ความถี่และระดับต่างๆกัน ใช้เป็นค่าพื้นฐานในการประเมินเสียงจากเครื่องบิน ซึ่งส่งผลกระทบต่อมนุษย์ที่ความถี่ต่างๆ

**photochemical reaction ปฏิกิริยาโฟโตเคมี**
ปฏิกิริยาเคมีซึ่งเกิดขึ้นโดยอาศัยพลังงานแสง แสงที่ถูกดูดกลืนเข้าไปในโมเลกุลจะกระตุ้นให้สารนั้นมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ให้ผลผลิตเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) จำนวนมาก ซึ่งนำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่องไป ตัวอย่างของปฏิกิริยาโฟโตเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปฏิกิริยาระหว่างไนโตรเจนไดออกไซด์และสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศให้ตัวออกซิไดซ์ชนิดต่างๆ เป็นผลผลิต เช่น โอโซน แอลดีไฮด์ เพอร์ออกซีแอซิทิลไนเทรต (peroxyacetyl nitrate (PANs)) เป็นต้น ภายใต้สภาวะที่เอื้ออำนวย เช่น สภาพอากาศและแสงแดดแรง อาจทำให้เกิดสภาวะหมอกควันปกคลุมพื้นที่ (photochemical smog) บดบังทัศนะวิสัย ซึ่งมักเกิดภาวะเช่นนี้ในเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น




ปฏิกิริยาโฟโตเคมี

**pollutant release and transfer register (PRTR) ทำเนียบการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ (พีอาร์ทีอาร์)** ระบบฐานข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการปลดปล่อยสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งด้านอากาศ ดิน และน้ำ รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายของเสียออกจากแหล่งกำเนิดเพื่อบำบัดหรือกำจัด

**pollution prevention การป้องกันมลพิษ** การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ และการบริการ ด้วยการลดการเกิดของเสียที่แหล่งกำเนิด

**precipitation การตกตะกอนผลึก, การตกน้ำฟ้า** ความหมายในด้านเคมี หมายถึง การตกตะกอนผลึกของตะกอนที่เกิดใหม่จากสารละลายทำปฏิกิริยา เช่น การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียที่มีค่า pH ต่ำ โดยการเติมสารเคมีประเภทด่าง เช่น โซดาไฟหรือปูนขาว ให้กับน้ำเสียจนมีค่า pH เพิ่มขึ้นถึงระดับที่เหมาะสม จะทำให้โลหะหนักตกตะกอนผลึกร่วมกับไอออนของไฮดรอกไซด์ได้ ($OH^-$) จากนั้นจึงทำให้ผลึกของแข็งรวมกันเป็นกลุ่มก้อน เพื่อให้สามารถแยกออกจากน้ำได้โดยวิธีการตกตะกอนและวิธีกรอง ความหมายในด้านอุตุนิยมวิทยาหมายถึง การตกน้ำฟ้า หรือการที่ไอน้ำในบรรยากาศเกิดการควบแน่นแล้วตกลงมายังพื้นโลกในรูปแบบต่างๆ เช่น น้ำฝน น้ำค้าง หิมะ ลูกเห็บ

**reverse osmosis (RO) ออสโมซิสผันกลับ (อาร์โอ)** กระบวนการขั้นสูงในการกำจัดสิ่งปะปนในน้ำ สามารถกำจัดได้ทั้งเกลือแร่และจุลินทรีย์ อาศัยหลักการให้ความดันภายนอกซึ่งมีค่าสูงกว่าความดันออสโมซิส กระทำลงบนด้านบนของสารละลาย ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของน้ำจากด้านของสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ผ่านเยื่อบาง (membrane) เข้าสู่ด้านน้ำบริสุทธิ์หรือด้านที่สารละลายมีความเข้มข้นต่ำ ระบบออสโมซิสผันกลับที่ใช้งานโดยทั่วไปรับน้ำที่มีการปนเปื้อนเข้าสู่ระบบปั๊มความดันสูงที่ให้ความดันกับระบบ

**rotating biological contactor (RBC) ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (อาร์บีซี)** ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพประเภทหนึ่ง มีส่วนประกอบเหมือนกับระบบโปรยกรอง แต่แตกต่างกันที่ตัวกลางซึ่งใช้เป็นที่พักอาศัยของจุลินทรีย์ ระบบแผ่นหมุนชีวภาพประกอบด้วยแผ่นรูปทรงกลมที่ขนานกันหลายๆอัน ยึดติดตั้งฉากอยู่ด้วยแกนหมุน ณ จุดกึ่งกลางของแผ่น แผ่นรูปทรงกลมเหล่านี้จะวางอยู่ในถังที่มีแกนหมุน ซึ่งอยู่เหนือระดับน้ำในถังเล็กน้อย โดยมีส่วนของแผ่นจมน้ำอยู่ ประมาณร้อยละ 40 จุลินทรีย์จะเกาะอาศัยอยู่บนผิวของแผ่นทรงกลมที่หมุนอยู่ โดยจะได้รับออกซิเจนในจังหวะที่แผ่นทรงกลมซึ่งเป็นตัวกลางหมุนขึ้นพ้นน้ำ การหมุนของแผ่นทำให้จุลินทรีย์สัมผัสน้ำเสียและเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

**salinity ความเค็ม**

ปริมาณเกลือแร่ต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น เกลือโซเดียม-คลอไรด์ เกลือแม็กนีเซียมและแคลเซียมซัลเฟต และไบคาร์บอเนต เป็นต้น นิยมวัดค่าความเค็มในหน่วยน้ำหนักเป็นกรัมของเกลือต่อกิโลกรัมของน้ำ หรือส่วนในพันส่วน เกลือแร่ที่ละลายในน้ำส่วนใหญ่เป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์ ค่าความเค็มเป็นปัจจัยหนึ่งในระบบนิเวศที่สำคัญ ซึ่งมีอิทธิพลในการกำหนดชนิดของพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น

**secure landfill การฝังกลบอย่างปลอดภัย**

การฝังกลบกากของเสียอุตสาหกรรมอันตรายที่ผ่านการทำลายฤทธิ์แล้ว ด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ หรือการเผา ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสภาพให้มีความเป็นอันตรายน้อยลงหรือคงตัวมากขึ้น แล้วจึงนำไปทำการฝังกลบอย่างปลอดภัย การฝังกลบอย่างปลอดภัยมีองค์ประกอบทั่วไปไม่แตกต่างจากหลุมฝังกลบกากของเสียอุตสาหกรรมไม่อันตราย เช่น มีการกลบทับหน้าดินในแต่ละชั้นที่มีการฝังกลบ มีระบบการระบายน้ำชะมูลฝอย แต่โครงสร้างของหลุมฝังกลบอย่างปลอดภัยจะต้องมีการป้องกันการรั่วซึมของน้ำและสารอันตรายต่างๆ อย่างรัดกุมมากกว่า โดยที่ก้นหลุมและด้านข้างหลุมมีการบดอัดด้วยดินเหนียว ซึ่งมีอัตราการไหลซึมของน้ำต่ำ ต่อจากชั้นดินเหนียวจะปูทับด้วยแผ่นยางหรือแผ่นพลาสติกจำนวน 2 ชั้น ใต้แผ่นยางแต่ละชั้นเป็นชั้นระบายน้ำชะซึ่งอาจรั่วลงมา น้ำชะเหล่านี้จะไหลเข้าสู่ท่อรวบรวม เพื่อไปบำบัดภายนอกหลุมฝังกลบต่อไป

**sensory odor measurement การวัดกลิ่นโดยวิธีรับความรู้สึกการได้กลิ่น**

การวัดปริมาณของสารก่อกลิ่นโดยวิธีรับความรู้สึกการได้กลิ่นของมนุษย์ โดยหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่มนุษย์รู้สึกหรือรับรู้กลิ่นได้ จากการนำตัวอย่างอากาศที่เจือจางแล้วไปให้ผู้ทดสอบกลิ่นดม ทดสอบตามลำดับความเข้มข้นจากน้อยไปหามาก

**sludge thickening การทำข้นสลัดจ์**

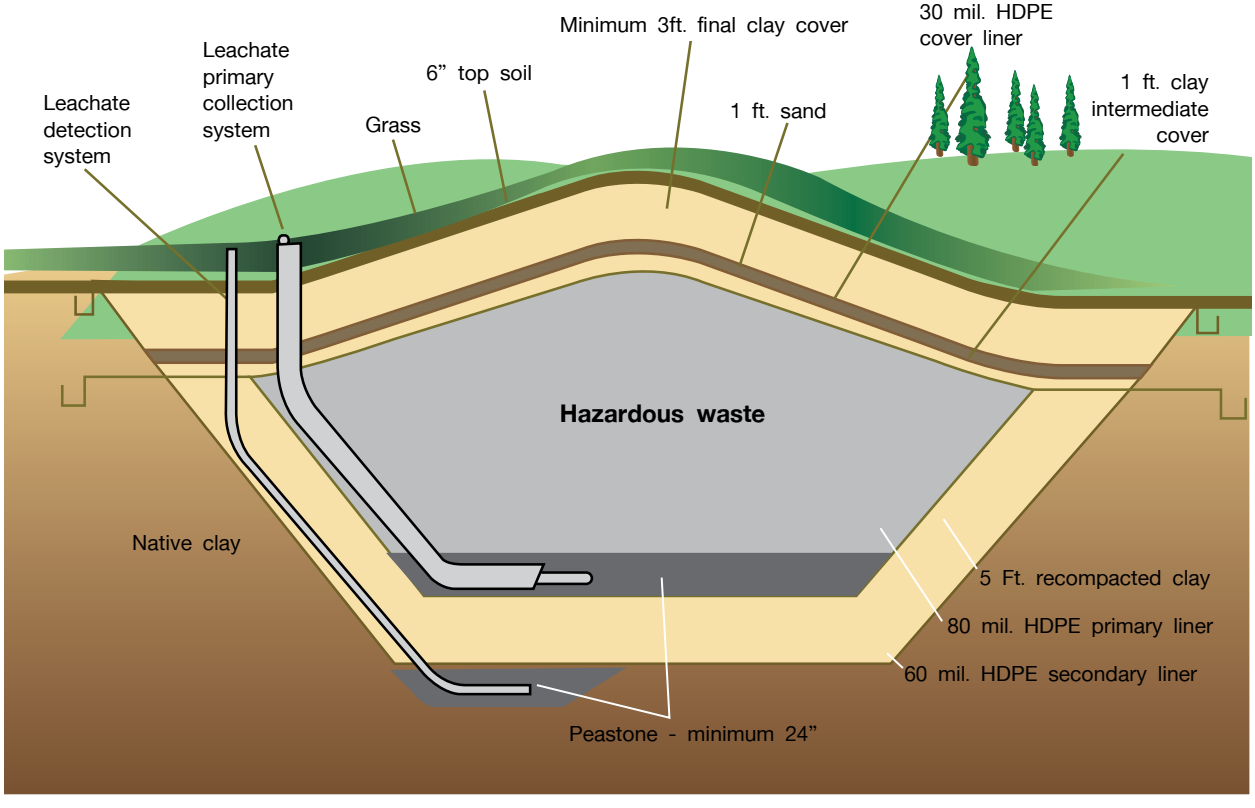
การทำให้สลัดจ์ข้นขึ้นโดยการแยกน้ำออกจากของแข็ง ทำให้ปริมาณของแข็งในสลัดจ์สูงขึ้น โดยใช้วิธีการตกตะกอน (sedimentation) การทำให้ลอย (flotation) และการหมุนเหวี่ยง (centrifugation) การลดปริมาตรของสลัดจ์จะทำให้ขนาดของถังบรรจุ ปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ในการปรับสภาพสลัดจ์ ตลอดจนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำให้แห้งและเผาลดลง

**sound exposure level (SEL) ระดับเสียงที่ได้รับ (เอสอีแอล)**

ค่าระดับเสียงทางทฤษฎีซึ่งใช้ในการอธิบายระดับเสียงคงที่ในช่วงเวลา 1 วินาที โดยรวมพลังงานเสียงทั้งหมดในช่วงเวลาที่ตรวจวัดช่วงสั้นๆ ของเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง

**sound level, noise level ระดับเสียง**

คำที่มักใช้แทนคำว่า ระดับความดันเสียง (sound pressure level) มีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel (dB))




การฝังกลบอย่างปลอดภัย

**stabilization ponds บ่อปรับเสถียร**
บ่อบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาโดยอาศัยการเติมออกซิเจนตามธรรมชาติ เช่น จากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย

**The International Agency for Research on Cancer (IARC) หน่วยงานวิจัยด้านมะเร็งระหว่างประเทศ (ไอเออาร์ซี)**
หน่วยงานในสังกัดองค์การอนามัยโลก (World Health Organization (WHO)) มีหน้าที่หลักในการศึกษาวิจัย รวบรวมข้อมูล ทั้งทางระบาดวิทยาและการทำวิจัยในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนสนับสนุนงานวิจัยทางด้านมะเร็งในประเทศต่างๆ เพื่อหาสาเหตุกลไกการเกิดโรค การป้องกันและควบคุมโรคมะเร็ง โดยอาศัยข้อมูลระบาดวิทยาในคน ข้อมูลจากการทดลองในสัตว์ และข้อมูลกลไกการออกฤทธิ์ จัดกลุ่มสารก่อมะเร็งออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

Group 1 (กลุ่ม 1) เป็นสารก่อมะเร็งในคน เช่น สารเบนซีน โครเมียม ไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น

Group 2A (กลุ่ม 2A) อาจจะเป็นสารก่อมะเร็งในคน เช่น ผลึกซิลิกา ควันท่อไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล เอทิลีนออกไซด์ เป็นต้น

Group 2B (กลุ่ม 2B) มีความเป็นไปได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในคน เช่น คลอโรฟอร์ม คาร์บอน เททระคลอไรด์ สไตรีน เป็นต้น

Group 3 (กลุ่ม 3) ไม่สามารถบ่งได้ว่าก่อมะเร็งในคน

Group 4 (กลุ่ม 4) ไม่ใช่สารก่อมะเร็งในคน

ทั้งนี้ สามารถสืบค้นข้อมูลงานวิจัย ตลอดจนรายละเอียดชนิดและสมบัติของสารก่อมะเร็งแต่ละกลุ่มได้จาก www.iarc.fr

**trickling filter ระบบโปรยกรอง**
ระบบประกอบด้วยชั้นตัวกลางซึ่งอาจเป็นหินหรือพลาสติก สำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะอาศัย น้ำเสียจะถูกโปรยกระจายเป็นหยดผ่านชั้นตัวกลาง จุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่บนชั้นตัวกลางจะใช้ออกซิเจนทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

**turbidity ความขุ่น**
สภาพที่เกิดในน้ำหรือน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยประเภทสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทำให้เกิดการกระเจิงหรือการดูดกลืนแสง ความขุ่นของน้ำที่เกิดจากสารแขวนลอยจะปิดกั้นแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่งถึงพืชในแหล่งน้ำ ขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสง นำไปสู่ผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา

**vapor recovery unit อุปกรณ์เก็บไอระเหย**
อุปกรณ์เก็บไอสารอินทรีย์ระเหยกลับคืน โดยผ่านอากาศเสียที่มีสารอินทรีย์ระเหยเจือปน เช่น อากาศเสียจากกระบวนการผลิตที่ใช้ตัวทำละลาย อากาศเสียจากกระบวนการผลิตผงพลาสติก ไอสารอินทรีย์ระเหยจากกิจกรรมการขนถ่าย เป็นต้น ไปยังถังดูดซับซึ่งภายในบรรจุสารดูดซับ เช่น ถ่านกัมมันต์ (ดู activated carbon) ซึ่งจะดูดซับไอสารอินทรีย์ระเหยไว้และปล่อยอากาศสะอาดสู่บรรยากาศ เมื่อสารดูดซับอิ่มตัวไปด้วยโมเลกุลของสารอินทรีย์ระเหยที่จับติดไว้บนพื้นผิว จะต้องทำการคืนสภาพ (regeneration) เพื่อไล่สารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวออกไป โดยเพิ่มอุณหภูมิของสารดูดซับทำให้โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับหลุดออกไป แล้วลดอุณหภูมิเพื่อให้ไอสารอินทรีย์ระเหยกลั่นตัวเป็นของเหลว สามารถนำกลับไปใช้ใหม่หรือกำจัดโดยวิธีที่เหมาะสมต่อไป ในกรณีไอน้ำมันอาจใช้วิธีการฉีดน้ำมันเป็นละอองฝอย เพื่อดูดซับให้ไอน้ำมันกลายเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง

**waste water น้ำเสีย**
น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ ในปริมาณสูงจนกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไป น้ำเสียก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ แก่ลำน้ำซึ่งเป็นที่รองรับ เช่น ทำให้เกิดการเน่าเสีย และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เป็นต้น สิ่งเจือปนต่างๆ ที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสีย ได้แก่ สารอินทรีย์ กรดด่าง ของแข็งหรือสารแขวนลอย และสิ่งที่ลอยปนอยู่ในน้ำ เช่น น้ำมัน ไขมัน เกลือและแร่ธาตุที่เป็นพิษ เช่น โลหะหนัก สารที่ทำให้เกิดฟอง ความร้อน สารพิษ เช่น ยาฆ่าแมลง สี กลิ่น และสารกัมมันตภาพรังสี เป็นต้น สิ่งสกปรกหรือสิ่งเจือปนในน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่นำน้ำไปใช้ประโยชน์ และสิ่งสกปรกหรือสิ่งเจือปนในน้ำเสียเป็นสิ่งที่กำหนดคุณลักษณะของน้ำเสีย

**waste water treatment กระบวนการบำบัดน้ำเสีย**
กระบวนการบำบัดน้ำเสีย แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

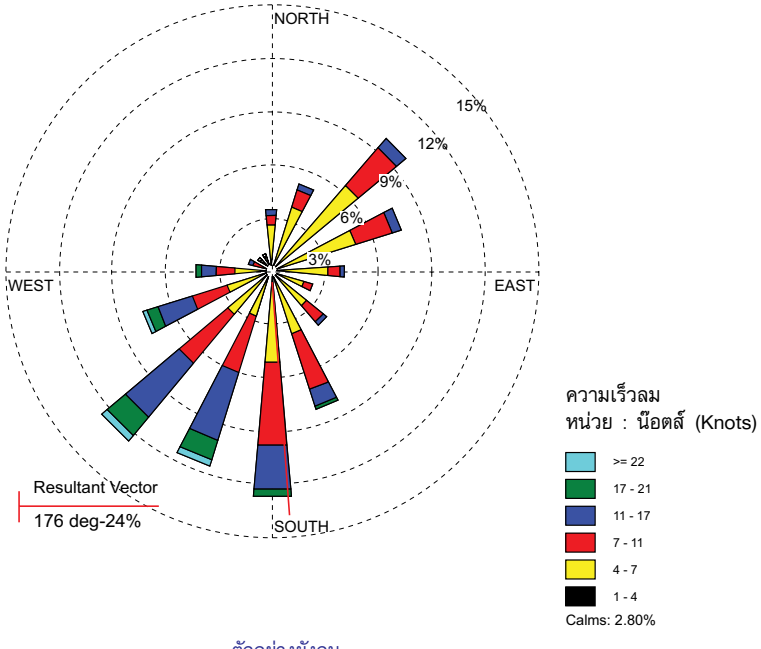
- กระบวนการทางกายภาพ (physical treatment) การกำจัดของแข็งหรือสารแขวนลอยที่ตกตะกอนได้ง่ายออกจากน้ำเสีย
- กระบวนการทางเคมี (chemical treatment) การปรับสภาพน้ำเสีย และการกำจัดสารโลหะหนักและตะกอนขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ช้าออกจากน้ำเสีย
- กระบวนการทางชีวภาพ (biological treatment) การกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสีย

**weighted sound pressure level ระดับความดันเสียงแบบถ่วงน้ำหนัก**
ระดับความดันเสียงซึ่งได้จากการวัดที่มีการถ่วงน้ำหนักความถี่ด้วยวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน ในแต่ละช่วงความถี่

**wet deposition การตกสะสมเปียก**
การตกของกรดในสภาวะที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ กรดในบรรยากาศ เช่น กรดซัลฟูริก และกรดไนตริก รวมตัวกับเมฆและต่อมากลายเป็นฝนที่มีสภาพเป็นกรดตกลงสู่พื้นดิน หรือหิมะและหมอกที่มีสภาพเป็นกรด (ดู dry deposition ประกอบ)

**wet scrubber เครื่องฟอกก๊าซแบบเปียก**
อุปกรณ์ควบคุมสารมลพิษทางอากาศ (ดู air pollutant) โดยผ่านกระแสก๊าซที่ปนเปื้อนด้วยฝุ่นละอองหรือก๊าซมลพิษ ให้สัมผัสกับของเหลวซึ่งทำหน้าที่จับสารมลพิษ โดยอาจใช้วิธีฉีดพ่นของเหลวเป็นละอองขนาดเล็กไหลลงสวนทางกับกระแสก๊าซ หรือให้กระแสก๊าซไหลผ่านม่านของเหลวด้วยความเร็วสูง หรือให้กระแสก๊าซไหลผ่านชั้นวัสดุที่มีของเหลวเคลือบที่ผิว แยกฝุ่นขนาด 0.5–10 ไมครอน และกำจัดฝุ่นที่มีอุณหภูมิสูงได้ ที่นิยมใช้กันมากคือ เครื่องฟอกเวนจูรี (venturi scrubber) เครื่องฟอกแบบแผ่นกระทบ (impingement plate scrubber) และเครื่องฟอกแบบสเปรย์ (spray tower scrubber) มักติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งของระบบเครื่องฟอกแบบเปียก (particulate wet scrubber system) ซึ่งมีขนาดใหญ่และซับซ้อน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ อนุภาคในก๊าซสัมผัสและถูกดักจับด้วยหยดของเหลวหรือฟิล์มของเหลว การแยกหยดของเหลวที่จับอนุภาคไว้ออกจากกระแสก๊าซ และการบำบัดของเหลวที่จับฝุ่นหรืออนุภาคไว้ก่อนระบายทิ้ง (ดู evaporative cooler ประกอบ) การออกแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานในกระบวนการผลิตของแต่ละอุตสาหกรรม และธรรมชาติของสารมลพิษที่เกี่ยวข้อง

**wind rose ผังลม**
แผนภูมิแสดงความถี่ของลม ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ที่ความเร็วลมและทิศทางลมต่างๆ กัน




ตัวอย่างผังลม

**working loss การสูญเสียไอสารเคมีจากถังเก็บขณะปฏิบัติงาน**

การระเหยของไอสารเคมีจากถังเก็บแบบหลังคาติดตาย (ดู fixed roof tank) ขณะปฏิบัติงาน แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ การเติมของเหลวเข้าไปในถัง (filling) และการถ่ายของเหลวออกจากถังจนหมด (emptying) ในกรณีที่มีการเติมสารเข้าไปในถัง ปริมาตรของของเหลวที่เติมเข้าไปหรือระดับของเหลวที่เพิ่มสูงขึ้น จะไปแทนที่ไอสารเคมีภายในช่องว่างระหว่างหลังคาของถังกับระดับของเหลว (vapor space) ทำให้ต้องระบายไอสารเคมีผ่านวาล์วควบคุมความดันออกไปสู่บรรยากาศภายนอก ในกรณีที่มีการถ่ายสารออกจากถัง อากาศภายนอกจะถูกดูดเข้าไปในถังในระหว่างการถ่ายเทของเหลวออกจากถัง ทำให้เกิดการอิ่มตัวกับไอสารเคมี เกิดการขยายตัวของไอสารเคมีจนเกินความจุของช่องว่างเหนือของเหลวจะรองรับได้ จึงต้องมีการระบายไอสารเคมีสู่บรรยากาศภายนอก

# Index


α-methylstyrene (AMS) 68
β-lactam 70
1-butene 70
2,2,4-trimethylpentene 139
2-butene 70
2-chlorobuta-1,3-butadiene 122

**A**

absorption 71
accident 382
acetaldehyde 72
acetic acid 72
acetic anhydride 72
acetone 73
acetonitrile 73
acetoxylation 74
acetylene 74
acetylenic 74
acid deposition 403
acid gas 74
acid rain 404
acoustic trauma 368
acrolein 74
acrylamide 74
acrylic fiber 225
acrylic plastic 225
acrylic polymer 225
acrylic resin 225
acrylic-styrene-acrylonitrile (ASA) 75
acrylonitrile 76
acrylonitrile-butadiene rubber (ABR) 76
acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) 76
activated carbon 404
activated sludge (AS) 404
acute effect 405
addition polymerization 118
additive 290
adipic acid 78
adiponitrile 79
adsorbent 79
adsorption 80
aerated lagoon 405
aerobic digestion 405
aerosol 368
ageing 80
aging 80
air conveyor 326
air dispersion model 405
air pollutant 405
air quality index (AQI) 405
air quality monitoring system (AQMS) 405
air sampling 370
alcoholysis 81
aldol condensation 81
aldolization 82
alicyclic hydrocarbon 82
alicyclics 82
aliphatic hydrocarbon 82
aliphatics 82
alkane 82
alkene 83
alkyl benzenesulfonate 83
alkylation 83
alkylbenzene 84
alkylphenol 84
alkyne 84
allergy 370
allylic polymerization 85
alpha olefin 85
ambient air quality standard 406
American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) 370
American National Standard Institute (ANSI) 384
American Petroleum Institute (API) standard 326
American Production and Inventor Control Society (APICS) 328

American Standard of Mechanical Engineering Code (ASME Code) 328
amination 85
amine 86
aminobenzene 88
ammonia 86
ammonium sulfate 87
ammonolysis 88
ammoxidation 88
anaerobic digestion 406
anaerobic filter 406
anaerobic pond 406
anaerobic treatment 406
aniline 88
aniline-formaldehyde resin 89
anionic polymerization 89
anthraquinone 90
anthropometry 370
antiblocking agent 292
antidegradant 293
antifogging agent 293
antimicrobials 295
antioxidant 296
antiozonant 296
antistat 296
antistatic agent 296
aramid 91
aromatic nylon 91
aromatic polyamide 91
aromatics 91
aromatization 92
asphyxiant 370
asset utilization 328
assimilative capacity 407
atom transfer radical polymerization (ATRP) 92
autoacceleration 93
automated storage and retrieval system (AS/RS) 328
azeotrope 93
azeotropic distillation 94
azobisisobutyronitrile (AIBN) 95

**B**

backhaul 328
baffle plate 328
bag 329
bag filter 407
bakelite 218
barge 329
Basel Convention 407
bead polymerization 269
Beckmann rearrangement 95
benzaldehyde 96
benzene 97
benzene-toluene-xylene (BTX) 98
benzoic acid 98
berth 329
biaxial orientation 98
biaxial stretch 98
big bag 361
bill of lading 329
biochemical oxygen demand (BOD) 407
biological exposure index (BEI) 370
biological monitoring test 371
bismaleimides (BMI) 100
bisphenol-A (BPA) 100
block copolymer 101
blow moulding 102
blow moulding process 102
blowing agent 297
boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) 384
bottom ash 408
bottom loading 330
breathing loss 408
breathing zone sample 371
bromination 103
bromine number 103
buffer zone 408
bulk marine 330
bulk polymerization 103
bulk terminal 331
buna rubber 105
butadiene 104
butadiene rubber (BR) 105
butane 105
butanediol 107
butene 106
butyl rubber 106
butylene 106
butylene glycol (BG) 107
butylene oxide 107

**C**

calendaring 107
calendering process 107
caprolactam 108
caprolactone 108
carbon black 297
carbon monoxide 408
carbonylation 109
carcinogen 371
cardio pulmonary resuscitation (CPR) 371
Carothers equation 109
carpal tunnel syndrome 372
casting 110
catalyst 111
catalytic conversion 114
catalytic incinerator 408
catalytic reforming 114
catforming 114
cationic polymerization 114
cellulose 115
cellulose acetate (CA) 115
cellulose acetate butyrate (CAB) 116
cellulose acetate propionate (CAP) 117
cellulose triacetate (CT) 117
chain initiation 118
chain polymerization 118
chain termination 119
chain transfer 120
chain-transfer agent (CTA) 120
charge-transfer polymerization 120
chartering 331
chemical blowing agent 298
chemical oxygen demand (COD) 408
chemical tanker 331
chlorinated polyether 121
chlorinated polyethylene (CPE) 121
chlorinated polyvinyl chloride (cPVC) 121
chlorination 122
chlorobenzene 122
chlorohydrin process 122
chloroprene 122
chloroprene rubber (CR) 123
chlorosulfonated polyethylene (CSPE) 123
chronic effect 408
clarifier 298
clarifying agent 298
clean agent system 385
clean technology (CT) 409
coagulation 409
cold burn 390
cold work 385
colorant 298
combined shipment 332
competent authority 332
composite 298
composite material 298
compound 299
compounding 299

compression moulding 124
condensation polymer 125
consolidation 332
container port 332
containerization 332
containment capability 333
contract of affreightment 333
coordination polymerization 125
copolyester 126
copolymer 127
copolymerization 128
cracking 128
cresol 128
crisis management 385
criteria air pollutants (CAPs) 409
cross docking 333
crosslinked polyethylene (PEX, XLPE) 129
cryogenic process 130
crystallization process 131
cumene 132
Cyclar process 132
cycle count 333
cycle stock 333
cycle time 333
cyclization 133
cycloalkane 135, 206
cyclohexane 134
cyclohexanol 134
cyclohexanone 134
cyclohexene 134
cyclone 409
cycloparaffin 135
cyclopentane 135

**D**

dangerous goods 333
dangerous goods packaging 334
dangerous goods safety advisor (DGSA) 335
dangerous goods tank code 334
dangerous goods warehouse 335
day-night sound (pressure) level (Ldn) 410
dead weight ton (DWT) 335
dealkylation 136
decibel 410
decomposition activator 300
decomposition inhibitor 300
degree of polymerization (DP) 136
dehydration 136
dehydrochlorination 136
dehydrocyclization 136
dehydrogenation 136
delivery order (DO) 335
de-moulding 300
demurrage 335
denier 136
depolymerization 137
depot 335
depropagation 137
desorbent 138
detention 335
di-2-ethyl hexyl phthalate (DEHP) 300
Diels-Alder reaction 138
diethylene glycol (DEG) 139
differential microemulsion polymerization 139
differential thermal analysis (DTA) 300
diisobutene 139
diisocyanate 140
diisopropylbenzene 140
dimethyl phenol 287
dimethyl terephthalate (DMT) 141
dimethylacetamide 142
dinitrotoluene (DNT) 142
dioctyl phthalate (DOP) 301
diol 171
dipropylene glycol 143
disease 372
dispersion polymerization 144
dispersion polyvinyl chloride 144
disproportionation 144
dissolved oxygen (DO) 410
distillation 144
downwash 410
drain valve 335
drop test 336
drum 336
drum filling 336
dry deposition 410
dry run 386
drybreak coupling 336

**E**

earthing 341
effluent standard 410
elasticity 146
elastomer 147
electrochemical polymerization 148
electro-initiated polymerization 148
electrolytic polymerization 148
electropolymerization 148
electrostatic 336
electrostatic precipitator 410
emergency 386
emergency drill 386
emergency exercise 386
emergency management 386
emergency response 336
emergency response team (ERT) 386
emission inventory 410
emission source 411
emission standard 411
emulsion polymerization 148
endothermic chemical blowing agent 301
engineering plastic 149
engineering polymer 149
engineering thermoplastic elastomer (ETES) 150
engineering TPEs 150
enterprise resource planning (ERP) 337
Environmental Management System (EMS) 411
EPDM rubber 162
epichlorohydrin 151
epidemiology 372
epoxidation 151
epoxide 152
epoxy (EP) 153
epoxy plastic 153
epoxy resin 153
equivalent sound (pressure) level (Leq, 24 hr) 411
ergonomics 372
ethane 154
ethanol dehydration 154
ethyl acetate (EA) 154
ethyl acrylate 155
ethyl aldehyde 155
ethyl benzene 155
ethyl cellulose (EC) 157
ethylene 157
ethylene chlorohydrin 158
ethylene dichloride (EDC) 159
ethylene glycol (EG) 160
ethylene oxide (EO) 161
ethylene propylene diene terpolymer 162
ethylene-acid copolymer 157
ethylene-acrylic acid copolymer (EAA) 158
ethylene-chlorotrifluoroethylene copolymer (CETPE) 159

ethylene-ethyl acrylate copolymer (EEA) 160
ethylene-n-butyl acrylate copolymer (EBA) 161
ethylene-tetrafluoroethylene copolymer (ETPE) 162
ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) 163
European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR) 337
European Chemical Industry Council (CEFIC) 337
evaporative cooler 411
excavation work 386
excess air 412
exothermic chemical blowing agent 302
expandable polystyrene (EPS, XPS) 163
explosion 387
explosion proof 338
external floating roof tank 412
external lubricant 302
external mould releasing agent 302
external plasticization 303
extract 163
extraction 163

**F**

facultative pond 412
fatigue 164
filler 303
fire compartment 388
fire department connection 388
fire pump 389
fire tetrahedron 389
fire triangle 390
fireball 387
fitness for duty 372
fixed roof tank 412
fixed tank 338
flame retardant 303
flammable 339
flange 339
flare 413
flash fire 390
flash over 390
flash point 339
flash separation 165
flexibag 340
flexible hose 340
floating roof tank 340
flue gas desulfurization (FGD) 413
fluid catalytic cracking (FCC) 166
fluorescent brightener (FB) 304
fluorescent whitening agent (FWA) 304
fluorinated ethylene propylene (FEP) 167
fly ash 413
foaming 304
foaming agent 297
forecast accuracy 340
formaldehyde 167
fragrance 304
free radical initiator 168
free radical terminator 305
Friedel-Crafts reaction 169
frostbite 390
full container load (FCL) 340
full trailer 341
furan plastic 169
furan resin 169
furfural 170

**G**

gas cylinder 341
Gaussian plume model 413
Gaussian puff model 413
gel effect 93
general purpose polystyrene 245
glare 373
glass transition temperature ($T_g$) 305
globally harmonized system for classification and labeling of chemicals (GHS) 341
glycol 171
grab sample 413
gravity settling chamber 414
green logistics 341
greenhouse effect 414
greenhouse gas 414
ground level ozone 415
grounding 341
group transfer polymerization (GTP) 171

**H**

halogenation 173
hazard classification 342
hazardous air pollutant (HAPs) 415
hazardous material control 391
hazardous substance 342
hazardous waste 415
hazardous waste manifest system 415
health hazard 373
health impact assessment (HIA) 374
health risk assessment (HRA) 374
health risk control 375
hearing conservation 376
heat stabilizer 305
hedge stock 342
heterocyclic compound 173
heterocyclics 173
heterogeneous catalyst 174
high impact polystyrene (HIPS) 175
high level protection 342
high density polyethylene (HDPE) 174
homogeneous catalyst 176
hot work 392
hydrant 393
hydrochlorination 176
hydrocracking 176
hydrodealkylation 176
hydroformylation 176
hydrogenation 177
hydrogenolysis 177
hydrohalogenation 177
hydroisomerization 178
hydrolysis 178
hydroquinone 178

**I**

IMO tank container 342
impact modifier 305
impact polystyrene 175
in transit inventory 342
incident 393
incompatible chemical 342
index of refraction 259
industrial hygiene 376
industrial hygienist 377
Industrial wastes 416
inflammable 339
inhibitor 343
initiation 118
injection moulding 179
inland container depot (ICD) 343
inland waterway 343
insulation 343
integrated risk information system (IRIS) 416
interfacial polymerization 181
intermediate bulk container (IBC) 344
internal floating roof tank 416
internal lubricant 305
internal mould releasing agent 306

internal plasticization 306
international commercial terms (INCOTERMS) 344
international maritime dangerous goods (IMDG) 345
International Maritime Organization (IMO) 345
interpenetrating polymer network (IPN) 181
inventory accuracy 345
inventory management 345
inverse emulsion polymerization 182
inverse suspension polymerization 182
ion exchange 416
ionomer 182
iso-butane 182
iso-butene 184
iso-butylene 184
iso-butylene glycol 184
iso-butylene oxide 185
iso-butyric acid 186
isocyanate 186
isomerization 186
iso-paraffin 187
isophthalic acid 188
isopropyl benzene 132
isotank 345

**J**

jet fire 395
jetty 345
jockey pump 395

**K**

kicker 300
kinetic chain length 188
Kyoto protocol 416

**L**

label 346
lactam 188
lead time 346
leak detection and repair program (LDAR) 416
less than container load (LCL) 346
level indicator 346
life cycle analysis 417
life cycle assessment (LCA) 417
light fastness 307
light stabilizer 307
lightering 347
limiting oxygen index (LOI) 308
linear alkyl benzene (LAB) 189
linear alkyl benzene sulfonate (LAS) 190
linear low density polyethylene (LLDPE) 190
living polymerization 190
load securement 347
loading 347
loading arm 347
loading hose 348
loose bag 348
low $NO_x$ burner 418
low density polyethylene (LDPE) 191
lower explosive limit (LEL) 396
lubricant 308
lung function test 377
Lycra® 191

**M**

maleic acid 192
maleic anhydride (MA) 193
manhole 348
manifold 348
marking 348
mass polymerization 103
material safety data sheet (MSDS) 378
matrix 309
medium-density polyethylene (MLDPE) 193
melamine formaldehyde resin (MF) 193
melting temperature ($T_m$) 309
membranes 194
metathesis 194
meta-xylene 194
methacrylic acid (MAA) 195
methane 195
methanol 196
methyl alcohol 196
methyl ethyl ketone (MEK) 196
methyl isobutyl ketone (MIBK) 197
methyl methacrylate (MMA) 197
methyl methacrylate acrylonitrile butadiene styrene (MABS) 198
methyl phenol 128
methyl tertiary butyl ether (MTBE) 198
methylene diphenylene diisocyanate (MDI) 199
microemulsion polymerization 199
miniemulsion polymerization 200
miscibility 310
mixed C4 200
modacrylic fiber 201
mode of transport 348
molecular sieve 202
monoethylene glycol (MEG) 160
monomer 203
mould releasing agent 311
multimodal transport 348
m-xylene 194

**N**

naphtha 206
naphthalene 206
naphthene 206
natural rubber (NR) 206
n-butene 204
neoprene rubber 123
neutralization 418
nitrile rubber (NBR) 76
nitrobenzene 207
nitrogen padding 349
n-methylpyrrolidone (NMP) 204
noise induced hearing loss 378
noise level 420
non destructive testing (NDT) 349
notice of readiness 349
Novolac 207
Novolac resin 207
nucleating agent 312
number-average molecular weight 208
nylon (PA) 229
nylon 6 228
nylon 6,6 228
nylon 6,10 228
nylon 11 227
nylon 12 227

**O**

occupational cancer 378
occupational disease 378
occupational exposure limit (OEL) 379
occupational health 379
occupational health management system 379
Occupational Safety and Health Administration (OSHA) 379
odor threshold value 418
oil and grease trap 418
olefin 208
olefinic TPEs (TPOs) 276
olefin-modified styrene-acrylonitrile (OSA) 208
on-time delivery 349
open top drum 349

opening protection 396
optical brightener (OB) 313
optical brightening agent (OBA) 313
optimization 350
ortho-phthalic acid 208
ortho-xylene 209
overflow 350
overturn protection 350
oxidation induction temperature (OIT, dynamic OIT) 315
oxidation induction time (OIT, isothermal OIT) 315
oxidation-reduction 418
oxirane 161
oxo reaction 209
oxo synthesis 176
oxychlorination 209
oxygen index 308
o-xylene 209
ozonation 418
ozone 418
ozone layer 418

**P**

packaging 350
pallet 350
palletizer 351
PAN fiber 227
paraffin 210
para-xylene 210
parts per hundred parts of resin 315
pearl polymerization 269
perceived noise level (PNL, LPN) 418
perfect order 351
perfluoroethylene propylene plastic 167
permanent antistat 315
permissible exposure limit (PEL) 380
personal protective equipment (PPE) 396
petrochemical complex 210
petrochemicals 211
phenol 216
phenol-formaldehyde (PF) 218
phenol-furfuran resin 217
phenolic resin 218
phenylamine 88
phosgenation 218
phosgene 218
photochemical reaction 418
photoinitiation 218
photopolymerization 219
phr 315
phthalic acid 220
phthalic anhydride 220
physical blowing agent 316
pipeline 351
placard 351
plasma polymerization 220
plastic 222
plasticization 316
plasticized polyvinyl chloride (pPVC) 224
plasticizer extender 316
plasticizers 316
pneumoconiosis 380
pollutant release and transfer register (PRTR) 419
pollution prevention 419
polyacetal 224
poly(acrylamide) 225
polyacrylate acrylic rubber (ACM) 225
poly(acrylic acid) (PAA) 225
polyacrylic plastic 226
poly(acrylonitrile) (PAN) 226
polyacrylonitrile fiber 227
polyamide 11 227
polyamide 12 227
polyamide 6 228
polyamide 6,10 228
polyamide 6,6 228
polyamide (PA) 229
poly(amide-imide) (PAI) 229
polyaryl ether (PAE) 230
polyaryl sulfone (PAS) 230
polybenzimidazole (PBI) 230
poly(butene) 231
poly(butylene) (PB) 231
polybutylene terephthalate (PBT) 231
polycarbonate (PC) 232
poly(chlorotrifluoroethylene) (PCTFE) 232
poly(cyclohexylenedimetylene terephthalate) (PCT) 233
polyelectrolyte 241
polyester 233
polyester thermoplastic 233
polyethene (PE) 235
polyether 233
polyether ether ketone (PEEK) 233
polyether ketone (PEK) 234
polyetherether ketoneketone (PEEKK) 234
polyetherimide (PEI) 234
polyethylene 235
polyethylene glycol (PEG) 236
polyethylene oxide (PEO) 236
polyethylene terephthalate (PET) 236
polyglycol 237
polyimide (PI) 237
polyisobutylene (PIB) 237
polyisocyanate 238
polyisocyanurate (PIR) 238
polyisoprene rubber (IR) 238
polyketone 238
polymer 239
polymer electrolyte 241
poly(methyl methacrylate) (PMMA) 241
poly(methyl pentene) (PMP) 242
poly(paraphenylene terephthalamide) (PPTA, Kevlar) 243
poly(phenyl sulphide) (PPS) 244
poly(phenylene oxide) (PPO) 244
polyphthalamide (PPA) 245
polypropylene glycol (PPG) 245
polystyrene (PS) 245
polysulfone (PSO) 246
polytetrafluoroethylene (PTFE) 246
polyurethane (PU) 247
polyurethane-polyurea copolymer 248
polyvinyl acetal 248
poly(vinyl acetate) (PVAC) 248
poly(vinyl alcohol) (PVA) 248
poly(vinyl butyral) (PVB) 249
polyvinyl chloride (PVC) 250
poly(vinyl fluoride) (PVF) 250
polyvinyl formal (PVFO, PVFM) 251
polyvinylidene chloride (PVDC) 251
poly(vinylidene fluoride) (PVDF) 252
polylauryllactam 227
polymer alloy 317
polymer blend 317
polymer composite 318
polyoxyethylene (POE) 236
polyoxymethylene (POM) 224
pool fire 398
port of destination 352
port of shipment 352
precipitation 419
precipitation polymerization 253
pressure swing adsorption (PSA) 253
primary plasticizer 318
product stewardship 352, 380
propane 254
propene 255
propylene 255
propylene glycol (PG) 256

propylene oxide (PO) 257
PULL strategy 352
PUSH strategy 352
p-xylene 210

**Q**

quick coupling 352

**R**

radiation polymerization 258
radical initiator 168
radio frequency identification (RFID) 353
raffinate 258
rail transport 353
Raynuad's disease 380
reconditioned drum 353
redox polymerization 258
reformate 258
reforming 259
refractive index 259
registration, evaluation, authorization and restriction of chemicals (REACH) 353
reinforcing materials 318
releasing agent 300
reorder point 354
repeating unit 260
resin 260
resole resin 261
respiratory protection 381
responsible care 354
reverse osmosis (RO) 419
rotating biological contactor (RBC) 419

**S**

safety 398
safety and quality assessment system (SQAS) 354
safety audit 354
safety data sheet (SDS) 355
safety stock 355
sales and operations planning (S&OP) 355
salinity 420
sea bulk container 355
secondary plasticizer 318
secure landfill 420
segregation 356
semi trailer 356
semi-interpenetrating polymer network (SIPN) 261
sensory odor measurement 420
separation 261
shift conversion 262
shipping mark 357
silo 357
slip agent 319
slip sheet 358
sludge thickening 420
solution polymerization 262
solvent 263
sound exposure level (SEL) 420
sound level 420
spandex 248
speculative stock 358
spherical tank 358
spill control 359
sprinkler system 399
stabilization ponds 421
stacking height 359
steam cracking 263
steam reforming 263
storage tank 361
styrene 264
styrene foam 163
styrene monomer (SM) 264
styrene-acrylonitrile (SAN) 264
styrene-butadiene copolymer 265
styrene-maleic anhydride (SMA) 265
sulfolane 266
supersack 361
supply chain optimization 361
surfactant 267
suspension polymerization 269
suspension polyvinyl chloride 269
syn gas 270
synthesis gas 270

**T**

table top exercise 399
tank farm 361
tank inspection 362
tank truck 362
teflon 245
telemetry 362
temperature swing adsorption (TSA) 272
template polymerization 272
temporary threshold shift (TTS) 381
terephthalic acid (TA, TPA, PTA) 272
terminal 362
termination 119
tetrahydrofuran (THF) 274
tex 275
The International Agency for Research on Cancer (IARC) 421
thermal cracking 275
thermal stabilizer 320
thermogravimetric analysis (TGA) 320
thermoplastic elastomers (TPEs) 276
thermoplastic olefin elastomers 276
thermoplastic rubber 276
thermoset 277
thermoset plastic 277
thermosetting polyester 277
thermosetting polymer 277
threshold limit value (TLV) 381
titanium dioxide 321
toluene 278
toluene dealkylation 279
toluene diisocyanate (TDI) 279
top loading 362
transalkylation 280
transport emergency card (TREMCARD) 363
trickling filter 421
tricresol 128
triethylene glycol (TEG) 280
trinitrotoluene (TNT) 282
tripropylene glycol 282
Tromsdorff effect 93
Tromsdorff-Norrish effect 93
tug boat 363
turbidity 421
twenty feet equivalent unit (TEU) 363
twin screw extruder (TSE) 322
two-roll mill 323

**U**

ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) 283
United Nations number 364
United Nations Recommendation on Transport of Dangerous Goods, (UNRTDG) 364
unloading 364
unplasticized polyvinyl chloride (uPVC) 283
unsaturated polyester (UP) 284
upper explosive limit (UEL) 399
urea 284
urea-formaldehyde resin (UF) 284
UV absorber 324

UV stabilizer 325

**V**

value chain 365
vapor recovery unit 421
vapor return line 365
vendor managed inventory (VMI) 366
vessel 366
vinyl acetate 284
vinyl alcohol (VA) 285
vinyl chloride 286
vinyl chloride monomer (VCM) 286
viscosity depressant 325
volatile organic compounds (VOCs) 381

**W**

warehouse 366
warehouse management system (WMS) 366
waste water 421
waste water treatment 421
weight discrepancy 366
weight-average molecular weight 286
weighted sound pressure level 422
wet deposition 422
wet scrubber 422
wind rose 422
work permit 400
working environment 401
working loss 423

**X**

xylene 286
xylenol 287

**Z**

z-average molecular weight 288
zeolite 288
Ziegler-Natta polymerization 289
zip polymerization 289

# ดัชนี


1-บิวทีน 70
2,2,4 ไทรเมทิลเพนทีน 139
2-คลอโรบวทา-1,3-บิวทาไดอีน 122
2-บิวทีน 70

**ก**

กรดพทาลิก 220
กรดเทเรฟแทลิก (ทีเอ, ทีพีเอ, พีทีเอ) 272
กรดน้ำส้ม 72
กรดเบนโซอิก 98
กรดมาเลอิก 192
กรดเมทาคริลิก (เอ็มเอเอ) 195
กรดออร์โทพทาลิก 208
กรดอะดิพิก 78
กรดแอซีติก 72
กรดไอโซพทาลิก 188
กรดไอโซบิวทิริก 186
กระบวนการคลอโรไฮดริน 122
กระบวนการไซคลาร์ 132
กระบวนการตกผลึก 131
กระบวนการทำความเย็นยวดยิ่ง 130
กระบวนการบดรีด 107
กระบวนการบำบัดน้ำเสีย 421
กระบวนการเป่าขึ้นรูป 102
กลยุทธ์โซ่อุปทานที่ยึดการใช้ทรัพยากร เป็นหลัก 352
กลยุทธ์โซ่อุปทานที่ยึดความต้องการ ของลูกค้าเป็นหลัก 352
กลิ่นหอม 304
กลุ่มถังเก็บสารเคมี 361
กลุ่มอาการที่ข้อมือ 372
กากอุตสาหกรรม 416
ก๊าซกรด 74
ก๊าซเรือนกระจก 414
ก๊าซสังเคราะห์ 270
การกลั่น 144
การกลั่นสารผสมคงจุดเดือด 94
การกลั่นเอซีโอโทรป 94
การกั้นแยกอาคารเพื่อควบคุม ขนาดอัคคีภัย 388
การกู้ภัยฉุกเฉิน 336
การเก็บตัวอย่างอากาศ 370
การเกิดพอลิเมอร์ด้วยพลาสมา 220
การเกิดพอลิเมอร์โดยใช้ไฟฟ้า 148
การเกิดพอลิเมอร์โดยแสง 219
การเกิดพอลิเมอร์ที่ยังโตได้ 190
การเกิดพอลิเมอร์แบบกระจายตัว 144
การเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอย 269
การเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอยผกผัน 182
การเกิดพอลิเมอร์แบบไข่มุก 269
การเกิดพอลิเมอร์แบบเคมีไฟฟ้า 148
การเกิดพอลิเมอร์แบบแคตไอออน 114
การเกิดพอลิเมอร์แบบโคออร์ดิเนต 125
การเกิดพอลิเมอร์แบบใช้แผ่นแบบ 272
การเกิดพอลิเมอร์แบบซิป 289
การเกิดพอลิเมอร์แบบซีเกลอร์-นัตตา 289
การเกิดพอลิเมอร์แบบโซ่ 118
การเกิดพอลิเมอร์แบบตกตะกอน 253
การเกิดพอลิเมอร์แบบเติม 118
การเกิดพอลิเมอร์แบบถ่ายโอนกลุ่ม (จีทีพี) 171
การเกิดพอลิเมอร์แบบถ่ายโอนประจุ 120
การเกิดพอลิเมอร์แบบบัลก์ 103
การเกิดพอลิเมอร์แบบมวล 103
การเกิดพอลิเมอร์แบบมินิอิมัลชัน 200
การเกิดพอลิเมอร์แบบเม็ด 269
การเกิดพอลิเมอร์แบบไมโครอิมัลชัน 200
การเกิดพอลิเมอร์แบบไมโครอิมัลชัน ด้วยความแตกต่าง 139
การเกิดพอลิเมอร์แบบร่วม 128
การเกิดพอลิเมอร์แบบรีดอกซ์ 258
การเกิดพอลิเมอร์แบบสารละลาย 262
การเกิดพอลิเมอร์แบบเหนี่ยวนำด้วยรังสี 258
การเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ ถ่ายโอนอะตอม (เอทีอาร์พี) 92
การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน 148
การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันผกผัน 182
การเกิดพอลิเมอร์แบบแอนไอออน 89

การเกิดพอลิเมอร์ประเภทแอลลิล 85
การเกิดพอลิเมอร์ระหว่างผิวสัมผัส 181
การขจัดกำมะถันในก๊าซเสีย (เอฟจีดี) 413
การขนถ่ายสินค้าจากเรือสู่เรือ 347
การขนถ่ายสินค้าส่งผ่าน 333
การขนถ่ายสินค้าออกจากหน่วยขนส่ง 364
การขนส่งทางทะเลแบบมวลรวม 330
การขนส่งทางน้ำ 343
การขนส่งทางรถไฟ 353
การขนส่งเที่ยวกลับ 328
การขนส่งแบบเต็มตู้สินค้า (เอฟซีแอล) 340
การขนส่งระบบตู้สินค้า 332
การขนส่งสินค้าไม่เต็มตู้สินค้า (แอลซีแอล) 346
การขนส่งสินค้าร่วม 332
การขนส่งสินค้าอันตรายทางทะเล (ไอเอ็มดีจี) 345
การขนส่งหลายรูปแบบ 348
การขึ้นรูปแบบฉีด 179
การขึ้นรูปแบบอัด 124
การควบคุมการรั่วไหล 359
การควบคุมความเสี่ยงต่อสุขภาพ 375
การควบคุมอุบัติภัยจากวัสดุอันตรายและสารเคมี 391
การจัดการที่เหมาะสมที่สุด 350
การจัดการที่เหมาะสมที่สุดในโซ่อุปทาน 361
การจัดการภาวะฉุกเฉิน 386
การจัดการภาวะวิกฤติ 385
การจัดเรียงโครงสร้างใหม่ของเบคแมนน์ 95
การจัดวางสินค้าชนิดถุงแบบเรียงกอง 348
การจับเป็นกลุ่มก้อน 409
การจำแนกประเภทสินค้าอันตราย 342
การช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน (ซีพีอาร์) 371
การใช้ประโยชน์สินทรัพย์ 328
การซักซ้อมการปฏิบัติ 386
การดึงน้ำ 136
การดึงน้ำออกจากเอทานอล 154
การดึงสองทิศทาง 98
การดึงหมู่แอลคิล 136
การดึงหมู่แอลคิลจากทอลิวอีน 279
การดึงหมู่แอลคิลด้วยไฮโดรเจน 176
การดึงไฮโดรเจน 136
การดึงไฮโดรเจนคลอไรด์ 136
การดึงไฮโดรเจนออกและปิดวง 136
การดูดซับ 80
การดูดซับชนิดสลับความดัน (พีเอสเอ) 253
การดูดซับชนิดสลับอุณหภูมิ (ทีเอสเอ) 272
การดูดซึม 71
การดูแลด้วยความรับผิดชอบ 354
การดูแลตลอดอายุผลิตภัณฑ์ 352
การดูแลและรับผิดชอบต่อผลิตภัณฑ์ 380
การตกตะกอนผลึก 419
การตกตะสมของกรด 403
การตกน้ำฟ้า 419
การตกสะสมเปียก 422
การตกสะสมแห้ง 410
การตรวจติดตามทางชีวภาพ 371
การตรวจสอบระบบความปลอดภัย 354
การตรวจหาการรั่วซึมและซ่อมบำรุง (แอลดีเออาร์) 416
การต่อสายดิน 341
การเติมคลอรีน 122
การเติมคาร์บอนมอนอกไซด์ 109
การเติมโบรมีน 103
การเติมฟอสจีน 218
การเติมหมู่คาร์บอกซิลิก 74
การเติมหมู่เอมีน 85
การเติมหมู่แอลคิล 83
การเติมหมู่แฮโลเจน 173
การเติมหรือแทนที่ด้วยหมู่แอลกอฮอล์ 81
การเติมโอโซน 418
การเติมไฮโดรเจน 177
การแตกตัว 128
การแตกตัวด้วยความร้อน 275
การแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะของไหล (เอฟซีซี) 166
การแตกตัวด้วยไฮโดรเจน 176, 177
การแตกตัวโดยใช้ไอน้ำร่วมด้วย 263
การถ่ายโอนสายโซ่ 120
การทดสอบการทำหน้าที่ของปอด 377
การทดสอบถัง 362
การทดสอบแบบไม่ทำลาย (เอ็นดีที) 349
การทดสอบปล่อยตก 336
การทำขันสลัดจ์ 420
การทำคอมพาวนด์ 299
การทำโฟม 304
การทำสัญลักษณ์ 348
การทำให้เป็นกลาง 418
การแทนที่อากาศด้วยไนโตรเจน 349
การบรรจุสินค้าเข้าไปในหน่วยขนส่ง 347
การบรรจุสินค้าทางด้านบนถังรถขนส่ง 362
การบรรจุสินค้าทางด้านล่างถังรถขนส่ง 330
การบรรจุสินค้าลงถัง 336
การบรรจุหีบห่อ 350
การบริหารสินค้าคงคลัง 345
การบาดเจ็บทางเสียง 368
การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ 406
การบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิก 406
การบำบัดเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 406
การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (เอชอาร์เอ) 374
การประเมินผลกระทบทางสุขภาพ (เอชไอเอ) 374
การปรับค่า pH 418
การป้องกันการเติมสารล้นระดับ 342
การป้องกันช่องเปิด 396
การป้องกันมลพิษ 419
การป้องกันระบบทางเดินหายใจ 381
การปิดวง 133
การเปลี่ยนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 114
การเปลี่ยนแบบเลื่อน 262
การเปลี่ยนไอโซเมอร์ 186
การเปลี่ยนไอโซเมอร์ด้วยไฮโดรเจน 178
การเผาทิ้ง 413
การฝังกลบอย่างปลอดภัย 420
การฝึกซ้อมแบบจำลองสถานการณ์ 399
การฝึกซ้อมแผนฉุกเฉิน 386
การฝึกปฏิบัติแผนฉุกเฉิน 386
การยศาสตร์ 372
การย่อยแบบใช้ออกซิเจน 405
การย่อยแบบใช้อากาศ 405
การย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน 406
การย่อยแบบไร้อากาศ 406
การย่อยแบบแอนแอโรบิก 406
การย่อยแบบแอโรบิก 405
การแยก 261
การแยกจัดเก็บสารเคมี 356
การแยกแบบลดความดัน 165
การแยกสลายด้วยน้ำ 178
การแยกสลายด้วยแอมโมเนีย 88
การแยกสลายด้วยแอลกอฮอล์ 81
การรวบรวมสินค้า 332
การระบุรหัสข้อมูลสินค้าโดยระบบความถี่วิทยุ (อาร์เอฟไอดี) 353
การระเบิด 387
การระเบิดจากแรงดันไอของของเหลวเดือด 384
การรัดตรึงสินค้าบนรถขนส่ง 347
การรีฟอร์ม 259
การรีฟอร์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 114
การรีฟอร์มด้วยไอน้ำ 263
การรีฟอร์มด้วยไอน้ำ 263
การเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง 218
การเรียงตัวสองทิศทาง 98
การล้างลง 410
การแลกเปลี่ยนหมู่แอลคิล 280
การแลกเปลี่ยนไอออน 416
การวัดกลิ่นโดยวิธีรับความรู้สึกการได้กลิ่น 420
การวางแผนร่วมกันของฝ่ายขายและฝ่ายปฏิบัติการ (เอสแอนด์โอพี) 355
การว่าจ้างเรือเหมาลำเพื่อบรรทุกสารเคมีเหลว 331
การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยความร้อน (ทีจีเอ) 320

การวิเคราะห์ความต่างด้านความร้อน (ดีทีเอ) 300
การวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต (แอลซีเอ) 417
การเวียนรอบนับสินค้าคงคลัง 333
การสกัด 163
การส่งมอบตรงเวลา 349
การสังเคราะห์ไนไทรล์ 88
การสังเคราะห์สารแอโรแมติกส์ 92
การสังเคราะห์ออกโซ 176
การสังเคราะห์อิพ็อกไซด์ 151
การสังเคราะห์แอลดอล 82
การสูญเสียการได้ยินจากเสียง 378
การสูญเสียการได้ยินแบบชั่วคราว (ทีทีเอส) 381
การสูญเสียไอระเหย 408
การสูญเสียไอสารเคมีจากถังเก็บขณะปฏิบัติงาน 423
การเสริมสภาพพลาสติก 316
การเสริมสภาพพลาสติกภายนอก 303
การเสริมสภาพพลาสติกภายใน 306
การเสื่อมสมบัติตามอายุ 80
การหล่อ 110
การหลุดจากสายโซ่พอลิเมอร์ 137
การอนุรักษ์การได้ยิน 376
เกินความต้องการ 350
ไกลคอล 171

ข

ของเสียอันตราย 415
ของเสียอุตสาหกรรม 416
ข้อตกลงธุรกรรมการค้าสากล (อินโคเทอม) 344
ข้อตกลงยุโรปว่าด้วยการขนส่งสินค้าอันตรายทางถนน (เอดีอาร์) 337
ข้อต่อเชื่อมท่อถ่ายเทสารเคมีเหลวแบบแห้ง 336
ข้อต่อแบบติดตั้งเร็ว 352
ข้อต่อรับน้ำดับเพลิง 388
ข้อแนะนำของสหประชาชาติเรื่องการขนส่งสินค้าอันตราย 364
ข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี (เอสดีเอส) 355
ขั้นริเริ่มสายโซ่ 118
ขั้นสิ้นสุดสายโซ่ 119
ขีดความสามารถในการรองรับสารมลพิษของแหล่งน้ำ 407
ขีดจำกัดการรับสัมผัสที่ยอมได้ (พีอีแอล) 380
ขีดจำกัดการรับสัมผัสในงานอาชีพ (โออีแอล) 379
ขีดจำกัดขั้นต่ำของส่วนผสมระเบิดได้ (แอลอีแอล) 396
ขีดจำกัดขั้นสูงของส่วนผสมระเบิดได้ (ยูอีแอล) 399
ขีดเริ่มเปลี่ยนการรับสัมผัส (ทีแอลวี) 381
เขตกันชน 408
แขนกลจ่ายสารเคมีเหลว 347

ค

ครีซอล 128
คลอริเนตเทดพอลิไวนิลคลอไรด์ (ซีพีวีซี) 121
คลอริเนตเทดพอลิอีเทอร์ 121
คลอริเนตเทดพอลิเอทิลีน (ซีพีอี) 121
คลอโรซัลโฟเนดเทต พอลิเอทิลีน (ซีเอสพีอี) 123
คลอโรเบนซีน 122
คลอโรพรีน 122
คลังสินค้า 362, 366
คลังสินค้าสำหรับสินค้าอันตราย 335
ความชุ่น 421
ความคลาดเคลื่อนของการน้ำหนักสินค้า 366
ความเค็ม 420
ความจุของภาชนะบรรจุ 333
ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (ซีโอดี) 408
ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (บีโอดี) 407
ความทนแสง 307
ความปลอดภัย 398
ความแม่นของการพยากรณ์ยอดขาย 340
ความแม่นยำของข้อมูลสินค้าคงคลัง 345
ความยาวสายโซ่เชิงจลน์ 188
ความเร่งเอง 93
ความล้า 164
ความสูงของบรรจุภัณฑ์ที่วางซ้อนกัน 359
ความเหมาะสมและความพร้อมของบุคคลในงานที่ทำ 372
คอมพาวนด์ 299
คอมเพล็กซ์ปิโตรเคมี 210
ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่มนุษย์รับรู้กลิ่นได้ 418
คาโพรแลกแทม 108
คาโพรแลกโทน 108
คาร์บอนกัมมันต์ 404
คาร์บอนแบล็ก 297
คาร์บอนมอนอกไซด์ 408
ค่าเสียเวลา 335
ค่าหน่วงเวลาตู้สินค้า 335
คำสั่งซื้อของลูกค้าที่สมบูรณ์ 351
คิวมีน 132
คู่มือการขนส่งกรณีฉุกเฉิน 363
เคมีภัณฑ์ปิโตรเลียม 211
เครื่องจัดเรียงบนพาเลต 351
เครื่องดักฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต 410
เครื่องผสมแบบสองลูกรีด 323
เครื่องฟอกก๊าซแบบเปียก 422
เครื่องลำเลียงสินค้าด้วยระบบท่อลม 326
เครื่องสูบน้ำดับเพลิง 389
เครื่องสูบน้ำรักษาความดัน 395
เครื่องหมายแสดงการขนส่งสินค้า 357
เครื่องอัดรีดแบบเกลียวคู่ (ทีเอสอี) 322
เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (ทีเอสอี) 322
แคตฟอร์มมิง 114
โครงข่ายพอลิเมอร์แบบกิ่งสอดไขว้ (เอสไอพีเอ็น) 261
โครงข่ายพอลิเมอร์แบบสอดไขว้ (ไอพีเอ็น) 181

ง

งานเจาะและงานขุด 386
งานทั่วไป 385
งานที่ทำให้เกิดความร้อนหรือประกายไฟ 392

จ

จุดวาบไฟ 339

ฉ

ฉนวน 343
ฉลาก 346

ช

ช่วงเวลาในการส่งมอบ 346
ช่องลงซ่อมบำรุง 348
ชั้นโอโซน 418

ซ

ซัลโฟเลน 266
ซี 4 ผสม 200
ซีโอไลต์ 288
เซลลูโลส 115
เซลลูโลสไทรแอซีเทต (ซีที) 117
เซลลูโลสแอซีเทต (ซีเอ) 115
เซลลูโลสแอซีเทตบิวทิเรต (ซีเอบี) 116
เซลลูโลสแอซีเทตโพรพิออเนต (ซีเอพี) 117
โซ่มูลค่าผลิตภัณฑ์ 365
ไซโคลน 409
ไซโคลพาราฟิน 135
ไซโคลเพนเทน 135
ไซโคลแอลเคน 135, 206
ไซโคลเฮกซานอล 134
ไซโคลเฮกซาโนน 134
ไซโคลเฮกซีน 134
ไซโคลเฮกเซน 134
ไซลีน 286
ไซลีนอล 287
ไซโล 357

ด

ดัชนีการสัมผัสสารชีวภาพ (บีอีไอ) 370
ดัชนีคุณภาพอากาศ (เอคิวไอ) 405

ดัชนีหักเห 259
ดัชนีออกซิเจน 308
ดัชนีออกซิเจนจำกัด (แอลโอไอ) 308
ดิสพรอพอร์ชันเนชัน 144
ดีเนียร์ 136
ดีพรอพาเกชัน 137
ดีไฮโดรคลอริเนชัน 136
เดซิเบล 410
ได-2-เอทิลเฮกซิลทาเลต (ดีอีเอชพี) 300
ไดไนโตรทอลิวอีน (ดีเอ็นที) 142
ไดโพรพิลีนไกลคอล 143
ไดเมทิลเทเรฟแทเลต (ดีเอ็มที) 141
ไดเมทิลฟีนอล 287
ไดเมทิลแอซีทาไมด์ 142
ไดออกทิลทาเลต (ดีโอพี) 301
ไดออล 171
ไดเอทิลีนไกลคอล (ดีอีจี) 139
ไดไอโซไซยาเนต 140
ไดไอโซบิวทีน 139
ไดไอโซโพรพิลเบนซีน 140

**ต**

ตัวกรองโมเลกุล 202
ตัวต้านออกซิเดชัน 296
ตัวเติม 303
ตัวทำความเย็นแบบระเหย 411
ตัวทำละลาย 263
ตัวเร่งปฏิกิริยา 111
ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ 174
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ 176
ตัวอย่างแบบฉวย 413
ตัวอย่างสุ่ม 413
ตัวอย่างอากาศที่เก็บที่ระดับหายใจ 371
ตู้สินค้าทางทะเลแบบมวลรวม 355
ตู้สินค้าสำหรับขนส่งทางทะเล 342
เตาเผาเชิงเร่งปฏิกิริยา 408

**ถ**

ถัง 336
ถังกรองแบบแอนแอโรบิก 406
ถังกรองไร้อากาศ 406
ถังเก็บชนิดหลังคาไม่ติดตาย 412
ถังเก็บชนิดหลังคาลอยภายใน 416
ถังเก็บที่มีระบบหลังคาลอย 340
ถังเก็บสารเคมีชนิดหลังคาติดตาย 412
ถังเก็บสารเคมีชนิดหลังคาไม่ติดตาย 412
ถังเก็บสารเคมีเหลวหรือก๊าซ 361
ถังดักไขมันและน้ำมัน 418
ถังทรงกลม 358
ถังนำกลับมาปรับปรุงสภาพ 353
ถังบรรจุก๊าซ 341
ถังบรรจุสารเคมี 366
ถังแบบฝาเปิดด้านบน 349
ถังมือสอง 353
ถังยึดติดกับตัวรถ 338
ถังสำหรับขนส่งทางทะเล 345
ถ่านกัมมันต์ 404
ถุงกรอง 407
ถุงอ่อนหยุ่นขนาดใหญ่ 340
เถ้าก้นเตา 408
เถ้าลอย 413

**ท**

ทรงสี่หน้าการเกิดไฟ 389
ท่อขนส่งลำเลียง 351
ท่อร่วม 348
ท่อลำเลียงแบบอ่อน 340
ทอลิวอีน 278
ทอลิวอีนไดไอโซไซยาเนต (ทีดีไอ) 279
ท่ออ่อนจ่ายสารเคมีเหลว 348
ท่อไอวนกลับ 365
ท่าเทียบเรือ 329, 345
ท่าเรือต้นทางผู้ส่งสินค้า 352
ท่าเรือตู้สินค้า 332
ท่าเรือปลายทางผู้รับสินค้า 352
ทำเนียบการปลดปล่อยและเคลื่อนย้าย มลพิษ (พีอาร์ทีอาร์) 419
ที่จอดเรือ 329
ที่ปรึกษาด้านความปลอดภัยการขนส่ง สินค้าอันตราย (ดีจีเอสเอ) 334
ทีมตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน 386
เท็กซ์ 275
เทคโนโลยีสะอาด (ซีที) 409
เททระไฮโดรฟูแรน (ทีเอชเอฟ) 274
เทฟลอน 246
เทอร์มอเซต 277
เทอร์มอเซตพลาสติก 277
เทอร์มอพลาสติกพอลิเอสเทอร์ 233
แท่นรองสินค้า 350
ไทเทเนียมไดออกไซด์ 321
ไทรครีซอล 128
ไทรไนโตรทอลิวอีน (ทีเอ็นที) 282
ไทรโพรพิลีนไกลคอล 282
ไทรเอทิลีนไกลคอล (ทีอีจี) 280

**น**

นอร์มัลบิวทีน 204
นอร์มัลเมทิลไพโรริโดน (เอ็นเอ็มพี) 204
นักสุขศาสตร์อุตสาหกรรม 377
น้ำเสีย 421
น้ำหนักบรรทุกในเรือรวม (ดีดับเบิลยูที) 335
น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเชิงจำนวน 208
น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเชิงน้ำหนัก 286
น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยแบบแชด 288
แนฟทา 206
แนฟทาลีน 206
แนฟทีน 206
แนวป้องกันอุปกรณ์บนถังรถขนส่ง 350
โนโวแล็ก 207
ไนโตรเบนซีน 207
ไนลอน (พีเอ) 229
ไนลอน 11 227
ไนลอน 12 227
ไนลอน 6 228
ไนลอน 6,10 228
ไนลอน 6,6 228

**บ**

บรรจุภัณฑ์ 350
บรรจุภัณฑ์ชนิดยืดหยุ่น 361
บรรจุภัณฑ์แบบมวลรวมขนาดกลาง (ไอบีซี) 344
บรรจุภัณฑ์ประเภทถุง 329
บรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าอันตราย 334
บ่อกึ่งแอโรบิก 412
บ่อเติมอากาศ 405
บ่อปรับเสถียร 421
บ่อแฟคัลเททีฟ 412
บ่อเหม็น 406
บ่อแอนแอโรบิก 406
บัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ 410
บิวทาไดอีน 104
บิวทิลีน 106
บิวทีน 106
บิวทิลีนไกลคอล (บีจี) 107
บิวทิลีนออกไซด์ 107
บิวเทน 105
บิวเทนไดออล 107
บิสฟีนอลเอ (บีพีเอ) 100
บิสมาเลอิไมด์ (บีเอ็มไอ) 100
เบกาไลท์ 218
เบตาแลกแทม 70
เบนซัลดีไฮด์ 96
เบนซีน 97
เบนซีน-ทอลิวอีน-ไซลีน (บีทีเอกซ์) 98
แบบจำลองการกระจายอากาศ 405
แบบจำลองพลูมของเกาส์เซียน 413
แบบจำลองพัฟของเกาส์เซียน 413
ใบแจ้งความพร้อมเข้าเทียบท่า 349
ใบตราส่งสินค้า (บีแอล) 329
ใบส่งสินค้า (ดีโอ) 335
ใบอนุญาตทำงาน 400

**ป**

ปฏิกิริยาดีลส์-แอลเดอร์ 138
ปฏิกิริยาฟรีเดล-คราฟท์ 169

ปฏิกิริยาโฟโตเคมี 418
ปฏิกิริยาออกโซ 209
ปรากฏการณ์เจล 93
ปรากฏการณ์ทรอมส์ดอร์ฟ 93
ปรากฏการณ์ทรอมส์ดอร์ฟ-นอร์ริช 93
ปรากฏการณ์เรือนกระจก 414
ปั๊มน้ำดับเพลิง 389
ปั๊มน้ำรักษาความดัน 395
ป้ายปิดเพื่อสื่อสารข้อมูลสินค้า 351
ปิโตรเคมี 211

**ผ**

ผลกระทบเฉียบพลัน 405
ผลกระทบในระยะยาว 408
ผังลม 422
แผ่นกั้นภายในถัง 328
แผ่นรองสินค้า 358

**ฝ**

ฝนกรด 404

**พ**

พทาลิกแอนไฮไดรด์ 220
พลาสติก 222
พลาสติกเชิงวิศวกรรม 149
พลาสติกอิพ็อกซี 153
พอลิไกลคอล 237
พอลิคลอโรไตรฟลูออโรเอทิลีน (พีซีทีเอฟอี) 232
พอลิคาร์บอเนต (พีซี) 232
พอลิคีโทน 238
พอลิซัลโฟน (พีเอสโอ) 246
พอลิไซโคลเฮกซิลีนไดเมทิลีนเทเรฟแทเรต (พีซีที) 233
พอลิเททระฟลูออโรเอทิลีน (พีทีเอฟอี) 246
พอลิบิวทิลีน (พีบี) 231
พอลิบิวทิลีน เทเรฟแทเลต (พีบีที) 231
พอลิบิวทีน 231
พอลิเบนซิมิดาโซล (พีบีไอ) 230
พอลิพทาลาไมด์ (พีพีเอ) 245
พอลิพาราเฟนิลีนเทเรฟทาลาไมด์ (พีพีทีเอ็ม, เคฟลาร์) 243
พอลิโพรพิลีนไกลคอล (พีพีจี) 245
พอลิเฟนิลซัลไฟด์ (พีพีเอส) 244
พอลิเฟนิลีนออกไซด์ (พีพีโอ) 244
พอลิเมทิลเพนทีน (พีเอ็มพี) 242
พอลิเมทิลเมทาคริเรต (พีเอ็มเอ็มเอ) 241
พอลิเมอร์ 239
พอลิเมอร์เชิงประกอบ 318
พอลิเมอร์เชิงวิศวกรรม 149
พอลิเมอร์แบบควบแน่น 125
พอลิเมอร์ประเภทเทอร์มอเซต 277
พอลิเมอร์ผสม 317
พอลิเมอร์ร่วม 127
พอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่ม 101
พอลิเมอร์ร่วมพอลิยูริเทนพอลิยูเรีย 248
พอลิเมอร์ร่วมพอลิเอสเทอร์ 126
พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-บิวทาไดอีน 265
พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-กรดอะคริลิก (อีเอเอ) 158
พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-คลอโรไทรฟลูออโรเอทิลีน (ซีอีทีพีอี) 159
พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-นอร์มัล-บิวทิลอะคริเลต (อีบีเอ) 161
พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน ไวนิลแอซีเทต (อีวีเอ) 163
พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-เอทิลอะคริเลต (อีอีเอ) 160
พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีนแอซิด 157
พอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-เททระฟลูออโรเอทิลีน (อีทีพีอี) 162
พอลิเมอร์อัลลอย 317
พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ 241
พอลิยูริเทน (พียู) 247
พอลิลอริกแลกแทม 227
พอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) 250
พอลิไวนิลคลอไรด์เติมสารเสริมสภาพพลาสติก (พีพีวีซี) 224
พอลิไวนิลคลอไรด์แบบกระจายตัว 144
พอลิไวนิลคลอไรด์แบบแขวนลอย 269
พอลิไวนิลคลอไรด์ไม่เติมสารเสริมสภาพพลาสติก (ยูพีวีซี) 283
พอลิไวนิลบิวทิรัล (พีวีบี) 249
พอลิไวนิลฟลูออไรด์ (พีวีเอฟ) 250
พอลิไวนิลฟอร์มัล (พีวีเอฟโอ, พีวีเอฟเอ็ม) 251
พอลิไวนิลิดีนคลอไรด์ (พีวีดีซี) 251
พอลิไวนิลแอซีทัล 248
พอลิไวนิลแอซีเทต (พีวีเอซี) 248
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (พีวีเอ) 248
พอลิไวนิลิดีนฟลูโอไรด์ (พีวีดีเอฟ) 252
พอลิสไตรีน (พีเอส) 245
พอลิสไตรีนทนแรงกระแทกสูง (เอชไอพีเอส) 175
พอลิสไตรีนอเนกประสงค์ 245
พอลิออกซีเมทิลีน (พีโอเอ็ม) 224
พอลิออกซีเอทิลีน (พีโออี) 236
พอลิอะคริลาไมด์ 225
พอลิอะคริลิกพลาสติก 226
พอลิอะคริลิกแอซิด (พีเอเอ) 225
พอลิอะคริโลไนไทรล์ (พีเอเอ็น) 226
พอลิอิไมด์ (พีไอ) 237
พอลิอิเล็กโทรไลต์ 241
พอลิอีทีน (พีอี) 235
พอลิอีเทอร์ 233
พอลิอีเทอร์คีโทน (พีอีเค) 234
พอลิอีเทอร์อิไมด์ (พีอีไอ) 234
พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโทน (พีอีอีเค) 233
พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโทนคีโทน (พีอีอีเคเค) 234
พอลิเอทิลีน 235
พอลิเอทิลีนไกลคอล (พีอีจี) 236
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (แอลดีพีอี) 191
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (แอลแอลดีพีอี) 190
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (เอ็มดีพีอี) 193
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (เอชดีพีอี) 174
พอลิเอทิลีนเชื่อมขวาง (พีอีเอ็กซ์, เอ็กซ์แอลพีอี) 129
พอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลต (พีอีที) 236
พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ 283
พอลิเอทิลีนออกไซด์ (พีอีโอ) 236
พอลิเอไมด์ 229
พอลิเอไมด์ 6 228
พอลิเอไมด์ 6,6 228
พอลิเอไมด์ 6,10 228
พอลิเอไมด์ 11 227
พอลิเอไมด์ 12 227
พอลิเอไมด์-อิไมด์ (พีเอไอ) 229
พอลิเอสเทอร์ 233
พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (ยูพี) 284
พอลิเอสเทอร์ประเภทเทอร์มอเซต 277
พอลิแอซีทัล 224
พอลิแอริลซัลโฟน (พีเอเอส) 230
พอลิแอริลอีเทอร์ (พีเออี) 230
พอลิไอโซไซยานูเรต (พีไออาร์) 238
พอลิไอโซไซยาเนต 238
พอลิไอโซบิวทิลีน (พีไอบี) 237
พาราไซลีน 210
พาราฟิน 210
พาเลต 350
พิธีสารเกียวโต 416
พื้นที่แนวกันชน 408
เพอร์ฟลูออโรเอทิลีนโพรพิลีนพลาสติก 167
โพรพิลีน 255
โพรพิลีนไกลคอล (พีจี) 256
โพรพิลีนออกไซด์ (พีโอ) 257
โพรพีน 255
โพรเพน 254
โพลิเมอร์ 236

**ฟ**

ฟลูออริเนตเทดเอทิลีนโพรพิลีน (เอฟอีพี) 167
ฟอร์มัลดีไฮด์ 167

ฟอสจีน 218
ฟิวแรนพลาสติก 169
ฟิวแรนเรซิน 169
ฟีนอล 216
ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (พีเอฟ) 218
ฟีนอลเฟอร์ฟิวแรนเรซิน 217
ฟีนอลิกเรซิน 218
เฟนิลามีน 88
เฟอร์ฟิวรัล 170
โฟมพอลิสไตรีน (อีพีเอส, เอ็กซ์พีเอส) 163
โฟมสไตรีน 163
ไฟท่วม 390
ไฟบนพื้น 398
ไฟพลุ่ง 390
ไฟพุ่งเป็นลำ 395
ไฟฟ้าสถิต 336

**ภ**

ภาวะฉุกเฉิน 386
ภาวะภัยต่อสุขภาพ 373
ภาวะแวดล้อมในการทำงาน 401
ภาวะแสงจ้า 373
ภูมิแพ้ 370

**ม**

มอนอเมอร์ 203
มอนอเอทิลีนไกลคอล (เอ็มอีจี) 160
มะเร็งที่เกิดจากงานอาชีพ 378
มาตรฐานการปล่อยสารมลพิษทางอากาศ 411
มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป 406
มาตรฐานน้ำทิ้ง 410
มาตรฐานสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา 326
มาตรฐานเอพีไอ 326
มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (เอ็มเอ) 193
มีเทน 195
เมทริกซ์ 309
เมทาไซลีน 194
เมทาทีซิส 194
เมทานอล 196
เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์ (เอ็มทีบีอี) 198
เมทิลฟีนอล 128
เมทิลเมทาคริเลต (เอ็มเอ็มเอ) 197
เมทิลเมทาคริเลทอะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (เอ็มเอบีเอส) 198
เมทิลเอทิลคีโทน (เอ็มอีเค) 196
เมทิลแอลกอฮอล์ 196
เมทิลไอโซบิวทิลคีโทน (เอ็มไอบีเค) 197
เมทิลีนไดเฟนิลีนไดไอโซไซยาเนต (เอ็มดีไอ) 199
เมมเบรน 194
โมเลคิวลาร์ซีฟ 202

**ย**

ยางคลอโรพรีน (ยางซีอาร์) 123
ยางเทอร์มอพลาสติก 276
ยางธรรมชาติ (เอ็นอาร์) 206
ยางนีโอพรีน 123
ยางไนไทรล์ (เอ็นบีอาร์) 76
ยางบิวทาไดอีน (ยางบีอาร์ ) 105
ยางบิวทิล 106
ยางบูนา 105
ยางพอลิอะคริเลตอะคริลิก (เอซีเอ็ม) 225
ยางอะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน (เอบีอาร์) 76
ยางอีพีดีเอ็ม 162
ยางไอโซพรีน (ไออาร์) 238
ยูเรีย 284
เยื่อแผ่น 194

**ร**

รถขนส่งถังบรรจุสินค้าสารเคมีเหลวหรือก๊าซ 362
รถบรรทุกกึ่งพ่วง 356
รถบรรทุกพ่วง 341
รหัสถังสำหรับการขนส่งสินค้าอันตราย 334
รหัสมาตรฐานของสถาบันวิศวกรรมเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (เอเอสเอ็มอี โค้ด) 328
ระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (ดีพี) 136
ระดับความดันเสียงแบบถ่วงน้ำหนัก 422
ระดับเริ่มรับรู้กลิ่น 418
ระดับเสียง 420
ระดับเสียงเฉลี่ยกลางวัน-กลางคืน 410
ระดับเสียงที่ได้รับ (เอสอีแอล) 420
ระดับเสียงรับรู้ (พีเอ็นแอล, แอลพีเอ็น) 418
ระดับเสียงสมมูล 24 ชั่วโมง 411
ระบบการจัดการคลังสินค้า (ดับเบิลยูเอ็มเอส) 366
ระบบการจัดการทรัพยากรทั่วทั้งองค์กร (อีอาร์พี) 337
ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (อีเอ็มเอส) 411
ระบบการจัดการอาชีวอนามัย 379
ระบบการจัดเก็บและค้นคืนสินค้าอัตโนมัติ 328
ระบบการประเมินความปลอดภัยและคุณภาพ (เอสคิวเอเอส) 354
ระบบจำแนกและสื่อสารสารเคมีให้เป็นระบบเดียวกันทั่วโลก (จีเอชเอส) 341
ระบบตรวจติดตามคุณภาพอากาศ (เอคิวเอ็มเอส) 405
ระบบโปรยกรอง 421
ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (อาร์บีซี) 419
ระบบสารดับเพลิงสะอาด 385
ระบบสารสนเทศการประเมินความเสี่ยงอย่างครบวงจร (ไอริส) 416
ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง 399
ระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย 415
ระเบียบสารเคมีของสหภาพยุโรป (รีช) 353
ระยะเวลาเตรียมการ 346
ระยะเวลาเหนี่ยวนำการเกิดออกซิเดชัน (โอไอที) 315
รีฟอร์มมิง 259
รีฟอร์มเมต 258
รูปแบบการขนส่ง 348
เรซิน 260
เรซินโนโวแล็ก 207
เรซินเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ (เอ็มเอฟ) 193
เรซินยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (ยูเอฟ) 284
เรซินรีโซล 261
เรซินแอนิลีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ 89
เรือขนส่งสินค้าขนาดเล็ก 329
เรือบรรทุกสารเคมี 366
เรือบรรทุกสารเคมีเหลวหรือก๊าซ 331
เรือลากจูง 363
เรือลำเลียง 329
แรฟฟิเนต 258
โรค 372
โรคความเย็นกัด 390
โรคที่เกิดจากการหดเกร็งของหลอดเลือด 380
โรคที่เกิดจากงานอาชีพ 378
โรคฝุ่นจับปอด 380

**ล**

ลอจิสติกส์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 341
ละอองลอย 368
ลูกไฟขนาดใหญ่ 387
เลซโบรมีน 103
แลกแทม 188
ไลครา 191

**ว**

วัตถุอันตราย 342
วัสดุเชิงประกอบ 298
วัสดุยืดหยุ่น 147
วัสดุยืดหยุ่นเทอร์มอพลาสติก (ทีพีอี) 276
วัสดุยืดหยุ่นโอเลฟินเทอร์มอพลาสติก 276
วัสดุเสริมกำลัง 318
วาล์วสำหรับเก็บตัวอย่าง 335
วิทยาการระบาด 372
เวลาครบรอบ 333
เวลาที่ต้องสั่งซื้อ 354
ไวนิลคลอไรด์ 286

ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ (วีซีเอ็ม) 286
ไวนิลแอซีเทต 284
ไวนิลแอลกอฮอล์ (วีเอ) 285
ไวไฟ 339

**ศ**

ศาสตร์การวัดรูปร่างสัดส่วนร่างกายมนุษย์ 370

**ส**

สไตรีน 264
สไตรีนมอนอเมอร์ (เอสเอ็ม) 264
สไตรีน-มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (เอสเอ็มเอ) 265
สไตรีน-อะคริโลไนไทรล์ (เอสเอเอ็น) 264
สไตรีน-อะคริโลไนไทรล์ดัดแปรสมบัติด้วยโอเลฟิน (โอเอสเอ) 208
สถานีขนถ่ายตู้สินค้านอกท่าเรือ (ไอซีดี) 343
สถานีจัดเก็บและกระจายสินค้า 335
สถานีรับเรือขนส่งแบบมวลรวม 331
สถาบันเพื่อการผลิตและสินค้าคงคลังแห่งสหรัฐอเมริกา (เอพิกส์) 328
สถาบันมาตรฐานแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (แอนซี) 384
สแปนเด็กซ์ 248
สภาพผสมเข้ากันได้ 310
สภาพยืดหยุ่น 146
สภาอุตสาหกรรมเคมีแห่งสหภาพยุโรป 337
สมการคาร์โรเทอร์ส 109
สระเติมอากาศ 405
ส่วนต่อเรซิน 100 ส่วน 315
สัญญาการเช่าเรือบรรทุกสินค้า 333
สามเหลี่ยมการเกิดไฟ 390
สารกระตุ้นการแตกตัว 300
สารก่อผลึก 312
สารก่อมะเร็ง 371
สารคายซับ 138
สารเคมีที่เข้ากันไม่ได้ 342
สารชลอการแตกตัว 300
สารช่วยถอดแบบหล่อ 300
สารช่วยถอดแบบหล่อภายนอก 302
สารช่วยถอดแบบหล่อภายใน 306
สารดัดแปรความทนแรงกระแทก 305
สารดูดซับ 79
สารดูดซับแสงอัลตราไวโอเลต 324
สารต่อต้านการเกิดไฟฟ้าสถิต 296
สารต่อต้านการเกิดไฟฟ้าสถิตแบบถาวร 315
สารต้านการแนบติด 292
สารต้านการเสื่อม 293
สารต้านจุลินทรีย์ 295
สารต้านฝ้าหมอก 293
สารต้านโอโซน 296
สารเติมแต่ง 290
สารถ่ายโอนโซ่ (ซีทีเอ) 120
สารทำฟอง 297
สารประกอบประเภทเฮเทอโรไซคลิก 173
สารผสมคงจุดเดือด 93
สารเพิ่มความขาวจากการวาวแสง (เอฟดับเบิลยูเอ, เอฟบี) 304
สารเพิ่มความสว่างเชิงแสง (โอบีเอ, โอบี) 313
สารเพิ่มความใส 298
สารเพิ่มเนื้อสารเสริมสภาพพลาสติก 316
สารฟู 297
สารฟูทางกายภาพ 316
สารฟูทางเคมี 298
สารฟูทางเคมีแบบคายความร้อน 302
สารฟูทางเคมีแบบดูดความร้อน 301
สารมลพิษทางอากาศ 405
สารมลพิษทางอากาศตามเกณฑ์ 409
สารมลพิษอากาศที่เป็นอันตราย (เอชเอพี) 415
สารมลพิษอากาศหลัก 409
สารยับยั้งปฏิกิริยา 343
สารแย่งออกซิเจนในร่างกาย 370
สารเริ่มปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ 168
สารลดความหนืด 325
สารลดแรงตึงผิว 267
สารลื่น 319
สารสกัด 163
สารสี 298
สารเสถียรความร้อน 305, 320
สารเสถียรต่อแสง 307, 325
สารเสริมสภาพพลาสติก 316
สารเสริมสภาพพลาสติกทุติยภูมิ 318
สารเสริมสภาพพลาสติกปฐมภูมิ 318
สารหน่วงไฟ 303
สารหยุดยั้งอนุมูลอิสระ 305
สารหล่อลื่น 308
สารหล่อลื่นภายนอก 302
สารหล่อลื่นภายใน 305
สารอินทรียไอระเหย (วีโอซี) 381
สิ่งก่อมะเร็ง 371
สินค้าคงคลังขั้นต่ำ 355
สินค้าคงคลังเต็มตามรอบ 333
สินค้าคงคลังที่ผู้ขายบริหารเอง (วีเอ็มไอ) 366
สินค้าคงคลังเพื่อเก็งกำไร 358
สินค้าคงคลังเพื่อการเก็งราคา 342
สินค้าคงคลังระหว่างทาง 342
สินค้าอันตราย 333
สุขศาสตร์อุตสาหกรรม 376
เส้นใยพอลิอะคริโลไนไทรล์ 227
เส้นใยพีเอเอ็น 227
เส้นใยโมดะคริลิก 201
เส้นใยอะคริลิก 227

**ห**

หน่วยงานของรัฐผู้รับผิดชอบตามกฎหมาย 332
หน่วยงานด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของสหรัฐอเมริกา (โอชา) 379
หน่วยงานวิจัยด้านมะเร็งระหว่างประเทศ (ไอเออาร์ซี) 421
หน่วยซ้ำ 260
หน่วยวัดปริมาณขนส่งเทียบเท่าตู้สินค้าขนาด 20 ฟุต (ทียู) 363
หน้าแปลน 339
หมายเลขสินค้าอันตรายของสหประชาชาติ 364
ห้องตกอนุภาค 414
หัวจ่ายน้ำดับเพลิง 393
หัวเผาออกไซด์ไนโตรเจนต่ำ 418
แหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศ 411

**อ**

องค์กรสากลในการเดินเรือทางทะเล (ไอเอ็มโอ) 345
องค์กรอิสระของนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรม ประเทศสหรัฐอเมริกา 370
อนุสัญญาบาเซลว่าด้วยการควบคุมการเคลื่อนย้ายข้ามแดนของของเสียอันตรายและการกำจัด 407
ออกซิเจนละลายน้ำ (ดีโอ) 410
ออกซิเดชั่น-รีดักชัน 418
ออกซิเรน 161
ออกซีคลอริเนชัน 209
ออร์โทไซลีน 209
ออสโมซิสผันกลับ (อาร์โอ) 419
อะคริลาไมด์ 74
อะคริลิกพลาสติก 226
อะคริลิกพอลิเมอร์ 226
อะคริลิกเรซิน 226
อะคริลิก-สไตรีน-อะคริโลไนไทรล์ (เอเอสเอ) 75
อะคริโลไนไทรล์ 76
อะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (เอบีเอส) 76
อะโครลีน 74
อะเซทิลีน 74
อะเซทิลีนิก 74
อะดิโพไนไทรล์ 79
อะมิโนเบนซีน 88
อาการเรื้อรัง 408
อากาศส่วนเกิน 412
อาชีวอนามัย 379
อาชีวะอนามัย 379
อิพอกซี 153

อิพอกซีเรซิน (อีพี) 153
อิพ็อกไซด์ 152
อิลาสโตเมอร์เทอร์มอพลาสติกเชิงวิศวกรรม (อีทีอีเอส) 150
อีเทน 154
อุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว 305
อุณหภูมิหลอม 309
อุณหภูมิเหนี่ยวนำการเกิดออกซิเดชัน (โอไอที) 315
อุบัติการณ์ 393
อุบัติเหตุ 382
อุปกรณ์กันระเบิด 338
อุปกรณ์เก็บไอระเหย 421
อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (พีพีอี) 396
อุปกรณ์ชี้บอกระดับในถังเก็บ 346
อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (พีพีอี) 396
อุปกรณ์ส่งผ่านข้อมูลจากการวัดค่าได้ 362
อุปกรณ์หล่อเย็นก๊าซ 411
เอกสารขนส่งสินค้า (บีแอล) 329
เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสาร (เอ็มเอสดีเอส) 378
เอซีโอโทรป 93
เอโซบิสไอโซบิวทิโรไนไทรล์ (เอไอบีเอ็น) 95
เอทิลเซลลูโลส (อีซี) 157
เอทิลเบนซีน 155
เอทิลอะคริเลต 155
เอทิลแอซีเทต (อีเอ) 154
เอทิลแอลดีไฮด์ 155
เอทิลีน 157
เอทิลีนไกลคอล (อีจี) 160
เอทิลีนคลอโรไฮดริน 158
เอทิลีนไดคลอไรด์ (อีดีซี) 159
เอทิลีนโพรพิลีนไดอีนเทอร์พอลิเมอร์ 162
เอทิลีนออกไซด์ (อีโอ) 161
เอพิคลอโรไฮดริน 151
เอมีน 86
เออร์โกโนมิกส์ 372
แอกทิเวเตดสลัดจ์ (เอเอส) 404
แอซีโทไนไทรล์ 73
แอซีติกแอนไฮไดรด์ 72
แอซีทัลดีไฮด์ 72
แอซีโทน 73
แอนทราควิโนน 90
แอนิลีน 88
แอมมอกซิเดชัน 88
แอมโมเนีย 86
แอมโมเนียมซัลเฟต 87
แอมโมโนไลซิส 88
แอรามิด 91
แอโรซอล 368
แอโรแมติกไนลอน 91
แอโรแมติกพอลิเอไมด์ 91
แอโรแมติกส์ 91
แอลคอลคอนเดนเซชั่น 81
แอลคิลเบนซีน 84
แอลคิลเบนซีนชนิดโซ่ตรง (แอลเอบี) 189
แอลคิลเบนซีนซัลโฟเนต 83
แอลคิลเบนซีนซัลโฟเนตชนิดโซ่ตรง (แอลเอเอส) 190
แอลคิลฟีนอล 84
แอลคีน 83
แอลเคน 82
แอลไคน์ 84
แอลดอลคอนเดนเซชัน 79
แอลฟาเมทิลสไตรีน (เอเอ็มเอส) 68
แอลฟาโอเลฟิน 85
แอลิไซคลิกส์ 82
แอลิเฟทิกส์ 82
โอโซน 418
โอโซนระดับพื้นดิน 415
โอเลฟิน 208
โอเลฟินนิกทีพีอี (ทีพีโอ) 276
ไอโซไซยาเนต 186
ไอโซบิวทีน 184
ไอโซบิวทิลีน 184
ไอโซบิวทิลีนไกลคอล 184
ไอโซบิวทิลีนออกไซด์ 185
ไอโซบิวเทน 182
ไอโซพาราฟิน 187
ไอโซโพรพิลเบนซีน 132
ไอโซเมอไรเซชัน 186
ไอออนอเมอร์ 182

**ฮ**

เฮเทอโรไซคลิกส์ 173
ไฮดรอไลซีส 178
ไฮโดรคลอริเนชัน 176
ไฮโดรควิโนน 178
ไฮโดรคาร์บอนชนิดแอลิเฟทิก 82
ไฮโดรคาร์บอนชนิดแอลิไซคลิก 82
ไฮโดรจีเนชัน 177
ไฮโดรจิโนไลซิส 177
ไฮโดรดีแอลคิเลชัน 176
ไฮโดรฟอร์มิลเลชัน 176
ไฮโดรไอโซเมอไรเซชัน 178
ไฮโดรแฮโลจีเนชัน 177



# สารานุกรมเปิดโลกปิโตรเคมี
# Petrochemical Encyclopedia