



# เคมี

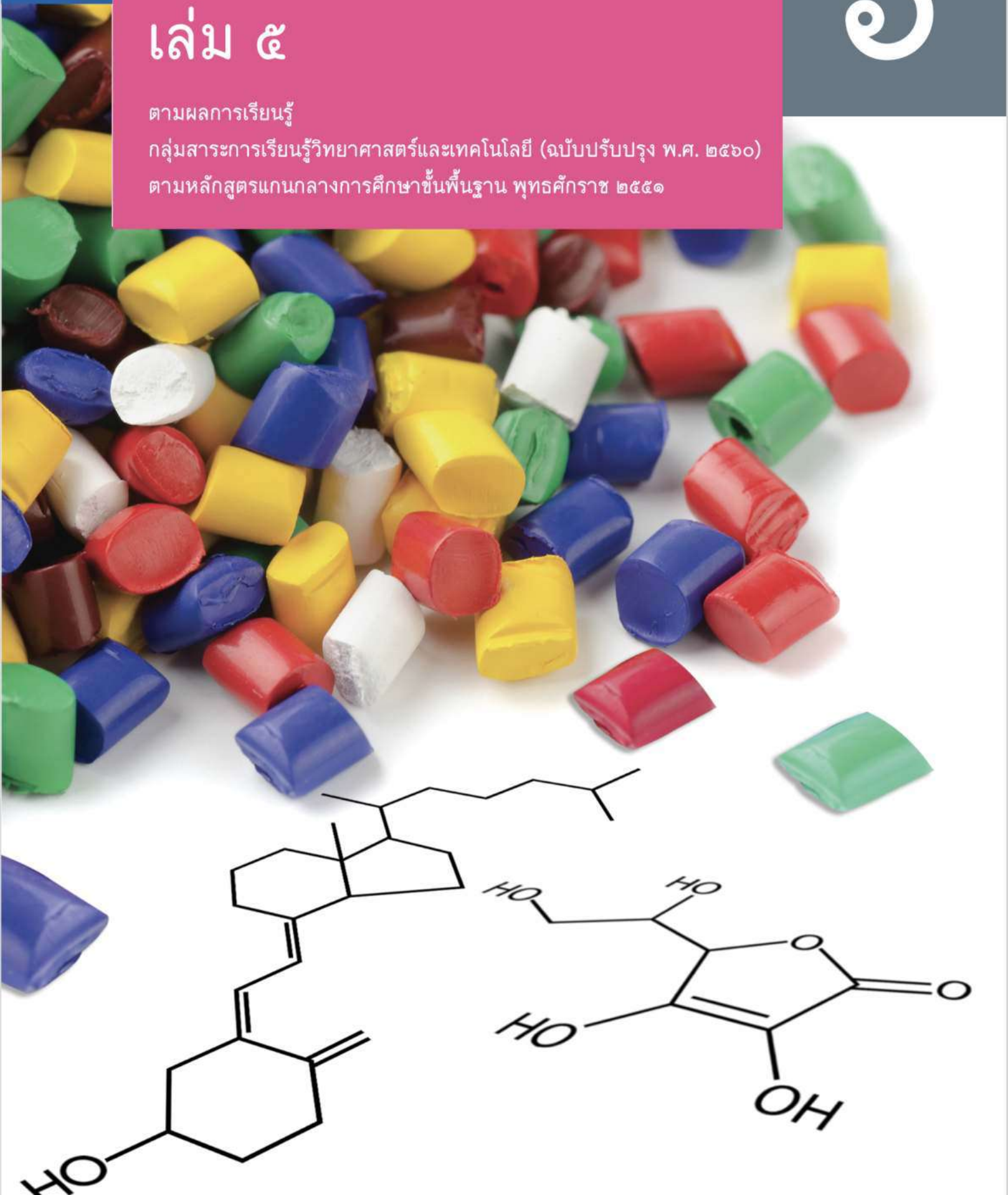
## เล่ม ๕

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

๖



# ตารางธาตุ

1 IA

18

VIIIA

1 H hydrogen 1.01	2 He helium 4.00												
3 Li lithium 6.94	4 Be beryllium 9.01												
11 Na sodium 22.99	12 Mg magnesium 24.30												
19 K potassium 39.10	20 Ca calcium 40.08												
37 Rb rubidium 85.47	38 Sr strontium 87.62												
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33												
87 Fr francium	88 Ra radium												
		3 III B	4 IV B	5 V B	6 VI B	7 VII B	8 VIII B	9 VIII B	10 VIII B	11 IB	12 IIB		
		13 Al aluminum 26.98	14 Si silicon 28.08	15 P phosphorus 30.97	16 S sulfur 32.06	17 Cl chlorine 35.45	18 Ar argon 39.95						
		31 Ga gallium 69.72	32 Ge germanium 72.63	33 As arsenic 74.92	34 Se selenium 78.97	35 Br bromine 79.90	36 Kr krypton 83.80						
		49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimony 121.76	52 Te tellurium 127.60	53 I iodine 126.90	54 Xe xenon 131.29						
		81 Tl thallium 204.38	82 Pb lead 207.20	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon						
		113 Nh nihonium	114 Fl flerovium	115 Mc moscovium	116 Lv livermorium	117 Ts tennessine	118 Og oganeson						

โลหะ    โลหะ    กึ่งโลหะ

<b>กลุ่มธาตุ</b>	<b>*แลนทานอยด์</b>	<b>กลุ่มธาตุ</b>	<b>**แอกทิโนอยด์</b>
57 La lanthanum 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodymium 140.91	60 Nd neodymium 144.24
89 Ac actinium	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium 231.04	92 U uranium 238.03
61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.36	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25
65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erbium 167.26
71 Lu lutetium 174.97	70 Yb ytterbium 173.05	69 Tm thulium 168.93	68 Er erbium 167.26
103 Lr lawrencium	102 No nobelium	101 Md mendelevium	100 Fm fermium
118 Og oganeson	117 Ts tennessine	116 Lv livermorium	115 Mc moscovium
86 Rn radon	85 At astatine	84 Po polonium	83 Bi bismuth 208.98
54 Xe xenon 131.29	53 I iodine 126.90	52 Te tellurium 127.60	51 Sb antimony 121.76
36 Kr krypton 83.80	35 Br bromine 79.90	34 Se selenium 78.97	33 As arsenic 74.92
18 Ar argon 39.95	17 Cl chlorine 35.45	16 S sulfur 32.06	15 P phosphorus 30.97
10 Ne neon 20.18	9 F fluorine 19.00	8 O oxygen 16.00	7 N nitrogen 14.01
4 Be beryllium 9.01	3 Li lithium 6.94	2 He helium 4.00	1 H hydrogen 1.01



หนังสือเรียน

---

# รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

---

## เคมี

ชั้น

---

## มัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕

ตามผลการเรียนรู้  
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)  
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

จัดทำเป็นฉบับ e-book ครั้งที่ ๑ พ.ศ. ๒๕๖๓

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

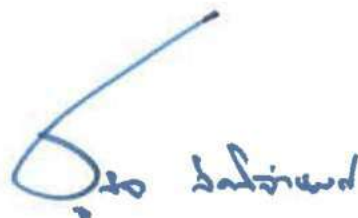
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนฉบับ e-book นี้ขึ้น โดยมีเนื้อหาเช่นเดียวกับหนังสือเรียน สสวท. ฉบับสิ่งพิมพ์ที่ได้จัดทำตาม มาตรฐานหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ทุกประการ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเข้าถึงหนังสือเรียน สสวท. ผ่านเทคโนโลยี ดิจิทัลเพื่อให้นักเรียน ครู ผู้ปกครอง นักวิชาการ และ ผู้สนใจทั่วไปเข้าถึงได้ง่ายและสะดวก รวดเร็ว รวมทั้งสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับจุดประสงค์ต่างๆ ทั้งนี้ สสวท. ขอสงวน สิทธิในหนังสือเรียนฉบับ e-book นี้ตามกฎหมายลิขสิทธิ์ ห้ามผู้ใดทำซ้ำ คัดลอก ดัดแปลง เลียนแบบ จำหน่าย หรือ เผยแพร่โดยมิได้รับอนุญาต

# คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๑ – เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้วจะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ ได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๕ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วยเรื่อง เคมีอินทรีย์ และพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบันและสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๕ นี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง



(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
กระทรวงศึกษาธิการ

## ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญ และเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน จะช่วยให้ผู้เรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

### คำถามสำคัญ



คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

### จุดประสงค์การเรียนรู้



เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

### ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน



ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งนักเรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหา นั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท

### ชวนคิด



คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา

### ตรวจสอบความเข้าใจ



คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง

### แบบฝึกหัด



คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยเสริมให้เกิดทักษะและความรู้ในบทเรียน ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบความเข้าใจของเนื้อหาและฝึกฝนตนเองให้มีทักษะที่จำเป็นตามจุดประสงค์การเรียนรู้ได้

## ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

### กิจกรรม



การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

### ความรู้เพิ่มเติม



ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้ นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

### รู้หรือไม่



ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

### เชื่อมโยงชีวิตประจำวัน



เนื้อหาที่แสดงความเชื่อมโยงของความรู้ในบทเรียนกับความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ความรู้ในชีวิตประจำวัน หรือความรู้ที่ใช้ในอาชีพต่าง ๆ

### ศัพท์น่ารู้



ความหมายของคำศัพท์ต่าง ๆ ที่เพิ่มเติม และสอดคล้องกับเนื้อหาภายในบทเรียน

### สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน



การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

### แบบฝึกหัดท้ายบท



คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งนักเรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้

12



เคมีอินทรีย์

<b>บทที่ 12</b> เคมีอินทรีย์	1
12.1 พันธะของคาร์บอนในสารประกอบอินทรีย์	4
12.2 สูตรโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์	7
12.3 หมู่ฟังก์ชัน	15
12.4 ชื่อของสารประกอบอินทรีย์	22
12.5 ไอโซเมอร์	34
12.6 สมบัติของสารประกอบอินทรีย์	40
12.7 ปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบอินทรีย์	54
12.8 สารประกอบอินทรีย์ในชีวิตประจำวันและ การนำไปใช้ประโยชน์	74
แบบฝึกหัดท้ายบท	81

13



พอลิเมอร์

<b>บทที่ 13</b> พอลิเมอร์	84
13.1 พอลิเมอร์และมอนอเมอร์	87
13.2 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์	89
13.3 โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์	99
13.4 การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์	107
13.5 การแก้ปัญหาขยะจากพอลิเมอร์	122
แบบฝึกหัดท้ายบท	126



## สารบัญ

### ภาคผนวก

คำศัพท์ในหนังสือเรียน เคมี เล่ม 5	133
ชื่อธาตุ	136
บรรณานุกรม	139
ที่มาของรูป	141
คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	142



บทที่

| เคมีอินทรีย์



12

[ipst.me/10768](http://ipst.me/10768)

สารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบของคาร์บอนซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในสิ่งมีชีวิต และนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรม เช่น อาหาร ยา วัคซีน น้ำมันเชื้อเพลิง พลาสติก เครื่องสำอาง



### คำถามสำคัญ

1. สารประกอบอินทรีย์มีธาตุองค์ประกอบและโครงสร้างอย่างไร
2. สารประกอบอินทรีย์มีสมบัติทางกายภาพและเคมีอย่างไร
3. สารประกอบอินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างไร



### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการเกิดพันธะเคมีของคาร์บอนในสารประกอบอินทรีย์
2. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ที่มีพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสาม ที่พบในชีวิตประจำวัน
3. เขียนสูตรโมเลกุล สูตรโครงสร้างลิวอิส สูตรโครงสร้างแบบย่อ และสูตรโครงสร้างแบบเส้นพันธะของสารประกอบอินทรีย์
4. วิเคราะห์โครงสร้างและระบุประเภทของสารประกอบอินทรีย์จากหมู่ฟังก์ชัน
5. เขียนสูตรโครงสร้างและเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ ที่มีหมู่ฟังก์ชันไม่เกิน 1 หมู่ ตามระบบ IUPAC
6. เขียนไอโซเมอร์โครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ
7. วิเคราะห์และเปรียบเทียบจุดเดือดและการละลายในน้ำของสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน ขนาดโมเลกุล หรือโครงสร้างต่างกัน
8. ระบุประเภทของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ ปฏิกิริยากับโบรมีน หรือปฏิกิริยากับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และเขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
9. เขียนสมการเคมีและอธิบายการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอไมด์ ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส และปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน
10. ทดสอบปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส และปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน
11. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการนำสารประกอบอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรม



### ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

1. เขียนโครงสร้างลิวอิสแบบเส้นของสารต่อไปนี้
  - 1.1  $\text{CH}_4$
  - 1.2  $\text{CO}_2$
  - 1.3  $\text{HCN}$
  - 1.4  $\text{CH}_5\text{N}$
  - 1.5  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$
  
2. ใส่เครื่องหมาย  $\checkmark$  หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย  $\times$  หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง
  - .....2.1  $\text{H}_2\text{O}$   $\text{Cl}_2$  และ  $\text{NH}_4^+$  เป็นสารที่มีพันธะโคเวเลนต์ยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม
  - .....2.2  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสาร
  - .....2.3  $\text{CH}_3\text{OH}$  มีจุดเดือดสูงกว่า  $\text{CH}_3\text{CH}_3$
  - .....2.4  $\text{CCl}_4$  เป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว
  - .....2.5  $\text{CH}_3\text{COOH}$  มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นพันธะไฮโดรเจนเท่านั้น
  - .....2.6  $\text{CH}_3\text{Br}$  มีจุดเดือดสูงกว่า  $\text{CH}_3\text{Cl}$  เพราะ  $\text{CH}_3\text{Br}$  เป็นโมเลกุลที่มีขั้วมากกว่า  $\text{CH}_3\text{Cl}$
  
3. เขียนสมการเคมีที่ดุลแล้วของปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ )

ในชีวิตประจำวันเราเกี่ยวข้องกับ**สารประกอบอินทรีย์** (organic compound) หลากหลายชนิด ทั้งในอาหาร ยารักษาโรค เครื่องนุ่งห่ม เครื่องสำอาง พลาสติก ผงซักฟอก สบู่ น้ำมันเชื้อเพลิง รวมทั้งองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน DNA ในอดีตนักเคมีเคยเชื่อว่าสารประกอบอินทรีย์เป็นสารที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตเท่านั้น จนกระทั่งปี พ.ศ. 2371 (ค.ศ. 1828) ฟรีดริช เวอเลอร์<sup>1</sup> พบว่า การให้ความร้อนกับสารประกอบอินทรีย์แอมโมเนียมไซยาเนต ( $\text{NH}_4\text{OCN}$ ) ทำให้เกิดยูเรีย ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ได้ ความเชื่อที่ว่าสารประกอบอินทรีย์ได้จากสิ่งมีชีวิตเท่านั้นจึงไม่เป็นจริง ในปัจจุบันสารประกอบอินทรีย์หมายถึงสารที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ทั้งที่มาจากสิ่งมีชีวิตหรือสังเคราะห์ขึ้นก็ได้ เช่น มีเทน ( $\text{CH}_4$ ) น้ำตาลกลูโคส ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) ยาพาราเซตามอล ( $\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$ ) อย่างไรก็ตามสารประกอบของคาร์บอนบางชนิดไม่จัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) กรดคาร์บอนิก ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) หินปูน ( $\text{CaCO}_3$ )

สารประกอบอินทรีย์มีโครงสร้างและสมบัติที่หลากหลาย การศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบอินทรีย์เรียกว่า **เคมีอินทรีย์** (organic chemistry) ในระดับชั้นนี้จะได้ศึกษาโครงสร้าง ประเภท สมบัติทางกายภาพและเคมี ตัวอย่างการนำไปใช้ประโยชน์ และอันตรายของสารประกอบอินทรีย์บางชนิด

### 12.1 พันธะของคาร์บอนในสารประกอบอินทรีย์

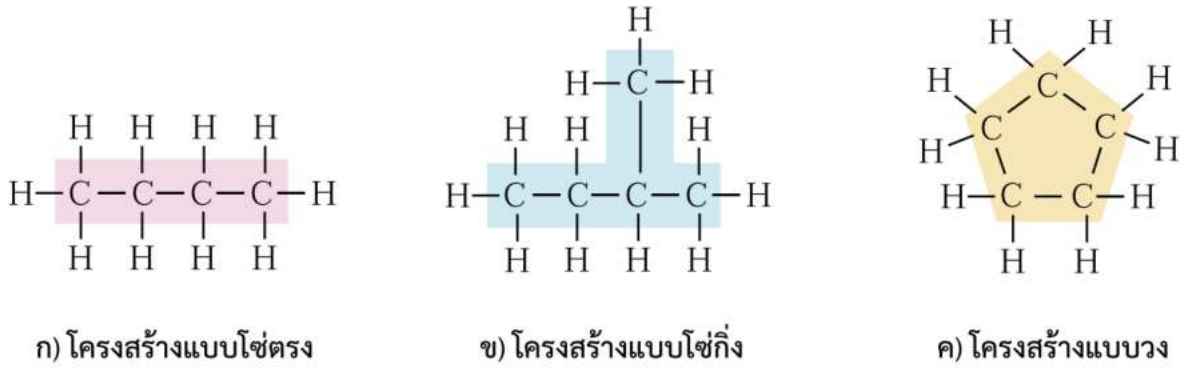
คาร์บอน (C) เป็นธาตุในหมู่ IVA (หมู่ 14) มี 4 เวเลนซ์อิเล็กตรอน โดยทั่วไปจึงเกิดพันธะโคเวเลนต์กับอะตอมข้างเคียง 4 พันธะเพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต พันธะโคเวเลนต์ที่เกิดขึ้นอาจเป็นพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสาม พันธะโคเวเลนต์ที่พบในสารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนด้วยกัน และคาร์บอนกับไฮโดรเจน นอกจากนี้อาจเกิดพันธะโคเวเลนต์กับธาตุชนิดอื่น เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน กำมะถัน ดังตัวอย่างในตาราง 12.1

<sup>1</sup>ฟรีดริช เวอเลอร์ (Friedrich Wöhler) นักเคมีชาวเยอรมัน ผู้สังเคราะห์ยูเรียซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์จากสารประกอบอินทรีย์

ตาราง 12.1 สูตรโครงสร้างลิวอิสของสารประกอบอินทรีย์บางชนิด

สูตรโครงสร้างลิวอิส	สูตรโมเลกุล	
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H} : \text{C} : \text{C} : \text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\text{C}_2\text{H}_6$
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} : : \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} = \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array}$	$\text{C}_2\text{H}_4$
$\text{H} : \text{C} : : \text{C} : \text{H}$	$\text{H}-\text{C} \equiv \text{C}-\text{H}$	$\text{C}_2\text{H}_2$
$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H} : \text{C} : \ddot{\text{O}} : \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\ddot{\text{O}}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\text{CH}_4\text{O}$
$\begin{array}{c} \text{H} : \text{O} : \\   \quad   \\ \text{H} : \text{C} : \text{C} : \ddot{\text{O}} : \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} : \text{O} : \\   \quad    \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\ddot{\text{O}}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$
$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H} : \text{C} : \ddot{\text{N}} : \text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\ddot{\text{N}}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\text{CH}_5\text{N}$
$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H} : \text{C} : \ddot{\text{Cl}} : \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\ddot{\text{Cl}} : \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\text{CH}_3\text{Cl}$
$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H} : \text{C} : \ddot{\text{S}} : \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\ddot{\text{S}}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\text{CH}_4\text{S}$

การเชื่อมต่อกันระหว่างอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ อาจมีลักษณะเป็น **โซ่ตรง** (straight chain) หรือเป็น **โซ่กิ่ง** (branched chain) หรือเป็น **วง** (cyclic) ดังรูป 12.1 โดยโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโซ่ตรงและโซ่กิ่งอาจเรียกรวม ๆ ว่าเป็นโครงสร้างแบบ **โซ่เปิด** (open chain)



รูป 12.1 สูตรโครงสร้างลิวอิสของสารประกอบอินทรีย์แบบต่าง ๆ

จากการที่อะตอมของคาร์บอนสามารถเกิดพันธะโคเวเลนต์กับอะตอมของคาร์บอนด้วยตัวเอง หรือกับธาตุอื่นด้วยรูปแบบพันธะและลักษณะการเชื่อมต่อที่หลากหลาย จึงทำให้สารประกอบอินทรีย์ที่พบในธรรมชาติและที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นมีจำนวนมากมาย และสารประกอบอินทรีย์เหล่านี้ก็มีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกัน มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันในหลายด้าน ดังจะได้ศึกษาจากกิจกรรม 12.1





## กิจกรรม 12.1 สืบค้นข้อมูลสารประกอบอินทรีย์ที่พบในชีวิตประจำวัน

### จุดประสงค์ของกิจกรรม

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ที่มีพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสาม ที่พบในชีวิตประจำวัน

### วิธีทำกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลสารประกอบอินทรีย์ที่พบในชีวิตประจำวันและการนำไปใช้ประโยชน์
2. แสดงโครงสร้าง และระบุพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสามของสารประกอบอินทรีย์ที่ได้จากการสืบค้นข้อมูล
3. ระบุส่วนของโครงสร้างที่เป็นโซ่เปิดหรือแบบวง
4. นำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่เหมาะสม

## 12.2 สูตรโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์

การใช้สูตรโครงสร้างลิวอิสที่แสดงเส้นพันธะอย่างเต็มรูปแบบตามตาราง 12.1 อาจไม่สะดวกสำหรับสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จึงมีการใช้สูตรโครงสร้างแบบย่อ (condensed structural formula) ที่ไม่แสดงพันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน ซึ่งอาจย่อได้หลายรูปแบบดังตัวอย่างในตาราง 12.2

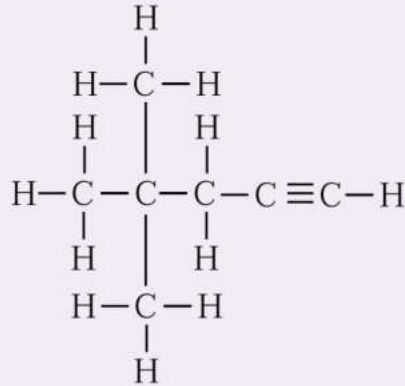
ตาราง 12.2 สูตรโครงสร้างแบบย่อของสารประกอบอินทรีย์บางชนิด

สูตรโครงสร้างลิวอิส	สูตรโครงสร้างแบบย่อ	สูตรโมเลกุล
$  \begin{array}{cccc}  \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\    &   &   &   \\  \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\    &   &   &   \\  \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H}  \end{array}  $	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ <hr/> $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	$\text{C}_4\text{H}_{10}$
$  \begin{array}{ccc}  & \text{H} & \\  &   & \\  \text{H}-\text{C}=\text{C}-\text{C}-\text{H} \\    &   &   \\  \text{H} & \text{H} & \text{H}  \end{array}  $	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$	$\text{C}_3\text{H}_6$
$  \begin{array}{ccc}  & \text{H} & \\  &   & \\  \text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}-\text{H} \\  & &   \\  & & \text{H}  \end{array}  $	$\text{CH}\equiv\text{CCH}_3$	$\text{C}_3\text{H}_4$
$  \begin{array}{ccc}  \text{H} & \text{H} & \\    &   & \\  \text{H}-\text{C}-\text{C}-\ddot{\text{O}}-\text{H} \\    &   & \\  \text{H} & \text{H} &  \end{array}  $	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$
$  \begin{array}{ccc}  \text{H} & \text{:O:} & \text{H} \\    &    &   \\  \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\    & &   \\  \text{H} & & \text{H}  \end{array}  $	$  \begin{array}{c}  \text{O} \\     \\  \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3  \end{array}  $ <hr/> $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ <hr/> $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$
$  \begin{array}{ccccccc}  & \text{H} & & & & & \\  &   & & & & & \\  & \text{H}-\text{C}-\text{H} & & & & & \\  &   & & & & & \\  \text{H} & \text{H} &   & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \\    &   &   &   &   &   & \\  \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\    &   &   &   &   &   & \\  \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} &  \end{array}  $	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ <hr/> $\text{CH}_3\overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ <hr/> $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	$\text{C}_7\text{H}_{16}$
$  \begin{array}{c}  \text{H} \\    \\  \text{H}-\text{C}-\text{H} \\  / \quad \backslash \\  \text{H}-\text{C} \quad \text{C}-\text{H} \\  / \quad \backslash \quad / \quad \backslash \\  \text{H}-\text{C}=\text{C} \quad \text{C}-\text{H} \\  / \quad \backslash \quad / \quad \backslash \\  \text{H}-\text{C} \quad \text{C}-\text{H} \\    \quad   \\  \text{H} \quad \text{H}  \end{array}  $	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_3 \\    \\  \text{HC}-\text{CH}-\text{CH}_2 \\     \quad   \\  \text{HC} \quad \text{CH}_2  \end{array}  $	$\text{C}_7\text{H}_{12}$



### ตรวจสอบความเข้าใจ

- เขียนสูตรโครงสร้างลิวอิสของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างแบบย่อเป็น  $\text{CH}_3\text{CH}=\text{C}(\text{CH}_3)_2$
- เขียนสูตรโครงสร้างแบบย่อของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างลิวอิสดังนี้



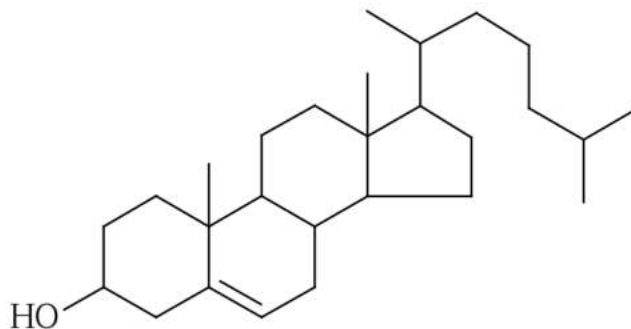
นอกจากนี้โครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์อาจแสดงด้วยสูตรโครงสร้างแบบเส้นพันธะ (bond-line structural formula) โดยใช้เส้นแสดงพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนและไม่แสดงสัญลักษณ์ของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน แต่จะแสดงสัญลักษณ์ของธาตุชนิดอื่น เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน ในกรณีที่อะตอมเหล่านี้มีไฮโดรเจนอยู่จะต้องแสดงไฮโดรเจนบนอะตอมดังกล่าวด้วย ดังนั้นที่ปลายเส้นและมุมของเส้นพันธะจึงเป็นตำแหน่งของคาร์บอน ดังตัวอย่างในตาราง 12.3



สูตรโครงสร้างลิวิส	สูตรโครงสร้างแบบย่อ	สูตรโครงสร้างแบบเส้นพันธะ
	$\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{C}(\text{CH}_2)_3\text{COOCH}_3$	
	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{NH}_2$	

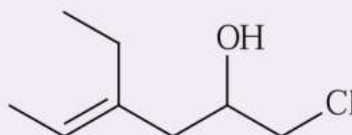
หมายเหตุ มุมระหว่างพันธะเดียวกับพันธะสามในสูตรโครงสร้างแบบเส้นพันธะ ให้เขียนเป็นเส้นตรงตามมุมพันธะจริง ( $180^\circ$ )

สูตรโครงสร้างแบบเส้นพันธะนี้พบได้บ่อยในการแสดงโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ที่โมเลกุลมีขนาดใหญ่หรือซับซ้อน เนื่องจากสามารถใช้แสดงโครงสร้างได้อย่างกระชับและชัดเจนกว่าสูตรโครงสร้างแบบอื่น ๆ เช่น โครงสร้างแบบเส้นพันธะของคอเลสเตอรอล



### ตรวจสอบความเข้าใจ


- เขียนสูตรโครงสร้างแบบเส้นพันธะของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างแบบย่อเป็น  $(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{CHCH}_2\text{CH}_3$  และ  $\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_2\text{CHO}$
- เขียนสูตรโครงสร้างแบบย่อและสูตรโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างแบบเส้นพันธะดังนี้



สูตรโครงสร้างแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมา เป็นการแสดงการเชื่อมต่อกันของอะตอมในโมเลกุลด้วยรูป 2 มิติ แต่เนื่องจากการศึกษาหรือการอธิบายเกี่ยวกับสมบัติบางประการของสารประกอบอินทรีย์จำเป็นต้องทราบรูปร่างโมเลกุลหรือตำแหน่งของอะตอมใน 3 มิติ ซึ่งต้องใช้แบบจำลองโมเลกุลดังตัวอย่างในตาราง 12.4

ตาราง 12.4 แบบจำลองโมเลกุล 3 มิติของสารประกอบอินทรีย์บางชนิด

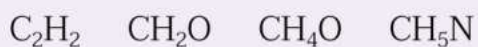
สูตรโครงสร้างแบบย่อ	สูตรโครงสร้างลิวอิส	แบบจำลองโมเลกุล 3 มิติ
$\text{CH}_4$	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	
$\text{CH}_3\text{CH}_3$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	
$\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_3$	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \quad   \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	
$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array}$	
$\text{CH} \equiv \text{CH}$	$\text{H}-\text{C} \equiv \text{C}-\text{H}$	
$\begin{array}{c} \text{HC}=\text{CH} \\   \quad   \\ \text{HC}=\text{CH} \\   \quad   \\ \text{HC}=\text{CH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H}-\text{C} \quad \text{C}-\text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array}$	

สูตรโครงสร้างแบบย่อ	สูตรโครงสร้างลิวอิส	แบบจำลองโมเลกุล 3 มิติ
$\text{CH}_3\text{COOH}$	$  \begin{array}{c}  \text{H} \quad \text{:O:} \\    \quad \parallel \\  \text{H}-\text{C}-\text{C}-\ddot{\text{O}}-\text{H} \\    \\  \text{H}  \end{array}  $	
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	$  \begin{array}{c}  \quad \quad \text{:O:} \\  \quad \quad \parallel \\  \text{H}-\ddot{\text{N}}-\text{C}-\ddot{\text{N}}-\text{H} \\    \quad \quad   \\  \text{H} \quad \quad \text{H}  \end{array}  $	



## แบบฝึกหัด 12.1

1. จากสูตรโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์



ตอบคำถามต่อไปนี้

- 1.1 เขียนสูตรโครงสร้างลิวอิส
- 1.2 สูตรโมเลกุลใดที่มีพันธะคูในโมเลกุล
- 1.3 สูตรโมเลกุลใดที่มีพันธะสามในโมเลกุล
- 1.4 เขียนสูตรโครงสร้างแบบย่อ
- 1.5 เขียนสูตรโครงสร้างแบบเส้นพันธะ พร้อมทั้งให้เหตุผลว่าสูตรโครงสร้างแบบเส้นพันธะนี้เหมาะสมสำหรับการแสดงโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ขนาดเล็กหรือไม่ อย่างไร

2. เติมข้อมูลในตารางต่อไปนี้ให้สมบูรณ์

ข้อ	สูตรโครงสร้าง ลิวิส	สูตรโครงสร้าง แบบเส้นพันธะ	สูตรโครงสร้างแบบย่อ	สูตรโมเลกุล
2.1				
2.2			$\text{CH}_3\text{CHCl}_2$	
2.3	$  \begin{array}{cccccc}  \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\    &   &   &   &   &   \\  \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\    &   &   &   &   &   \\  \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H}  \end{array}  $			
2.4			$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$	
2.5				
2.6	$  \begin{array}{cccc}  \text{H} & \text{H} & \text{:O:} & \\    &   &    & \\  \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\    &   & & \cdot\cdot \\  \text{H} & \text{H} & & \text{O}  \end{array}  $			
2.7			$\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$	
2.8				
2.9	$  \begin{array}{c}  \text{H} & \text{H} \\  \diagdown & / \\  & \text{C} \\  // & \diagdown & / \\  \text{O} & & \text{N}-\text{H} \\  & \diagup & \diagdown \\  \text{H}-\text{C} & - & \text{C}-\text{H} \\    & &   \\  \text{H} & & \text{H}  \end{array}  $			
2.10			$\text{ClC} \equiv \text{CCH}(\text{CH}_3)\text{COCH}_3$	


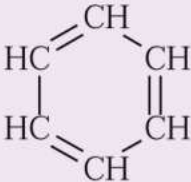


### 12.3 หมู่ฟังก์ชัน

การแบ่งประเภทของสารประกอบอินทรีย์สามารถแบ่งได้ตามหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ซึ่งเป็นส่วนของโครงสร้างที่แสดงสมบัติทางเคมีเฉพาะของสารประกอบอินทรีย์ประเภทนั้น ๆ

สารประกอบอินทรีย์ที่มีเฉพาะธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบเรียกว่า สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon compound) ซึ่งแบ่งประเภทตามหมู่ฟังก์ชันได้เป็น แอลเคน (alkane) แอลคีน (alkene) แอลไคน์ (alkyne) และแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon) โดยโมเลกุลของแอลเคนมีพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด แอลคีนมีพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอน แอลไคน์มีพันธะสามระหว่างอะตอมของคาร์บอน ส่วนแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนมีวงเบนซีนอยู่ในโครงสร้าง ดังตาราง 12.5

ตาราง 12.5 ประเภทและหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

ประเภทของสารประกอบ	สูตรทั่วไป	หมู่ฟังก์ชัน	ตัวอย่างสารประกอบ
แอลเคน (alkane)	$C_nH_{2n+2}$	$C - C$	$CH_3CH_3$
แอลคีน (alkene)	$C_nH_{2n}$	$C = C$	$CH_2 = CH_2$
แอลไคน์ (alkyne)	$C_nH_{2n-2}$	$C \equiv C$	$CH \equiv CH$
แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon)	-		

หมายเหตุ สัญลักษณ์  $n$  ในสูตรทั่วไป คือ จำนวนเต็ม 1, 2, 3, ...

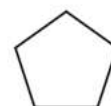
แอลเคนมีพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด จัดเป็น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (saturated hydrocarbon compound) ซึ่งนอกจากแอลเคนโซ่เปิดแล้ว แอลเคนแบบวงที่เรียกว่า **ไซโคลแอลเคน (cycloalkane)** ก็จัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวด้วยเช่นกัน ตัวอย่างไซโคลแอลเคนแสดงดังรูป 12.2



ไซโคลโพรเพน



ไซโคลบิวเทน



ไซโคลเพนเทน

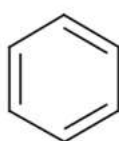
รูป 12.2 ไซโคลแอลเคนบางชนิด



### ชวนคิด

ไซโคลแอลเคนมีสูตรทั่วไปเหมือนหรือต่างจากแอลเคนโซ่เปิดอย่างไร

แอลคีนและแอลไคน์ มีพันธะคู่และพันธะสามระหว่างอะตอมของคาร์บอน ตามลำดับ จัดเป็น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon compound) สำหรับ แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนเป็นสารประกอบที่มีพันธะคู่จึงจัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวเช่นกัน และโครงสร้างที่มีพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวทำให้แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนมีอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่เกิดเรโซแนนซ์ ดังรูป 12.3

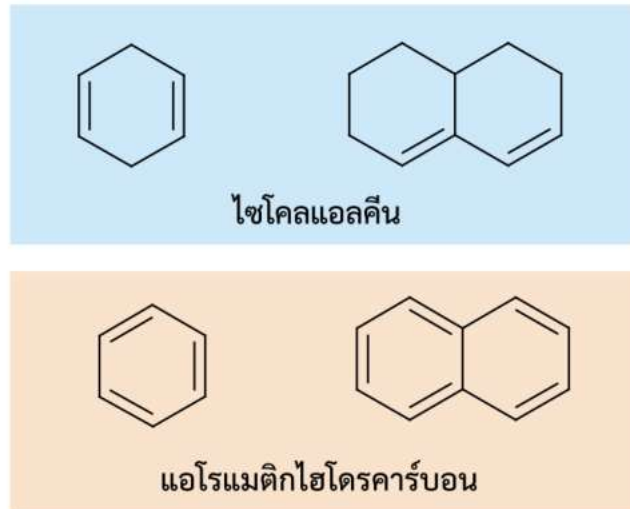


โครงสร้างเรโซแนนซ์

โครงสร้างเรโซแนนซ์ผสม

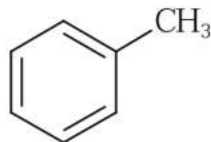
รูป 12.3 การเกิดเรโซแนนซ์ในวงเบนซีน

การเกิดเรโซแนนซ์ทำให้พันธะคู่ในวงเบนซีนมีความเสถียรเพิ่มขึ้นและไม่่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีเท่ากับพันธะคู่ของแอลคีน จึงทำให้สารประกอบแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนมีสมบัติทางเคมีหลายประการที่ต่างจากแอลคีนและไซโคลแอลคีนที่พันธะคู่และพันธะเดี่ยวไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่สลับกันทั่วทั้งวง ตัวอย่างดังรูป 12.4



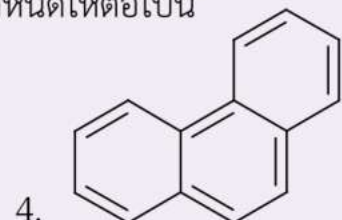
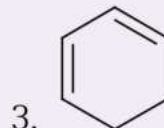
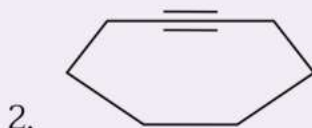
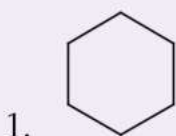
รูป 12.4 ไซโคลแอลคีนและแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนบางชนิด

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีวงเบนซีนเป็นองค์ประกอบ เรียกว่า **อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน** (aliphatic hydrocarbon) ซึ่งได้แก่ แอลเคน แอลคีน แอลไคน์ ไซโคลแอลเคน ไซโคลแอลคีน และไซโคลแอลไคน์ สำหรับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีวงเบนซีนถึงแม้ว่าจะมีส่วนของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบก็นิยมจัดเป็นแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน เช่น เมทิลเบนซีน (โทลูอีน)



### ตรวจสอบความเข้าใจ

ระบุประเภทและหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่กำหนดให้ต่อไปนี้



สารประกอบอินทรีย์หลายชนิดนอกจากมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบแล้ว ยังมีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบด้วย เช่น สารประกอบประเภทแอลกอฮอล์ อีเทอร์ แอลดีไฮด์ คีโตน กรดคาร์บอกซิลิก เอสเทอร์ สารประกอบอินทรีย์เหล่านี้มีหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกัน ดังตาราง 12.6

ตาราง 12.6 ประเภทและหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ

ประเภทของสารประกอบ	สูตรทั่วไป	หมู่ฟังก์ชัน	ตัวอย่างสารประกอบ
แอลกอฮอล์ (alcohol)	ROH	—O—H	CH <sub>3</sub> OH
อีเทอร์ (ether)	ROR'	—O—	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCH <sub>3</sub>
แอลดีไฮด์ (aldehyde)	RCHO	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{H} \end{array}$	CH <sub>3</sub> CHO
คีโตน (ketone)	RCOR'	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}- \end{array}$	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>
กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid)	RCOOH	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{O}-\text{H} \end{array}$	CH <sub>3</sub> COOH
เอสเทอร์ (ester)	RCOOR'	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{O}- \end{array}$	CH <sub>3</sub> COOCH <sub>3</sub>

จากตาราง 12.6 จะเห็นว่า สารแต่ละประเภทมีโมเลกุลที่ประกอบด้วยส่วนของหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน และส่วนของไฮโดรคาร์บอนที่แทนด้วย R หรือ R' ซึ่งหมายถึง **หมู่แอลคิล** (alkyl group) ที่เป็นส่วนของไฮโดรคาร์บอนที่มีไฮโดรเจนหายไป 1 อะตอม เช่น —CH<sub>3</sub> (methyl) —CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub> (ethyl) โดย R และ R' อาจเหมือนหรือต่างกันได้ นอกจากนี้ในส่วนของไฮโดรคาร์บอนที่มาจากแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนซึ่งเรียกว่า **หมู่แอริล** (aryl group) อาจแทน R ด้วยสัญลักษณ์ Ar เช่น —C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> (phenyl)



### ตรวจสอบความเข้าใจ

ระบุประเภทและหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ที่กำหนดให้ต่อไปนี้

1. CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CHO
2. CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>OH
3. CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>COOH
4. CH<sub>3</sub>COOCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>
5. CH<sub>3</sub>CO(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>
6. CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>

สารประกอบอินทรีย์บางประเภทมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น เอมีน เอไมด์ ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันแสดงดังตาราง 12.7

ตาราง 12.7 ประเภทและหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

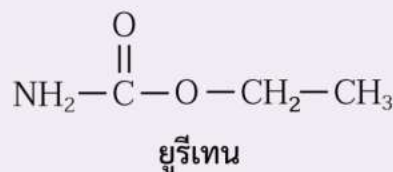
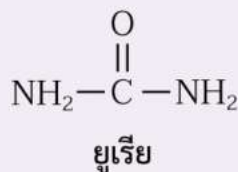
ประเภทของสารประกอบ	สูตรทั่วไป	หมู่ฟังก์ชัน	ตัวอย่างสารประกอบ
เอมีน (amine)	$\text{RNH}_2$	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ -\text{N}-\text{H} \end{array}$	$\text{CH}_3\text{NH}_2$
	$\text{RR}'\text{NH}$	$\begin{array}{c}   \\ -\text{N}-\text{H} \end{array}$	$\text{NH}(\text{CH}_3)_2$
	$\text{RR}'\text{R}''\text{N}$	$\begin{array}{c}   \\ -\text{N}- \end{array}$	$\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_3$
เอไมด์ (amide)	$\text{RCONH}_2$	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{H} \\    \quad   \\ -\text{C}-\text{N}-\text{H} \end{array}$	$\text{CH}_3\text{CONH}_2$
	$\text{RCONHR}'$	$\begin{array}{c} \text{O} \quad   \\    \quad   \\ -\text{C}-\text{N}-\text{H} \end{array}$	$\text{CH}_3\text{CONHC}_6\text{H}_5$
	$\text{RCONR}'\text{R}''$	$\begin{array}{c} \text{O} \quad   \\    \quad   \\ -\text{C}-\text{N}- \end{array}$	$\text{CH}_3\text{CON}(\text{CH}_3)_2$

จากตาราง 12.7 จะเห็นว่า สารประกอบเอมีนและเอไมด์อาจมีหมู่แอลคิลหรือหมู่แอริลแทนที่อะตอมของไฮโดรเจนที่อยู่บนไนโตรเจนได้



### ความรู้เพิ่มเติม

นอกจากเอมีนและเอไมด์แล้ว ยังมีสารประกอบอินทรีย์ชนิดอื่นที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น ยูเรีย ยูรีเทน (หรือคาร์บาเมต)

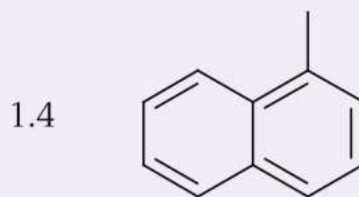
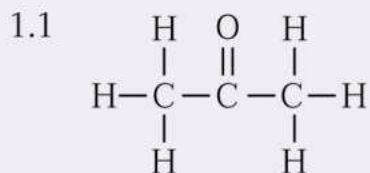


สารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ๆ อาจมีหมู่ฟังก์ชันได้มากกว่าหนึ่งหมู่ เช่น กรดแอมิโน วิตามิน คอเลสเตอรอล ซึ่งทำให้สารอินทรีย์เหล่านั้นแสดงสมบัติของหมู่ฟังก์ชันมากกว่าหนึ่งหมู่ด้วย



## แบบฝึกหัด 12.2

1. สารประกอบอินทรีย์ในข้อใดบ้างเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และระบุว่าเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทใด

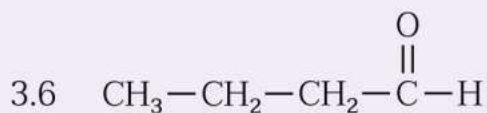
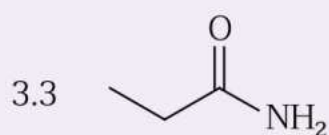
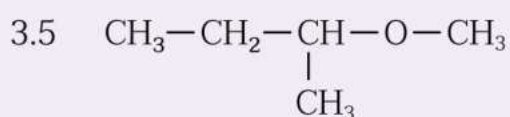
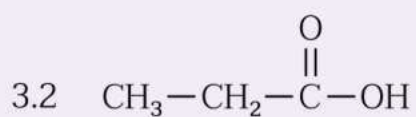
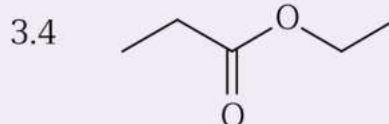


2. เติมข้อมูลในตารางต่อไปนี้ให้สมบูรณ์

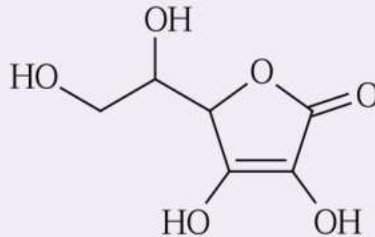
ข้อ	ประเภทของสารประกอบ	สูตรทั่วไป	หมู่ฟังก์ชัน
2.1			$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ -\text{N}-\text{H} \end{array}$
2.2		$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$	
2.3	แอลดีไฮด์ (aldehyde)		
2.4		$\text{ROR}'$	
2.5			$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C}- \end{array}$
2.6	แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon)	-	
2.7		$\text{RCONH}_2$	

ข้อ	ประเภทของสารประกอบ	สูตรทั่วไป	หมู่ฟังก์ชัน
2.8	แอลเคน (alkane)		
2.9		RCOOR'	
2.10	แอลกอฮอล์ (alcohol)		
2.11			C=C
2.12	กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid)		

3. วงกลมล้อมรอบหมู่ฟังก์ชัน (ยกเว้น C-C) และระบุประเภทของสารประกอบอินทรีย์ จากสูตรโครงสร้างที่กำหนดให้ต่อไปนี้



4. ระบุหมู่ฟังก์ชันและจำนวนของหมู่ฟังก์ชันนั้น (ยกเว้น C-C) จากสูตรโครงสร้างของวิตามินซีดังนี้



#### 12.4 ชื่อของสารประกอบอินทรีย์

ในอดีตนักเคมีนิยมเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ตามแหล่งที่พบ ลักษณะทางกายภาพ หรือชื่อผู้ค้นพบ ซึ่งชื่อเหล่านี้จัดเป็นชื่อสามัญของสาร และยังมีหลายชื่อที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น



แอซีโตน  
(acetone)



กรดฟอร์มิก  
(formic acid)



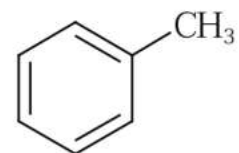
กรดแอซีติก  
(acetic acid)



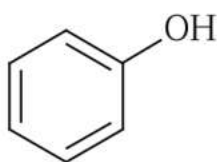
ไดเอทิลอีเทอร์  
(diethyl ether)



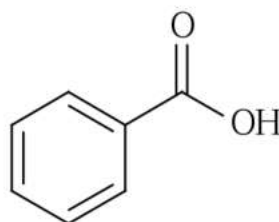
เอทิลแอลกอฮอล์  
(ethyl alcohol)



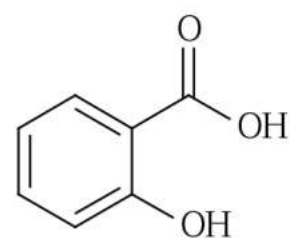
โทลูอีน  
(toluene)



ฟีนอล  
(phenol)



กรดเบนโซอิก  
(benzoic acid)



กรดซาลิซิลิก  
(salicylic acid)

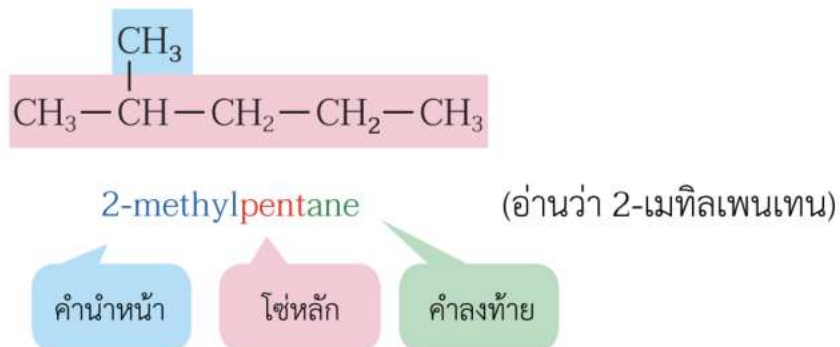


เมื่อมีการค้นพบสารประกอบอินทรีย์จำนวนมากขึ้น การใช้ชื่อสามัญไม่ครอบคลุมเพียงพอและอาจไม่สามารถทำให้เข้าใจตรงกันได้ IUPAC<sup>2</sup> จึงได้ตั้งข้อกำหนดในการเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ที่สัมพันธ์กับโครงสร้างของสารอย่างเป็นระบบ โดยมีการระบุจำนวนอะตอมของคาร์บอน หมู่ฟังก์ชัน จำนวนและตำแหน่งของหมู่ต่าง ๆ อย่างชัดเจน

ชื่อสารประกอบอินทรีย์ตามระบบ IUPAC แบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนคำลงท้าย โข่หลัก และ คำนำหน้า ซึ่งบ่งบอกลักษณะโครงสร้าง ดังนี้

คำนำหน้า (prefix)	โข่หลัก (main chain)	คำลงท้าย (suffix)
----------------------	-------------------------	----------------------

เช่น



<sup>2</sup>IUPAC ย่อมาจาก International Union of Pure and Applied Chemistry

**คำลงท้าย** คือตำแหน่งและหมู่ฟังก์ชันหลัก โดยใช้คำลงท้ายเสียงที่พ้องกับประเภทสารประกอบ ดังตาราง 12.8

ตาราง 12.8 คำลงท้ายของหมู่ฟังก์ชันหลักของสารประกอบอินทรีย์แต่ละประเภท

ประเภทของสารประกอบอินทรีย์	คำลงท้ายของหมู่ฟังก์ชันหลัก	การออกเสียงคำลงท้าย
<b>สารประกอบไฮโดรคาร์บอน</b>		
แอลเคน (alkane)	-ane	เอน
แอลคีน (alkene)	-ene	อิน
แอลไคน์ (alkyne)	-yne	ไอน์
แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon)	-	-
<b>สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ</b>		
แอลกอฮอล์ (alcohol)	-ol	อล
อีเทอร์ (ether)	-	-
แอลดีไฮด์ (aldehyde)	-al	าล
คีโตน (ketone)	-one	โอน
กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid)	-oic acid	โอยิก แอซิด
เอสเทอร์ (ester)	-oate	โอะเอต
<b>สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ</b>		
เอมีน (amine)	-amine	เอมีน
เอไมด์ (amide)	-amide	อาไมด์ หรือ เอไมด์



### ความรู้เพิ่มเติม

ในกรณีที่สารประกอบอินทรีย์มีจำนวนหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 ชนิด IUPAC ได้กำหนดลำดับความสำคัญของหมู่ฟังก์ชันเพื่อใช้ในการเลือกหมู่ฟังก์ชันหลักในการเรียกชื่อ แต่ในระดับชั้นนี้จะสนใจเฉพาะการเรียกชื่อของสารที่มีหมู่ฟังก์ชัน 1 หมู่เท่านั้น

**โซ่หลัก** คือสายคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนต่อกันยาวที่สุดและมีหมู่ฟังก์ชันหลักอยู่ เรียกชื่อตามจำนวนอะตอมของคาร์บอน โดยระบุจำนวนอะตอมของคาร์บอนด้วยคำในภาษากรีก ดังตาราง 12.9

ตาราง 12.9 ชื่อที่แสดงจำนวนอะตอมของคาร์บอน

จำนวนอะตอมของคาร์บอน	ชื่อ	การออกเสียง	จำนวนอะตอมของคาร์บอน	ชื่อ	การออกเสียง
1	meth-	เมท หรือ มีท	7	hept-	เซปท
2	eth-	เอท หรือ อีท	8	oct-	ออกท
3	prop-	โพรพ	9	non-	โนน
4	but-	บิวท	10	dec-	เดกค
5	pent-	เพนท	11	undec-	อันเดกค
6	hex-	เฮกซ	12	dodec-	โดเดกค

**คำนำหน้า** คือตำแหน่งและชื่อของหมู่ที่ไม่ใช่หมู่ฟังก์ชันหลัก หรือที่เรียกทั่วไปว่า หมู่แทนที่ เช่น หมู่แอลคิล การเรียกชื่อหมู่แอลคิลใช้หลักการเดียวกับชื่อที่แสดงจำนวนอะตอมของคาร์บอนในตาราง 12.9 แต่ลงท้ายเสียงเป็น -yl (อิล) เช่น methyl (เมทิล) ethyl (เอทิล) propyl (โพรพิล) นอกจากนี้ยังมีอะตอมของฮาโลเจนซึ่งแม้จะเป็นหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ แต่จัดให้เป็นหมู่แทนที่ในการเรียกชื่อโดยเปลี่ยนส่วนท้ายเสียงของชื่อธาตุจาก -ine (อิน) เป็น -o (โอ) ได้แก่

F เรียกว่า fluoro (ฟลูออโร)

Cl เรียกว่า chloro (คลอโร)

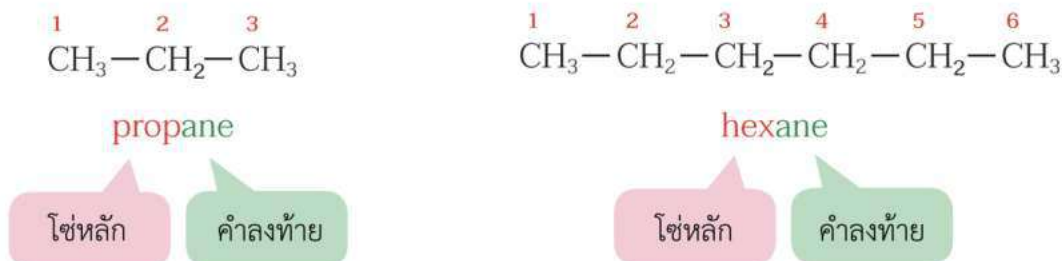
Br เรียกว่า bromo (โบรโม)

I เรียกว่า iodo (ไอโอโด)

IUPAC มีการทบทวนและปรับเปลี่ยนแก้ไขข้อกำหนดในการเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์เป็นระยะ ๆ โดยในหนังสือเล่มนี้ใช้ข้อกำหนดที่ประกาศเมื่อปี พ.ศ. 2556 (ค.ศ. 2013) ซึ่งในบทนี้ส่วนใหญ่จะเขียนชื่อเป็นภาษาอังกฤษ เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานร่วมกันในการแปลหรือเขียนเป็นภาษาไทย

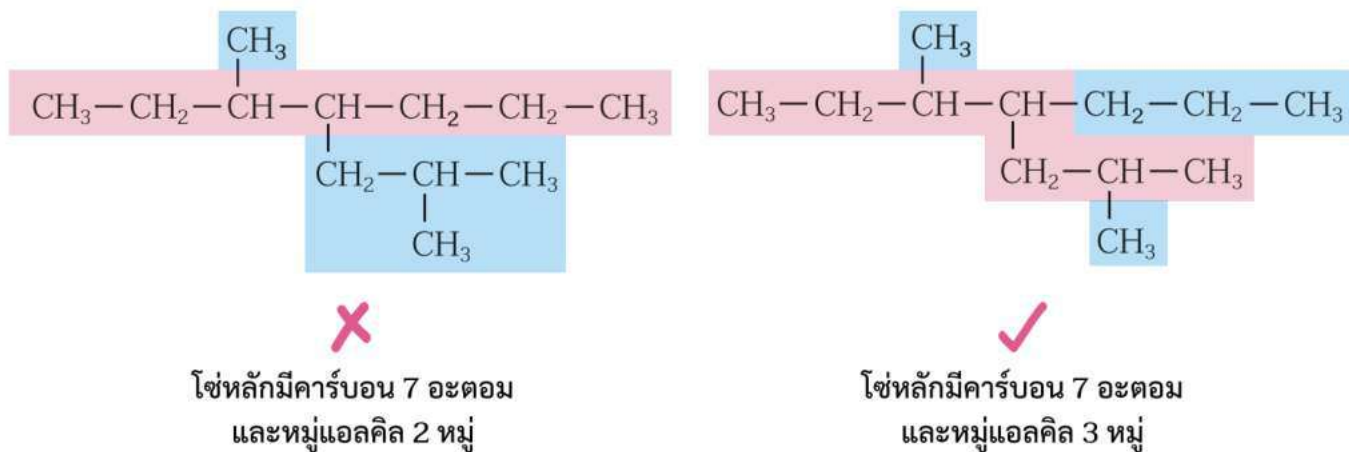
### 12.4.1 ชื่อของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

การเรียกชื่อแอลเคน เป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ประเภทอื่น ๆ โดยชื่อแอลเคนที่เป็นโซ่ตรง มีเพียง 2 ส่วน คือ โซ่หลักที่ระบุจำนวนอะตอมของคาร์บอน และคำลงท้ายเป็น -ane เช่น

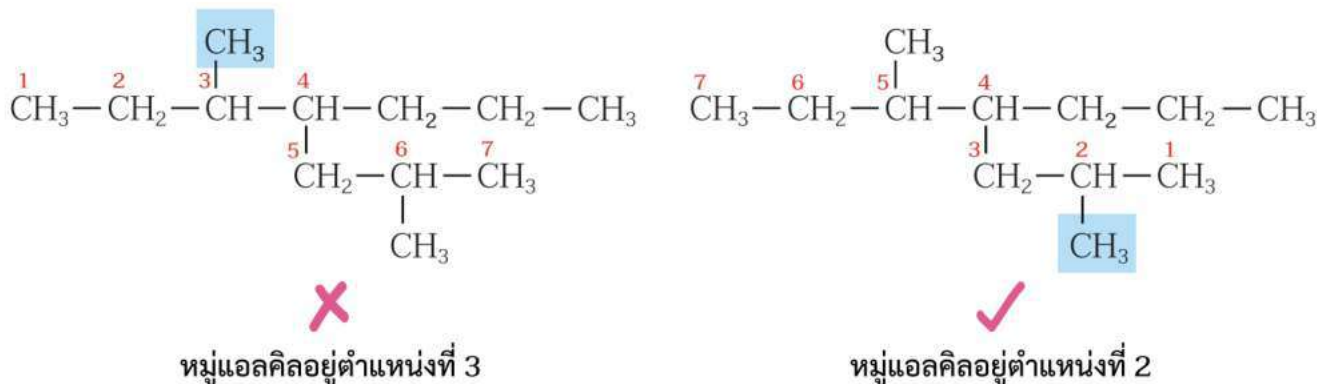


ชื่อแอลเคนที่เป็นโซ่กิ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ คำลงท้าย โซ่หลัก และคำนำหน้า โดยมีขั้นตอนการเรียกชื่อดังนี้

1. เลือกสายคาร์บอนที่ต่อกันยาวที่สุดเป็นโซ่หลัก ในกรณีที่มีสายคาร์บอนที่ยาวที่สุดมากกว่าหนึ่งแบบ ให้เลือกแบบที่มีหมู่แอลคิลต่ออยู่จำนวนมากที่สุดเป็นโซ่หลัก เช่น



2. กำหนดตัวเลขแสดงตำแหน่งของคาร์บอนในโซ่หลัก โดยเริ่มจากปลายด้านที่ทำให้หมู่แอลคิลอยู่บนตำแหน่งที่เป็นตัวเลขน้อยที่สุด เช่น



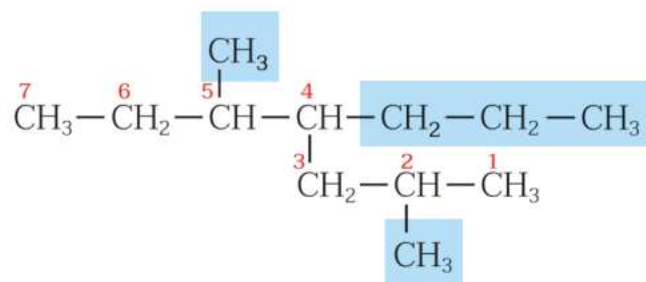
3. เรียกชื่อหมู่แอลคิลและระบุตำแหน่งของหมู่แอลคิลบนโซ่หลักด้วยตัวเลขไว้ด้านหน้าชื่อหมู่ หากมีหลายหมู่ให้เรียงลำดับตามตัวอักษรภาษาอังกฤษของชื่อหมู่ และถ้ามีหมู่ซ้ำกันให้ใช้คำนำหน้า ดังนี้

2 หมู่ ใช้คำว่า di (ได)

3 หมู่ ใช้คำว่า tri (ไตร)

4 หมู่ ใช้คำว่า tetra (เตตระ)

ใช้เครื่องหมายจุดภาค (,) คั่นระหว่างตัวเลขเมื่อระบุตำแหน่งของหมู่ซ้ำ และใช้เครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่นระหว่างตัวเลขและตัวอักษร เช่น



2,5-dimethyl-4-propylheptane

คำนำหน้า

โซ่หลัก

คำลงท้าย

การเรียกชื่อไซโคลแอลเคน (cycloalkane) ใช้หลักการเดียวกับแอลเคน โดยมีคำว่า cyclo (ไซโคล) นำหน้า เช่น



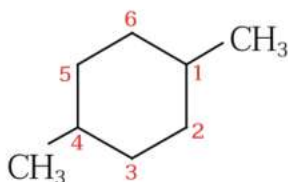
มีชื่อว่า

cyclobutane



มีชื่อว่า

cyclohexane

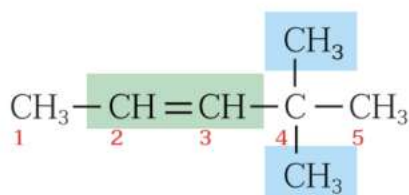


มีชื่อว่า

1,4-dimethylcyclohexane

**การเรียกชื่อแอลคีนและแอลไคน์** กำหนดตัวเลขแสดงตำแหน่งของคาร์บอนในโซ่หลัก โดยให้ตำแหน่งของพันธะคู่หรือพันธะสามมีตัวเลขน้อยที่สุด จากนั้นเรียกชื่อโซ่หลัก และระบุตำแหน่งของพันธะคู่หรือพันธะสาม ตามด้วยคำลงท้าย -ene สำหรับแอลคีน และ -yne สำหรับแอลไคน์ ในส่วนของคำนำหน้าให้ระบุตำแหน่งและชื่อของหมู่แทนที่ (ถ้ามี) เช่น

### แอลคีน



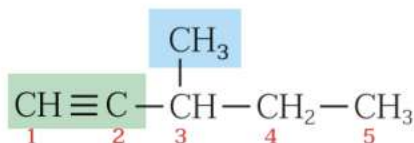
4,4-dimethylpent-2-ene

คำนำหน้า

โซ่หลัก

คำลงท้าย

### แอลไคน์



3-methylpent-1-yne

คำนำหน้า

โซ่หลัก

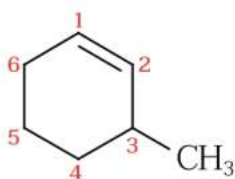
คำลงท้าย

การเรียกชื่อไซโคลแอลคีน (cycloalkene) และไซโคลแอลไคน์ (cycloalkyne) เรียกชื่อในทำนองเดียวกันกับไซโคลแอลเคน โดยถ้ามีหมู่แทนที่ให้ระบุตำแหน่งของทั้งพันธะคู่หรือพันธะสามและหมู่แทนที่ด้วย เช่น



มีชื่อว่า

cyclobutene



มีชื่อว่า

3-methylcyclohex-1-ene หรือ  
3-methylcyclohexene

มีชื่อว่า

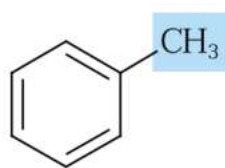
cyclooctyne

ชื่อของสารบางชนิดไม่ระบุตำแหน่งที่ 1 หากชื่อสารนั้นเขียนโครงสร้างได้เพียงแบบเดียว เช่น

cyclobut-1-ene	เรียกเป็น	cyclobutene
cyclooct-1-yne	เรียกเป็น	cyclooctyne
prop-1-ene	เรียกเป็น	propene

แต่ถ้าชื่อของสารนั้นสามารถเขียนโครงสร้างได้มากกว่าหนึ่งแบบ จะต้องระบุตำแหน่งด้วย เช่น hex-1-yne ไม่สามารถเรียกเป็น hexyne ได้ เนื่องจากตำแหน่งของพันธะสามอาจอยู่ที่ตำแหน่งที่ 2 หรือ 3 ก็ได้

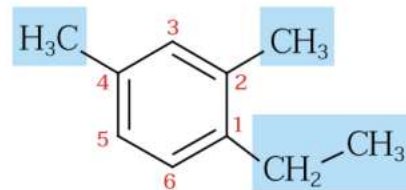
การเรียกชื่อแอลกอฮอล์ไฮโดรคาร์บอน กำหนดให้ benzene เป็นโครงสร้างหลัก และเรียกชื่อหมู่แทนที่ตามลำดับอักษรภาษาอังกฤษตัวแรกของหมู่นั้น โดยระบุตำแหน่งของหมู่แทนที่ให้เป็นตัวเลขน้อยที่สุด ตามหลักการเดียวกับแอลเคน เช่น



methylbenzene

คำนำหน้า

โซ่หลัก



1-ethyl-2,4-dimethylbenzene

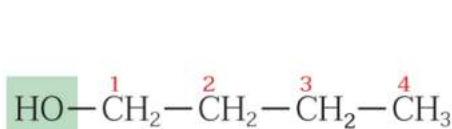
คำนำหน้า

โซ่หลัก

### 12.4.2 ชื่อของสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ

สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ มีหลักการเรียกชื่อเบื้องต้นเหมือนกับการเรียกชื่อสารประกอบไฮโดรคาร์บอน แต่เปลี่ยนท้ายชื่อตามชนิดของประเภทสาร ในระดับขั้นนี้จะไม่กล่าวถึงหมู่แทนที่ที่เป็นแอลเมติก และสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ โดยไม่รวมพันธะเดี่ยวของแอลเคน

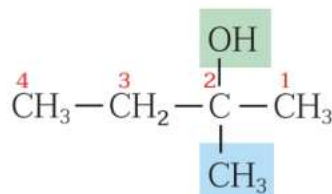
การเรียกชื่อแอลกอฮอล์ กำหนดตัวเลขแสดงตำแหน่งของคาร์บอนในโซ่หลัก โดยให้ตำแหน่งของคาร์บอนที่มีหมู่  $-OH$  เป็นตัวเลขน้อยที่สุด เรียกโซ่หลักด้วยชื่อของแอลเคน (-ane) แต่ตัดอักษรตัวท้ายของแอลเคน คือ e ออก จากนั้นระบุตำแหน่งของหมู่  $-OH$  ตามด้วยคำลงท้าย -ol ในส่วนของคำนำหน้าให้ระบุตำแหน่งและชื่อของหมู่แทนที่ (ถ้ามี) เช่น



butan-1-ol

โซ่หลัก

คำลงท้าย



2-methylbutan-2-ol

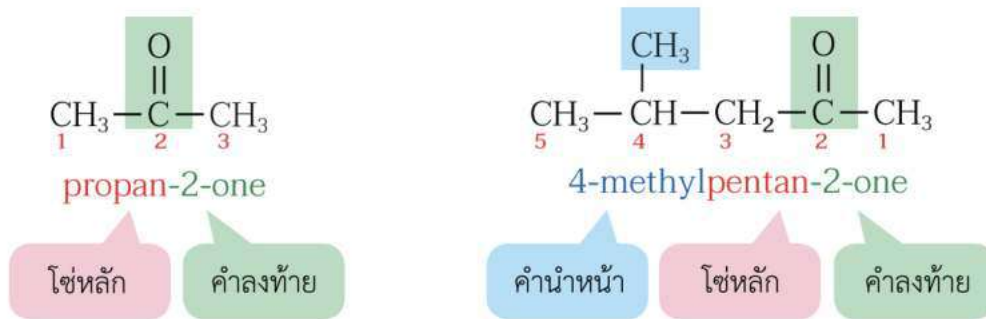
คำนำหน้า

โซ่หลัก

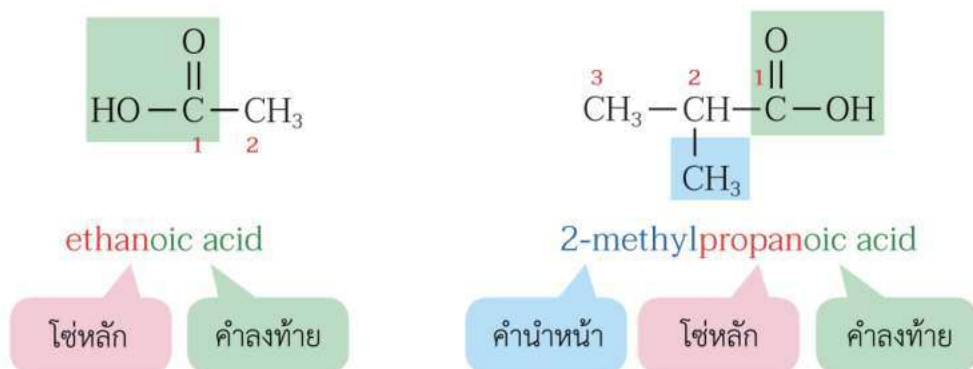
คำลงท้าย



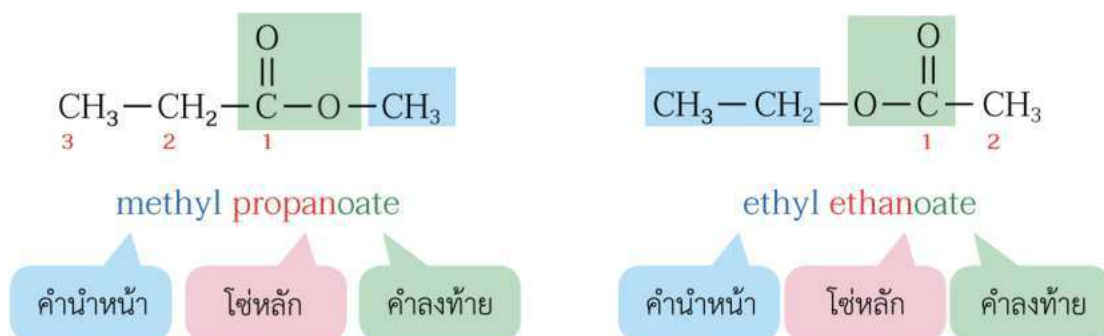




**การเรียกชื่อกรดคาร์บอกซิลิก** กำหนดให้คาร์บอนของ  $-\text{COOH}$  เป็นตำแหน่งที่ 1 และเรียกโซ่หลักด้วยชื่อของแอลเคน (-ane) แต่ตัดอักษรตัวท้ายของแอลเคน คือ e ออก แล้วลงท้ายด้วย -oic acid โดยไม่ต้องระบุตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน ในส่วนของคำนำหน้าให้ระบุตำแหน่งและชื่อของหมู่แทนที่ (ถ้ามี) เช่น



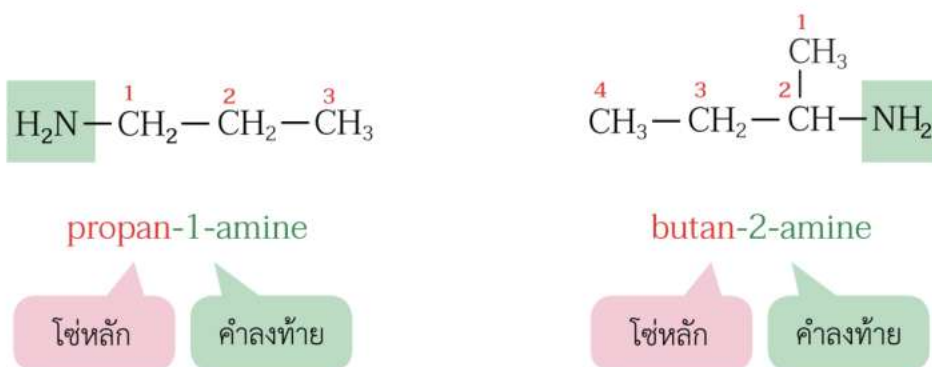
**การเรียกชื่อเอสเทอร์** เอสเทอร์มีสูตรทั่วไปเป็น  $\text{RCOOR}'$  ให้เรียกชื่อหมู่แทนที่  $\text{R}'$  ก่อน แล้วตามด้วยชื่อของส่วน  $\text{RCOO}$  โดยใช้ชื่อกรด  $\text{RCOOH}$  แต่เปลี่ยนคำลงท้ายจาก -oic acid เป็น -oate เช่น



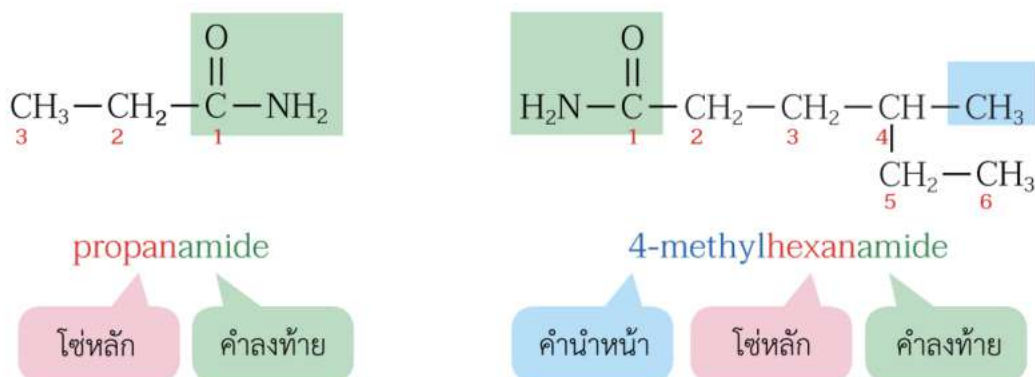
### 12.4.3 ชื่อของสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ มีหลักการเรียกชื่อคล้ายกับที่ได้กล่าวมาแล้วสำหรับสารประเภทอื่น ซึ่งในระดับขั้นนี้จะพิจารณาการเรียกชื่อเฉพาะเอมีนและเอไมด์ที่มีหมู่แทนที่บนไนโตรเจนเพียงหมู่เดียวเท่านั้น โดยมีตัวอย่างและรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

**การเรียกชื่อเอมีน** กำหนดตัวเลขแสดงตำแหน่งของคาร์บอนในโซ่หลัก โดยให้ตำแหน่งของคาร์บอนที่มีหมู่  $-NH_2$  เป็นตัวเลขน้อยที่สุด เรียกโซ่หลักด้วยชื่อของแอลเคน (-ane) แต่ตัดอักษรตัวท้ายของแอลเคน คือ e ออก จากนั้นระบุตำแหน่งของหมู่  $-NH_2$  ตามด้วยคำลงท้าย -amine เช่น



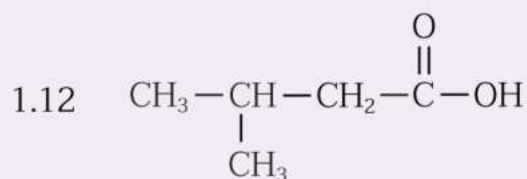
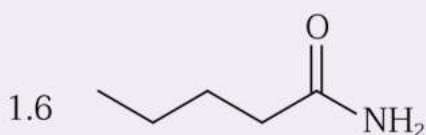
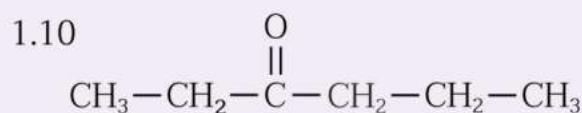
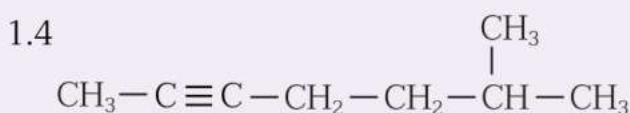
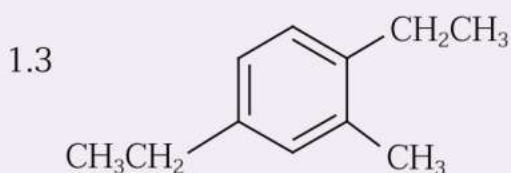
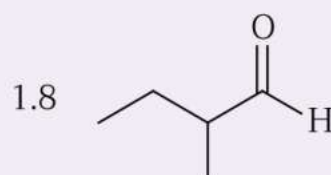
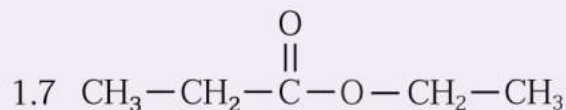
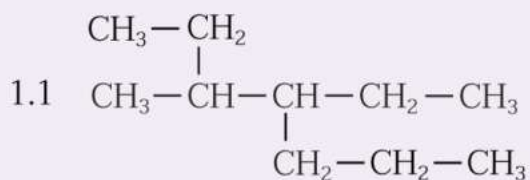
**การเรียกชื่อเอไมด์** กำหนดให้คาร์บอนของ  $-CONH_2$  เป็นตำแหน่งที่ 1 และเรียกโซ่หลักด้วยชื่อของแอลเคน (-ane) แต่ตัดอักษรตัวท้ายของแอลเคน คือ e ออก แล้วลงท้ายด้วย -amide โดยไม่ต้องระบุตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน ในส่วนของคำนำหน้าให้ระบุตำแหน่งและชื่อของหมู่แทนที่ (ถ้ามี) เช่น





## แบบฝึกหัด 12.3

1. เรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ตามระบบ IUPAC จากสูตรโครงสร้างที่กำหนดให้ต่อไปนี้



## 2. เขียนสูตรโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์จากชื่อที่กำหนดให้ต่อไปนี้

- |                     |                                  |
|---------------------|----------------------------------|
| 2.1 pent-2-ene      | 2.8 1-ethoxypentane              |
| 2.2 hexanamide      | 2.9 5-methylcyclonon-1-yne       |
| 2.3 butan-2-one     | 2.10 1-ethyl-2-methylbenzene     |
| 2.4 propan-1-ol     | 2.11 3,3-dimethylbutanoic acid   |
| 2.5 butan-1-amine   | 2.12 3-ethyl-2,4-dimethylhexane  |
| 2.6 ethyl butanoate | 2.13 1-ethyl-3-methylcyclooctane |
| 2.7 3-chlorobutanal |                                  |

## 3. สารแอโรแมติกบางชนิด เช่น กรดเบนโซอิก กรดซาลิซิลิก ฟีนอล ซึ่งเป็นชื่อสามัญที่ IUPAC ยอมรับให้ใช้ในการเรียกชื่อได้ จงเขียนโครงสร้างของสารประกอบเอสเทอร์ของสารที่กำหนดให้ต่อไปนี้

- 3.1 เมทิลเบนโซเอต (methyl benzoate)
- 3.2 เมทิลซาลิซิเลต (methyl salicylate)
- 3.3 ฟีนิลเอทานอเอต (phenyl ethanoate)

### 12.5 ไอโซเมอร์

ปรากฏการณ์ที่สารมีสูตรโมเลกุลเหมือนกันแต่มีสมบัติแตกต่างกันเรียกว่า **ไอโซเมอริซึม (isomerism)** โดยสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างต่างกันแต่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกัน เรียกว่า **ไอโซเมอร์ (isomer)** ไอโซเมอร์เป็นสารต่างชนิดกันและมีสมบัติต่างกัน ไอโซเมอร์อาจเกิดจากลำดับการต่อกันของอะตอมหรือลำดับการต่อกันของชนิดพันธะต่างกัน ไอโซเมอร์ประเภทนี้เรียกว่า **ไอโซเมอร์โครงร่าง (constitutional isomer)** หรือ **ไอโซเมอร์โครงสร้าง (structural isomer)**

ลำดับการต่อกันของอะตอมทำให้สารมีโครงสร้างโมเลกุลแตกต่างกันอย่างไร ศึกษาได้จากกิจกรรม 12.2



## กิจกรรม 12.2 การจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนในสารประกอบอินทรีย์

### จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. ต่อบนจำลองแสดงโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์แบบต่าง ๆ ตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนที่กำหนดให้
2. เขียนสูตรโครงสร้างของแต่ละไอโซเมอร์ และระบุจำนวนไอโซเมอร์
3. อธิบายผลของการจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนต่อโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์

### วัสดุและอุปกรณ์

1. แบบจำลองลูกกลมพลาสติกสีดำแบบเจาะ 4 รู (แทนอะตอมของคาร์บอน) จำนวน 5 ลูก
2. แบบจำลองลูกกลมพลาสติกสีขาวแบบเจาะ 1 รู (แทนอะตอมของไฮโดรเจน) จำนวน 12 ลูก
3. ก้านพลาสติก (แทนพันธะ) จำนวน 16 อัน

### วิธีทำกิจกรรม

1. นำลูกกลมพลาสติกสีดำจำนวน 5 ลูก มาต่อกันด้วยก้านพลาสติกให้เป็นโซ่ตรง แล้วต่อลูกกลมพลาสติกสีขาวเข้ากับก้านพลาสติกให้ครบ เขียนสูตรโครงสร้างแบบเส้นพันธะที่ได้
2. ต่อบนจำลองให้มีโครงสร้างแตกต่างจากข้อ 1 โดยใช้จำนวนของลูกกลมพลาสติกสีดำและสีขาว และก้านพลาสติกเท่าเดิม เขียนสูตรโครงสร้างแบบเส้นพันธะที่ได้
3. ทำซ้ำข้อ 2 จนได้โครงสร้างแบบจำลองที่เป็นไปได้ทั้งหมด

### คำถามท้ายกิจกรรม

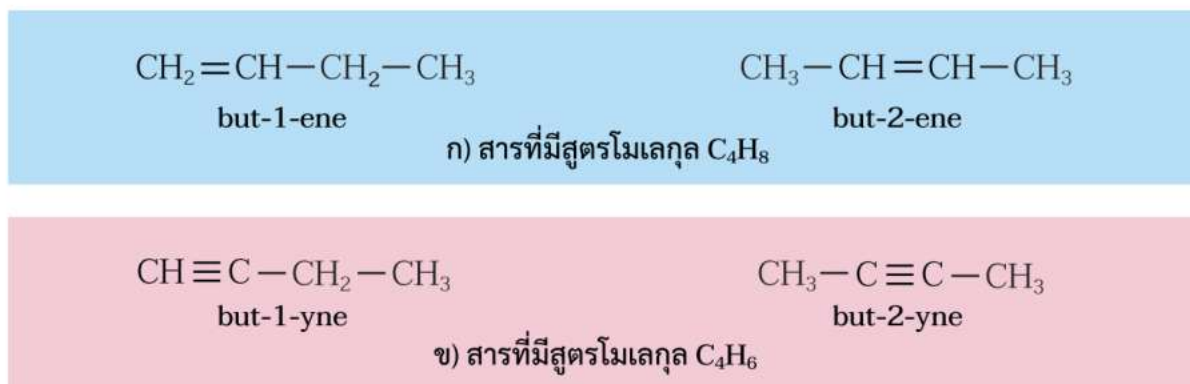
1. โครงสร้างแต่ละโครงสร้างที่ได้จากการต่อบนจำลองมีสูตรโมเลกุลเป็นอย่างไร
2. โครงสร้างที่ได้จากการต่อบนจำลองมีจำนวนเท่าใด และแตกต่างกันอย่างไร

สารที่เป็นไอโซเมอร์กัน บางชนิดมีหมู่ฟังก์ชันเดียวกัน เช่น สารที่มีสูตรโมเลกุล  $C_4H_{10}$  มี 2 ไอโซเมอร์ คือ butane และ 2-methylpropane ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังรูป 12.5



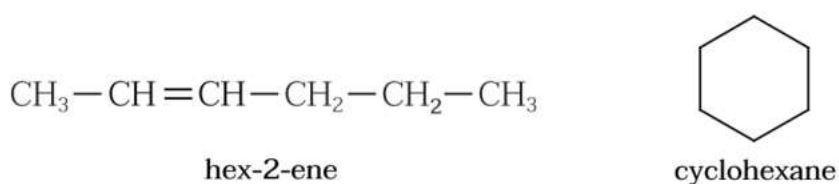
รูป 12.5 ตัวอย่างไอโซเมอร์ของสารที่มีสูตรโมเลกุล  $C_4H_{10}$

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเท่ากัน สำหรับแอลเคนลำดับการจัดเรียงอะตอมของคาร์บอน อาจทำให้โครงสร้างมีลักษณะเป็นโซ่ตรงหรือโซ่กึ่งที่เป็นไอโซเมอร์กัน โดยเมื่อจำนวนอะตอมของคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะทำให้จำนวนไอโซเมอร์ที่เป็นไปได้มีมากขึ้นด้วย สำหรับแอลคีนและแอลไคน์ การจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนที่ต่างกันอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่หรือพันธะสามในสายโซ่คาร์บอนได้เป็นไอโซเมอร์โครงสร้าง ดังตัวอย่างในรูป 12.6



รูป 12.6 ตัวอย่างไอโซเมอร์ที่มีตำแหน่งพันธะคู่หรือพันธะสามในสายโซ่คาร์บอนต่างกัน

นอกจากนี้การต่อกันของอะตอมของคาร์บอนแบบโซ่เปิดและแบบวงก็สามารถทำให้เกิดไอโซเมอร์ได้ ตัวอย่างดังรูป 12.7



รูป 12.7 ตัวอย่างไอโซเมอร์ของสารที่มีสูตรโมเลกุล  $C_6H_{12}$



### ตรวจสอบความเข้าใจ

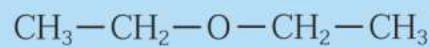
เขียนไอโซเมอร์โครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุลดังต่อไปนี้ และระบุว่าไอโซเมอร์ที่เป็นแบบโซ่เปิดและแบบวงอย่างละกี่ไอโซเมอร์

1.  $C_4H_8$
2.  $C_5H_{10}$

สารที่เป็นไอโซเมอร์กันบางชนิดมีหมู่ฟังก์ชันต่างกัน เช่น ไซโคลแอลเคนกับแอลคีน ไอโซเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันต่างกันเรียกว่า **ไอโซเมอร์ฟังก์ชัน** (functional isomer) ซึ่งยังคงจัดเป็นไอโซเมอร์โครงสร้าง เนื่องจากมีลำดับการต่อกันของอะตอมธาตุหรือลำดับการต่อกันของชนิดพันธะต่างกัน ตัวอย่างไอโซเมอร์ฟังก์ชันที่พบบ่อย เช่น แอลกอฮอล์กับอีเทอร์ แอลดีไฮด์กับคีโตน กรดคาร์บอกซิลิกกับเอสเทอร์ ตัวอย่างดังรูป 12.8

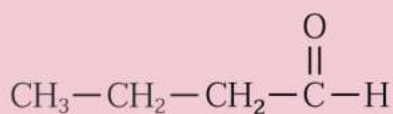


butan-1-ol

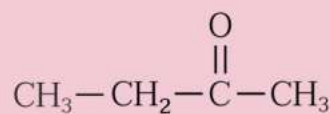


1-ethoxyethane

ก) ไอโซเมอร์ฟังก์ชันของแอลกอฮอล์กับอีเทอร์ที่มีสูตรโมเลกุล  $C_4H_{10}O$

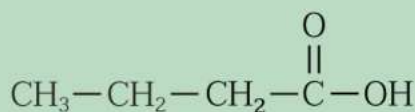


butanal

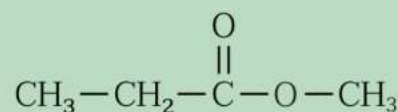


butan-2-one

ข) ไอโซเมอร์ของแอลดีไฮด์กับคีโตนที่มีสูตรโมเลกุล  $C_4H_8O$



butanoic acid



methyl propanoate

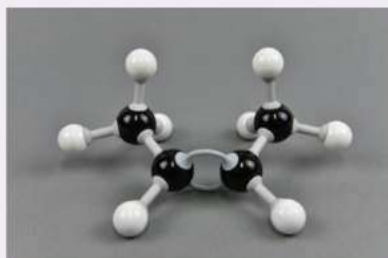
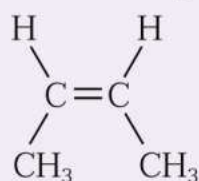
ค) ไอโซเมอร์ของกรดคาร์บอกซิลิกกับเอสเทอร์ที่มีสูตรโมเลกุล  $C_4H_8O_2$

รูป 12.8 ตัวอย่างไอโซเมอร์ฟังก์ชันของสารบางชนิด

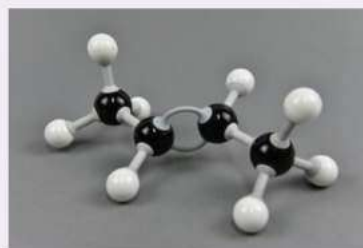
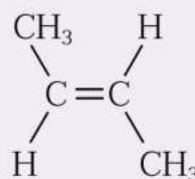


### ความรู้เพิ่มเติม

ไอโซเมอร์บางชนิดมีลำดับการต่อของอะตอมและพันธะเหมือนกันแต่มีตำแหน่งการจัดเรียงตัวของอะตอมหรือทิศทางของพันธะต่างกัน เรียกว่า **สเตอริโอไอโซเมอร์** (stereoisomer) เช่น but-2-ene มี 2 สเตอริโอไอโซเมอร์ คือ *cis-but-2-ene* และ *trans-but-2-ene* ซึ่งมีตำแหน่งของหมู่  $-CH_3$  อยู่ด้านเดียวกัน และด้านตรงข้ามกันเมื่อเทียบกับแกนพันธะคู่ ตามลำดับ ดังรูป

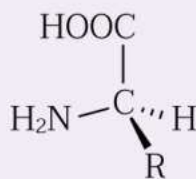
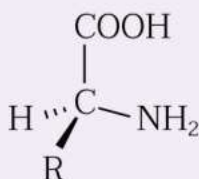
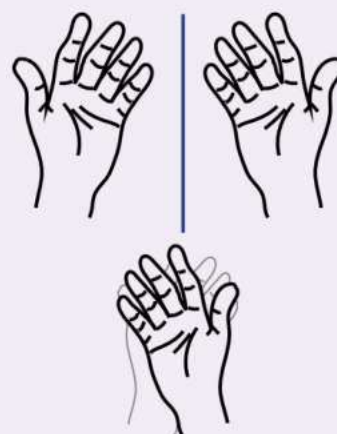


*cis-but-2-ene*



*trans-but-2-ene*

นอกจากนี้ ยังมีสเตอริโอไอโซเมอร์ที่เป็นภาพสะท้อนในกระจกซึ่งกันและกัน แต่ไม่สามารถซ้อนทับกันได้สนิท คล้ายกับมือซ้ายและมือขวา เรียกสเตอริโอไอโซเมอร์แบบนี้ว่า **อแนนทิโอเมอร์** (enantiomer) เช่น กรดแอมิโน มีอแนนทิโอเมอร์ แสดงได้ดังรูป



หมายเหตุ สัญลักษณ์ของพันธะ  $\blacktriangleleft$  แทน พันธะที่ชี้ออกจากระนาบของกระดาษ

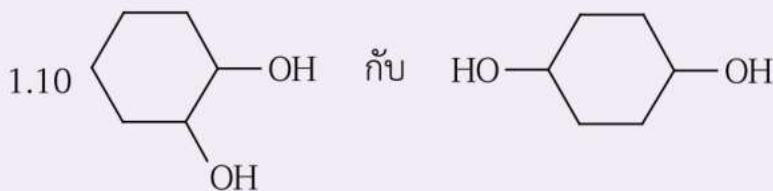
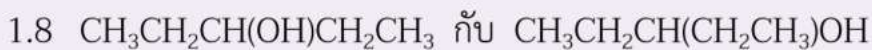
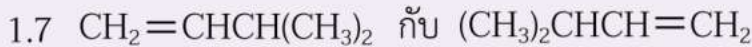
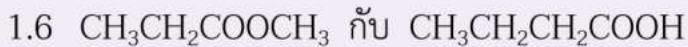
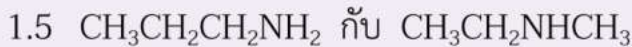
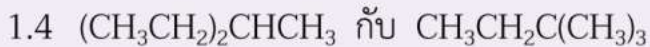
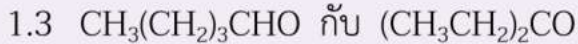
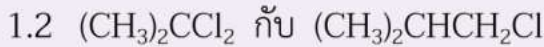
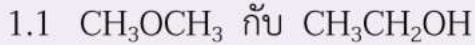
$\cdots$  แทน พันธะที่เข้าไปในระนาบของกระดาษ



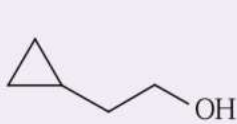


## แบบฝึกหัด 12.4

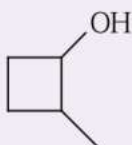
## 1. สารประกอบอินทรีย์ในข้อใดเป็นไอโซเมอร์กัน



## 2. สารประกอบอินทรีย์ในข้อใดบ้างที่เป็นไอโซเมอร์กัน



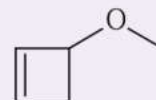
ก.



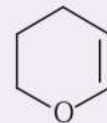
ข.



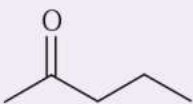
ค.



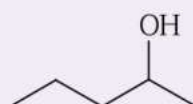
ง.



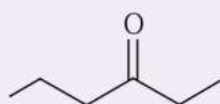
จ.



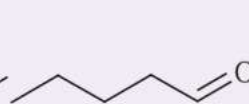
ฉ.



ช.



ซ.



ฅ.



ญ.

## 3. เขียนไอโซเมอร์โครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 6 อะตอม และมีโครงสร้างและพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนดังนี้

3.1 โซ่เปิดที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมด

3.3 โซ่เปิดที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ

3.2 แบบวงที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมด

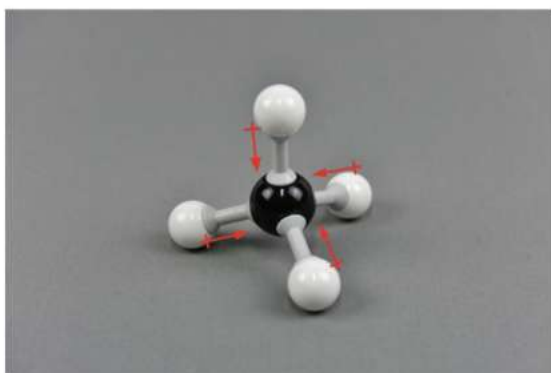
3.4 โซ่เปิดที่มีพันธะสาม 1 พันธะ

## 12.6 สมบัติของสารประกอบอินทรีย์

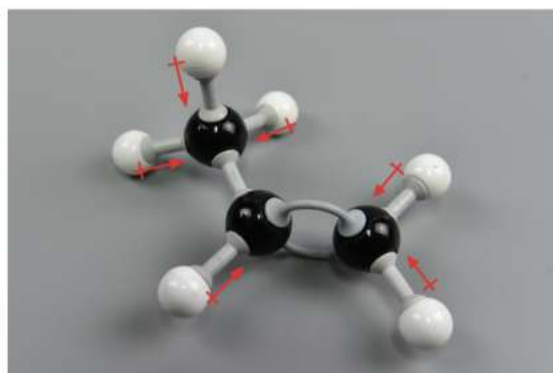
การทราบสมบัติของสารประกอบอินทรีย์มีความสำคัญต่อการนำสารไปใช้ประโยชน์ และช่วยให้สามารถหลีกเลี่ยงหรือป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ได้ ซึ่งสมบัติของสารประกอบอินทรีย์ขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชัน ขนาดโมเลกุล และโครงสร้างของสาร โดยมีแนวโน้มและความจำเพาะที่น่าสนใจดังจะได้ศึกษาต่อไป

### 12.6.1 สมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีพันธะโคเวเลนต์ของคาร์บอนกับคาร์บอน และคาร์บอนกับไฮโดรเจน ซึ่งไม่มีขั้วหรือมีขั้วน้อย และทิศทางการต่อกันของพันธะทำให้ขั้วของพันธะส่วนใหญ่หักล้างกัน เช่น โครงสร้างของมีเทนและโพรพีน แสดงสภาพขั้วของพันธะได้ดังรูป 12.9



ก) มีเทน



ข) โพรพีน

รูป 12.9 สภาพขั้วของพันธะในโมเลกุลมีเทนและโพรพีน

สภาพขั้วของสารมีผลต่อการละลาย ซึ่งการละลายจะเกิดขึ้นได้เมื่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของตัวละลายกับตัวทำละลายมีมากกว่าหรือใกล้เคียงกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของตัวละลายหรือตัวทำละลายด้วยตัวเอง ดังนั้นสารที่มีขั้วใกล้เคียงกันจะละลายกันได้ดีและสารที่มีขั้วต่างกันมากจะละลายกันไม่ได้ดีตามหลักการ “like dissolves like” เนื่องจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งไม่มีขั้วหรือมีขั้วน้อยจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วน้อย เช่น ละลายได้ในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยตัวเอง แต่ไม่ละลายในน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูง



## รู้หรือไม่

เมื่อมีอุบัติเหตุที่ทำให้น้ำมันเกิดการรั่วไหลระหว่างการขนส่งทางเรือ น้ำมันจะแผ่กระจายบนผิวน้ำเป็นพื้นที่กว้าง เนื่องจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันไม่ละลายในน้ำ และมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ดังนั้นการแก้ไขเบื้องต้นคือการใช้ทุ่นลอยน้ำจำกัดบริเวณไม่ให้น้ำมันที่รั่วไหลแผ่กระจายเป็นพื้นที่กว้างมากนักเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตใต้น้ำที่ต้องการออกซิเจนในการหายใจ ก่อนที่จะมีการดูดซับน้ำมันที่รั่วไหลต่อไป



นอกจากสมบัติการละลายแล้ว ความไม่มีขั้วยังทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวต่ำกว่าสารประกอบอินทรีย์ประเภทอื่นที่มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีเพียงแรงแผ่กระจายลอนดอนซึ่งเป็นแรงที่อ่อนกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลประเภทอื่น จุดเดือดและจุดหลอมเหลวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีผลต่อสถานะของสารที่อุณหภูมิห้อง

ในกิจกรรม 12.3 นักเรียนจะได้ศึกษาแนวโน้มจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของแอลเคนซึ่งใช้เป็นตัวแทนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน



### กิจกรรม 12.3 สืบค้นข้อมูลจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของแอลเคน

#### จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของแอลเคน
2. นำเสนอแนวโน้มจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของแอลเคน
3. เปรียบเทียบจุดเดือดของแอลเคน

#### วัสดุและอุปกรณ์

1. กระดาษกราฟ
2. ไม้บรรทัด
3. ดินสอสีหรือปากกาที่มีสีต่างกัน 2 สี

#### วิธีทำกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 3–8 อะตอม ตามกลุ่มสารต่อไปนี้
  - แอลเคนโซ่ตรง
  - ไฮโคลแอลเคน
2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดเดือดกับจำนวนอะตอมของคาร์บอนของแอลเคนโซ่ตรงและไฮโคลแอลเคน โดยใช้แกนร่วมกัน
3. อภิปรายความสัมพันธ์ระหว่างจุดเดือดกับจำนวนอะตอมของคาร์บอนของแอลเคนโซ่ตรงและไฮโคลแอลเคน
4. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดหลอมเหลวกับจำนวนอะตอมของคาร์บอนของแอลเคนโซ่ตรงและไฮโคลแอลเคน โดยใช้แกนร่วมกัน
5. อภิปรายความสัมพันธ์ระหว่างจุดหลอมเหลวของแอลเคนโซ่ตรงและไฮโคลแอลเคนกับจำนวนอะตอมของคาร์บอน
6. เปรียบเทียบจุดเดือดของแอลเคนโซ่ตรงและไฮโคลแอลเคนที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเท่ากัน

### คำถามท้ายกิจกรรม

1. จุดเดือดมีความสัมพันธ์กับจำนวนอะตอมของคาร์บอนอย่างไร
2. แอลเคนไซ้ตรงและไซโคลแอลเคนที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเท่ากัน มีจุดเดือดเท่ากันหรือไม่ อย่างไร
3. จุดหลอมเหลวมีความสัมพันธ์กับจำนวนอะตอมของคาร์บอนอย่างไร มีความแตกต่างจากความสัมพันธ์ที่พบในกราฟของจุดเดือดหรือไม่ อย่างไร

เมื่อแอลเคนไซ้ตรงมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น และมีแรงแผ่กระจายลอนดอนยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากขึ้น ดังนั้นจุดเดือดและจุดหลอมเหลวจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของจุดเดือดมีลักษณะต่อเนื่องมากกว่าจุดหลอมเหลว ดังนั้นการเปรียบเทียบสมบัติที่เกี่ยวข้องกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารจึงนิยมพิจารณาจากจุดเดือดมากกว่าจุดหลอมเหลว ในกรณีของไซโคลแอลเคนยังพบว่า มีจุดเดือดสูงกว่าแอลเคนไซ้ตรงที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเท่ากันแสดงว่า แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของไซโคลแอลเคนสูงกว่าของแอลเคนไซ้ตรง นอกจากจำนวนอะตอมของคาร์บอนแล้วโครงสร้างของสารมีผลต่อจุดเดือดและจุดหลอมเหลวเช่นกันและยังพบอีกว่าแอลเคนที่มีโครงสร้างแบบไซ้กิ่งมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและมีจุดเดือดต่ำกว่าแอลเคนแบบไซ้ตรงที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเท่ากันซึ่งแนวโน้มของจุดเดือดของสารกลุ่มแอลเคนดังกล่าว ยังพบได้ทั่วไปกับสารประกอบอินทรีย์ประเภทอื่นด้วย



### ตรวจสอบความเข้าใจ

สารที่มีสูตรโมเลกุล  $C_5H_{12}$  มี 3 ไอโซเมอร์ เขียนไอโซเมอร์โครงสร้างทั้งสามและเรียงลำดับจุดเดือดของไอโซเมอร์เหล่านี้จากสูงไปต่ำ

แอลคีนและแอลไคน์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสมบัติทางกายภาพส่วนใหญ่คล้ายกับแอลเคน คือ มีจุดเดือดต่ำและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนหรือขนาดโมเลกุล ดังแสดงในตาราง 12.10 ทั้งนี้เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลยังคงเป็นแรงแผ่กระจายลอนดอนเป็นหลัก ถึงแม้ว่าโมเลกุลจะมีพันธะคู่และพันธะสามที่ทำให้สภาพขั้วของโมเลกุลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตาราง 12.10 จุดเดือดของแอลคีนและแอลไคน์ไซตรงบางชนิด

จำนวนอะตอม ของคาร์บอน	แอลคีน		แอลไคน์	
	ชื่อ	จุดเดือด ( $^{\circ}C$ )	ชื่อ	จุดเดือด ( $^{\circ}C$ )
3	propene	-47.7	propyne	-23.2
4	but-1-ene	-6.3	but-1-yne	8.1
5	pent-1-ene	30.0	pent-1-yne	40.1
6	hex-1-ene	63.5	hex-1-yne	71.3
7	hept-1-ene	93.6	hept-1-yne	99.7
8	oct-1-ene	121.3	oct-1-yne	126.3

### 12.6.2 สมบัติของสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ

สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น แอลกอฮอล์ อีเทอร์ แอลดีไฮด์ คีโตน กรดคาร์บอกซิลิก เอสเทอร์ มีสมบัติต่างจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยธาตุออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบในหมู่ฟังก์ชัน ทำให้โมเลกุลของสารมีขั้วมากขึ้นและเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ ส่งผลให้สารบางชนิดในกลุ่มนี้จะละลายน้ำได้ ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาการละลายของแอลกอฮอล์บางชนิดในน้ำจากกิจกรรมต่อไป



## กิจกรรม 12.4 การทดลองการละลายได้ในน้ำของแอลกอฮอล์

### จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองหาการละลายได้ในน้ำของแอลกอฮอล์บางชนิด
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอะตอมของคาร์บอนกับการละลายได้ในน้ำของแอลกอฮอล์

### วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. propan-1-ol
2. butan-1-ol
3. pentan-1-ol
4. น้ำกลั่น
5. หลอดทดลองขนาดเล็ก
6. หลอดหยด
7. ปีกเกอร์ ขนาด 50 mL

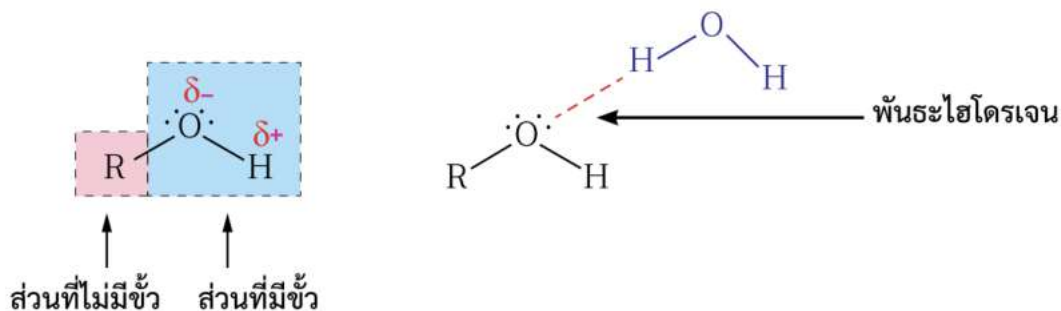
### วิธีทดลอง

1. หยดน้ำกลั่นลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก จำนวน 20 หยด
2. หยดแอลกอฮอล์ลงในน้ำกลั่นทีละหยด เขย่า และสังเกตการละลาย จนเริ่มสังเกตเห็นการไม่ละลายในน้ำของแอลกอฮอล์ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายหยดน้ำมันลอยบนผิวน้ำ บันทึกจำนวนหยดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ แต่ถ้าหยดแอลกอฮอล์ลงในน้ำกลั่น 20 หยดแล้วยังไม่เห็นการแยกชั้น ให้บันทึกผลเป็น “ละลายในน้ำได้ดี”
3. ทดลองตามข้อ 1–2 โดยใช้แอลกอฮอล์ให้ครบทุกชนิด

### คำถามท้ายการทดลอง

1. ลำดับการละลายได้ในน้ำของแอลกอฮอล์ทั้ง 3 ชนิดเป็นอย่างไร
2. การละลายในน้ำของแอลกอฮอล์สัมพันธ์กับจำนวนอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลแอลกอฮอล์อย่างไร

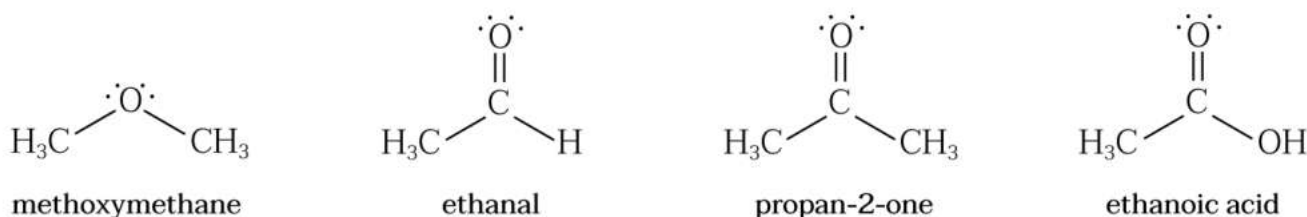
แอลกอฮอล์ ( $R-OH$ ) ประกอบด้วยส่วนของสายไฮโดรคาร์บอนหรือหมู่แอลคิล ( $-R$ ) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว และหมู่  $-OH$  ซึ่งเป็นส่วนที่มีขั้วคล้ายกับโมเลกุลน้ำ ( $H-OH$ ) เนื่องจากหมู่  $-OH$  มีไฮโดรเจน ( $EN = 2.20$ ) ต่อกับออกซิเจน ( $EN = 3.44$ ) ซึ่งมีค่า  $EN$  สูง หมู่  $-OH$  นี้ จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน<sup>3</sup> ได้ในทำนองเดียวกันกับโมเลกุลน้ำ ดังรูป 12.10



รูป 12.10 สภาพขั้วในโมเลกุลของแอลกอฮอล์ และพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแอลกอฮอล์กับน้ำ

การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแอลกอฮอล์กับโมเลกุลน้ำทำให้แอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น methanol ethanol propan-1-ol ละลายในน้ำได้ในปริมาณที่ไม่จำกัด ในขณะที่แอลกอฮอล์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น เช่น butan-1-ol ละลายน้ำได้ในปริมาณที่แตกต่างกันตามลักษณะโครงสร้าง โดยแอลกอฮอล์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นกิ่งก้านเกาะเกาะมากขึ้นสามารถช่วยเพิ่มการละลายในน้ำได้ เช่น แอลกอฮอล์ที่มีจำนวนคาร์บอน 4 อะตอม พบว่าในน้ำ 1 ลิตร butan-1-ol ละลายได้ประมาณ 7 กรัม ส่วน butan-2-ol ละลายได้ประมาณ 290 กรัม ในขณะที่ 2-methylpropan-2-ol ละลายในน้ำได้ดี

สำหรับอีเทอร์ แอลดีไฮด์ คีโตน และกรดคาร์บอกซิลิก ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กสามารถละลายน้ำได้ดีเช่นเดียวกับแอลกอฮอล์ ตัวอย่างดังรูป 12.11

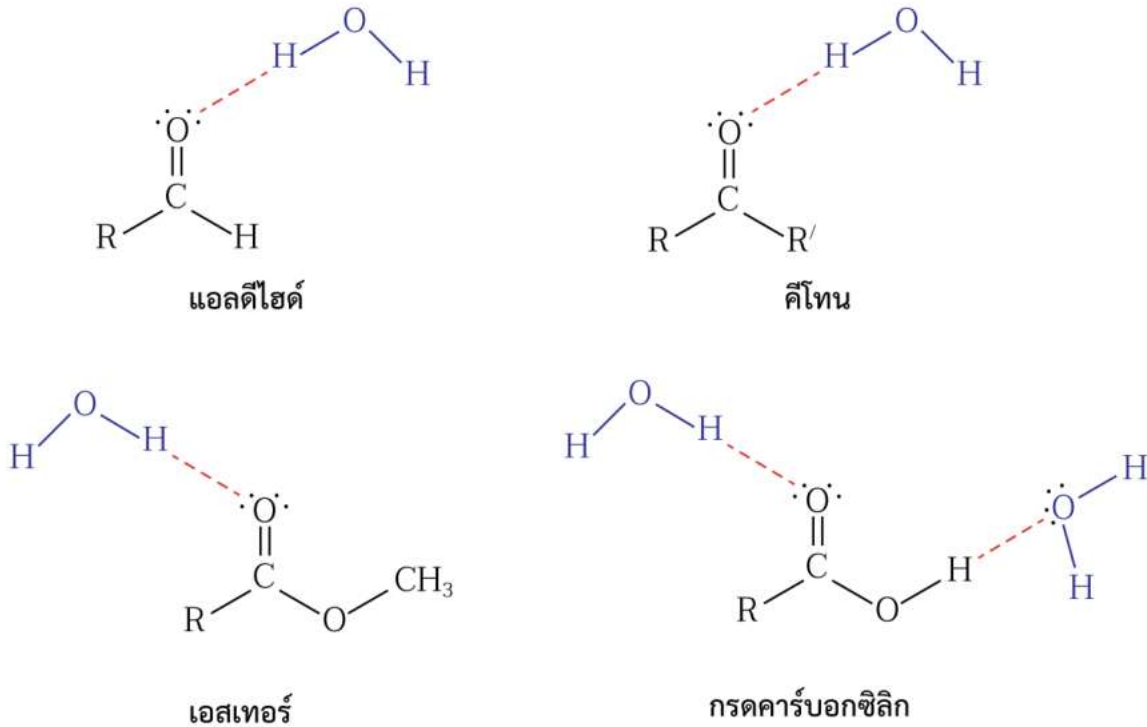


รูป 12.11 ตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุดอกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ดี

<sup>3</sup> เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาการเกิดพันธะไฮโดรเจน ในเอกสารนี้จะแสดงอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเฉพาะตำแหน่งที่สนใจเท่านั้น



สารประกอบอินทรีย์กลุ่มนี้จะละลายในน้ำได้ดีเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์กับโมเลกุลของน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจน ดังรูป 12.12 มีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ด้วยตัวเอง



รูป 12.12 พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำกับสารประกอบอินทรีย์ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบบางชนิด

ความสามารถในการละลายในน้ำของสารเหล่านี้ลดลง เมื่อจำนวนอะตอมของคาร์บอนในหมู่แอลคิลซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขั้วเพิ่มขึ้น แต่สายแอลคิลที่มีลักษณะเป็นกิ่งก้านเกาะเกาะมากขึ้นสามารถช่วยเพิ่มการละลายในน้ำได้เช่นเดียวกับแวนโน้มที่พบในสารประเภทแอลกอฮอล์

ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนนอกจากจะส่งผลอย่างมากต่อการละลายในน้ำของสารประเภทแอลกอฮอล์ อีเทอร์ แอลดีไฮด์ คีโตน กรดคาร์บอกซิลิก และเอสเทอร์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังส่งผลต่อจุดเดือดของสารเหล่านี้ด้วย ซึ่งจะได้ศึกษาจากกิจกรรม 12.5



### กิจกรรม 12.5 การทดลองหาจุดเดือดของ propan-2-one และ propan-2-ol

#### จุดประสงค์การทดลอง

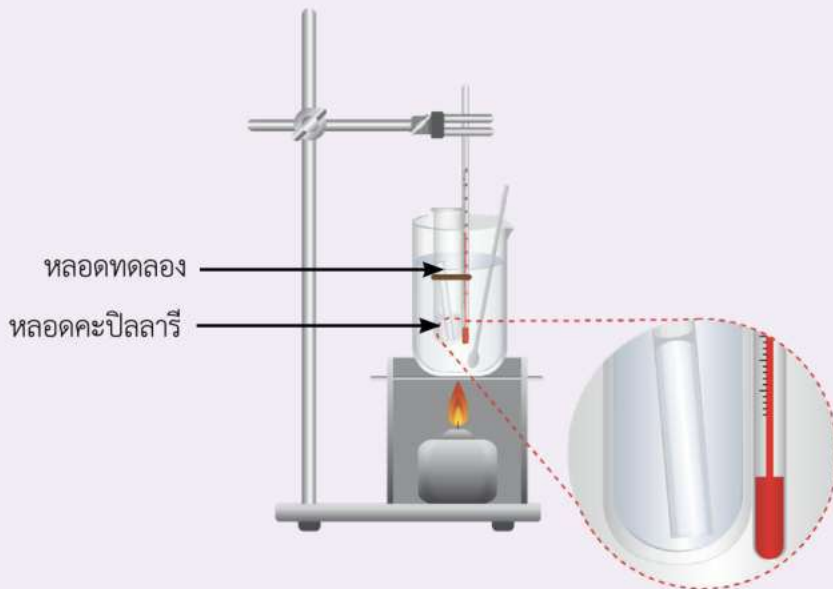
1. ทดลองหาจุดเดือดของ propan-2-one และ propan-2-ol
2. เปรียบเทียบจุดเดือดของ propan-2-one และ propan-2-ol

#### วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. propan-2-one
2. propan-2-ol
3. หลอดทดลองขนาดเล็ก
4. หลอดคะปิลลารี
5. เทอร์มอมิเตอร์ 0–100 °C
6. บีกเกอร์ ขนาด 100 mL
7. กระจกตวง ขนาด 10 mL
8. แท่งแก้วคน
9. ขาดั่งพร้อมที่จับหลอดทดลอง
10. ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลมและตะแกรงลวด
11. ด้ายยาว 20 cm

## วิธีทดลอง

1. เติม propan-2-one 1 mL ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก ใส่หลอดคะปิลลารีที่หาลอมปิด บริเวณที่ห่างจากปลายด้านหนึ่งประมาณ 1.0 cm ลงไปในหลอดทดลองโดยให้ปลาย ส่วนที่เปิดอยู่ด้านล่างและจุ่มใน propan-2-one
2. ใช้ด้ายผูกหลอดทดลองข้อ 1 ติดกับเทอร์มอมิเตอร์ โดยให้กันหลอดทดลองอยู่ระดับเดียวกับ กระเปาะของเทอร์มอมิเตอร์ แล้วนำไปจุ่มในบีกเกอร์ขนาด 100 mL ที่ใส่น้ำไว้ประมาณ สองในสามส่วน ระวังอย่าให้หลอดทดลองแตะกับบีกเกอร์
3. ให้ความร้อนกับน้ำในบีกเกอร์และใช้แท่งแก้วคนตลอดเวลา เมื่อสังเกตเห็นฟองแก๊ส ฟูออกมาเป็นสายจากหลอดคะปิลลารี หยุดให้ความร้อนและสังเกตต่อไป บันทึกอุณหภูมิ เมื่อแก๊สฟองสุดท้ายฟูออกมา และของเหลวไหลกลับเข้าไปในหลอดคะปิลลารี อุณหภูมินี้ เป็นจุดเดือดของสาร
4. ทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1–3 แต่ใช้ propan-2-ol แทน propan-2-one

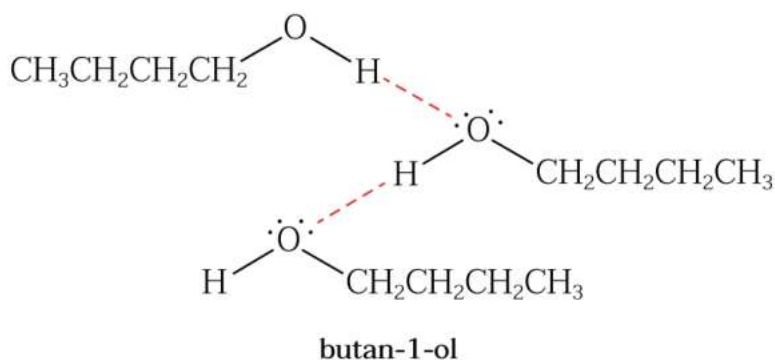
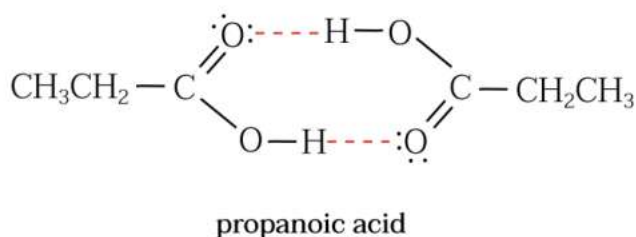


การทดลองหาจุดเดือดของสาร

## คำถามท้ายการทดลอง

จากการทดลอง สารใดมีจุดเดือดสูงกว่า เพราะเหตุใด

เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลมีผลต่อจุดเดือดของสาร โดยสารที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เช่น propanoic acid (จุดเดือด 141.2 °C) butan-1-ol (จุดเดือด 117.7 °C) ดังรูป 12.13 มีจุดเดือดสูงกว่าสารที่ไม่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เช่น butan-2-one (จุดเดือด 79.6 °C) ethyl methanoate (จุดเดือด 56.9 °C)



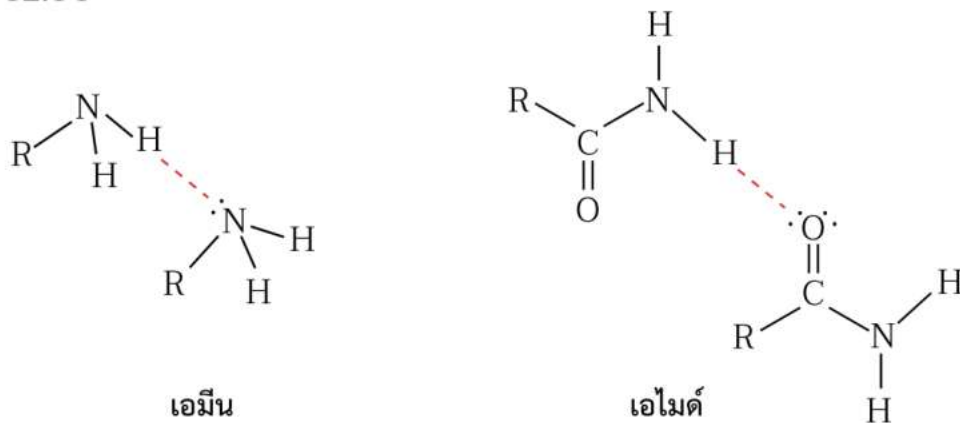
รูป 12.13 พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของ propanoic acid และ butan-1-ol

ถ้านำข้อมูลจุดเดือดของ propan-2-one และ propan-2-ol จากกิจกรรม 12.5 มาเปรียบเทียบกับ butane (จุดเดือด -0.5 °C) ซึ่งมีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน พบว่า propan-2-one และ propan-2-ol มีจุดเดือดสูงกว่า butane มาก เพราะ propan-2-one และ propan-2-ol เป็นโมเลกุลมีขั้ว จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทั้งแรงแผ่กระจายลอนดอนและแรงระหว่างขั้ว ดังนั้นแนวโน้มจุดเดือดของสารประกอบอินทรีย์จึงพิจารณาได้จากขนาดโมเลกุล ความมีขั้ว และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล นอกจากนี้ยังพบว่า โครงสร้างโมเลกุลที่มีกิ่งก้านเกะกะทำให้จุดเดือดของสารลดลง เช่น butan-1-ol มีจุดเดือด 117–118 °C ซึ่งสูงกว่า butan-2-ol และ 2-methylpropan-2-ol ซึ่งมีจุดเดือด 98–100 °C และ 82–83 °C ตามลำดับ

### 12.6.3 สมบัติของสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่พบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น เอมีน เอไมด์ ซึ่งสารทั้งสองชนิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีขั้วและสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ เอมีนและเอไมด์ที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนน้อย ๆ ละลายในน้ำได้ดี แต่ความสามารถในการละลายได้ในน้ำลดลงเมื่อจำนวนอะตอมของคาร์บอนเพิ่มขึ้น

เอมีนและเอไมด์เป็นโมเลกุลมีขั้วและสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้ จึงมีจุดเดือดสูงกว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเอมีนและเอไมด์แสดงได้ดังรูป 12.14



รูป 12.14 พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของเอมีนและเอไมด์

นอกจากนี้ยังพบว่าจุดเดือดของเอมีนและเอไมด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนอะตอมของคาร์บอน เช่นเดียวกับสารประกอบอินทรีย์ประเภทอื่น เนื่องจากแรงแผ่กระจายลอนดอนที่เพิ่มขึ้นตามขนาดโมเลกุล ดังตาราง 12.11

ตาราง 12.11 จุดเดือดของเอมีนและเอไมด์บางชนิด

เอมีน	จุดเดือด (°C)	เอไมด์	จุดเดือด (°C)
butan-1-amine	77	propanamide	213
pentan-1-amine	104	butanamide	216
hexan-1-amine	132	pentanamide	225

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่า สมบัติของสารประกอบอินทรีย์ เช่น จุดเดือด การละลายในน้ำ ขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันของสารซึ่งมีผลต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล โดยสารที่มีหมู่ฟังก์ชันเดียวกัน มีแนวโน้มของจุดเดือดเพิ่มขึ้นตามขนาดโมเลกุล แต่การละลายได้ในน้ำลดลงเมื่อขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น นอกจากนี้สมบัติของสารยังขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่เป็นแบบโซ่ตรง โซ่กิ่ง และแบบวงด้วย



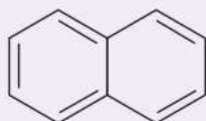
## แบบฝึกหัด 12.5

1. A B และ C เป็นสารประกอบแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน และมีโครงสร้างดังนี้

สาร	โครงสร้าง
A	
B	
C	

จงเรียงลำดับจุดเดือดของสารจากมากไปน้อย พร้อมอธิบายเหตุผล

2. ในการทดลองเติมผงแนฟทาลินหรือลูกเหม็น ( $C_{10}H_8$ ) ปริมาณ 0.1 กรัม ลงในหลอดทดลอง ที่มีสารผสมระหว่างน้ำกลั่นและเฮกเซนอย่างละ 5 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าแรง ๆ และตั้งไว้ 3 นาที จงวาดรูปแสดงผลการทดลอง พร้อมอธิบายเหตุผล (กำหนดให้ ความหนาแน่นของเฮกเซน = 0.66 กรัมต่อมิลลิลิตร)



โครงสร้างของแนฟทาลินหรือลูกเหม็น

3. สาร A B และ C มีสูตรโครงสร้างและจุดเดือดดังนี้

สาร	สูตรโครงสร้าง	จุดเดือด ( $^{\circ}C$ )
A	$CH_3(CH_2)_3CH_3$	36.1
B	$CH_3CH_2CH(CH_3)_2$	27.8
C	$C(CH_3)_4$	-11.7

เหตุใดจุดเดือดของสาร A จึงสูงกว่า B และ C ตามลำดับ

4. เอทานอล ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) และเมทอกซีมีเทน ( $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ) เป็นไอโซเมอร์กัน แต่เอทานอลมีสถานะเป็นของเหลว ในขณะที่เมทอกซีมีเทนมีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้อง เพราะเหตุใด
5. ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างให้สอดคล้องกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ส่งผลต่อจุดเดือดของสาร (ทำเครื่องหมาย ✓ ได้มากกว่า 1 ช่อง)

สาร	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล		
	แรงแผ่กระจายลอนดอน	แรงระหว่างขั้ว	พันธะไฮโดรเจน
hexane			
pentan-1-ol			
1-methoxybutane			

6. เปรียบเทียบจุดเดือดของสารต่อไปนี้ พร้อมอธิบายเหตุผล
- 6.1 butan-1-ol กับ pentan-1-ol
- 6.2 ethanoic acid และ methyl methanoate
- 6.3 hexan-1-ol กับ hexan-1-amine

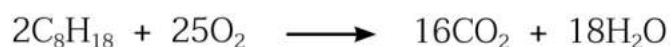
## 12.7 ปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบอินทรีย์

นักเรียนได้ศึกษามาแล้วว่าหมู่ฟังก์ชันของสารมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ เช่น การละลายในน้ำ จุดเดือด นอกจากนี้หมู่ฟังก์ชันของสารยังส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์หรือผลิตสารในอุตสาหกรรมเคมี การนำไปใช้ประโยชน์ และกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต

### 12.7.1 ปฏิกิริยาการเผาไหม้

**ปฏิกิริยาการเผาไหม้** (combustion reaction) เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนซึ่งให้พลังงานความร้อนและแสงสว่าง ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในอุตสาหกรรมและในชีวิตประจำวัน โดยเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น โพรเพนและบิวเทน ใช้ผลิตแก๊สหุงต้ม สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 6–12 อะตอมใช้ผลิตน้ำมันเบนซินที่ใช้เติมรถยนต์

ปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนให้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ออกเทน ( $C_8H_{18}$ ) สามารถเขียนสมการเคมีได้ดังนี้



แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำเป็นสารที่ไม่มีสี ดังนั้นการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จึงไม่มีเขม่า ส่วนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะให้เขม่าสีดำซึ่งส่วนใหญ่เป็นอนุภาคคาร์บอนหรือสารประกอบที่มีคาร์บอนปริมาณสูง และอาจให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นแก๊สพิษด้วย ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารบางชนิด เช่น hept-1-ene ( $C_7H_{14}$ ) อาจเขียนสมการเคมีได้ดังนี้



โดยทั่วไปเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนของ C:H สูง หรือมีความไม่อิ่มตัวสูง เมื่อเกิดการเผาไหม้จะให้ปริมาณเขม่ามากกว่าเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนของ C:H ต่ำกว่า ดังนั้นแอรโม่เตกไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีอัตราส่วนของ C:H สูง จึงเผาไหม้ให้เขม่ามากกว่าแอลคีนที่มีอัตราส่วนของ C:H ต่ำกว่า ส่วนแอลเคนซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวเมื่อเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์โดยไม่ให้เขม่า แอลเคนจึงพบในเชื้อเพลิงที่ใช้โดยทั่วไป เช่น แก๊สหุงต้ม น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ ในขณะที่ถ่านหินซึ่งมีแอรโม่เตกไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง มักใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าหรืออุตสาหกรรมที่กระบวนการเผาไหม้ทำภายใต้ภาวะควบคุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และลดการปลดปล่อยเขม่าและแก๊สพิษออกสู่บรรยากาศ



นอกจากชนิดของเชื้อเพลิงที่มีผลต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้แล้ว ปริมาณแก๊สออกซิเจนก็มีผลต่อความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ เช่น เทียนไขที่ทำมาจากเชื้อเพลิงที่มีความอิมตัวสูงแต่เมื่อเผาไหม้กลับมีเขม่าควัน เนื่องจากเทียนไขถูกออกแบบให้พื้นที่ผิวของไส้เทียนจำกัดปริมาณแก๊สออกซิเจนที่เข้าทำปฏิกิริยา ได้เปลวไฟสีส้มที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่เผาไหม้ได้นาน ในขณะที่ไอโพนซึ่งมีความไม่อิมตัวสูงสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเชื่อมโลหะได้โดยไม่มีเขม่าควัน เนื่องจากอุปกรณ์หัวเชื่อมโลหะได้ถูกออกแบบให้อัตราส่วนของแก๊สออกซิเจนที่เข้าทำปฏิกิริยาต่อปริมาณเชื้อเพลิงมีค่าสูง เพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และได้เปลวไฟสีฟ้าที่มีอุณหภูมิสูง



### เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน

เขม่าควันจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศบางส่วนอาจมีขนาดของอนุภาคเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (ประมาณ 1 ใน 25 ส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นผมมนุษย์) ฝุ่นผงขนาดเล็กนี้สามารถผ่านระบบป้องกันของระบบทางเดินหายใจเข้าสู่ปอด แล้วดูดซึมและแพร่กระจายไปสะสมตามอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย ที่สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กนี้ หรือที่เรียกกันสั้น ๆ ว่าปัญหา PM 2.5 (Particulate Matter 2.5) กำลังทวีความรุนแรง โดยสาเหตุสำคัญส่วนหนึ่งมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ในเครื่องยนต์ การเผาซากพืชหลังการเก็บเกี่ยว และไฟป่า



### ตรวจสอบความเข้าใจ

1. เหตุใดการใช้เตาถ่านจึงให้เขม่าควันมากกว่าการใช้เตาแก๊ส
2. ดุลสมการการเผาไหม้ของเฮปเทน โดยการเติมเลขสัมประสิทธิ์ในช่องว่าง



จากสมการเคมีที่ดุลแล้ว ปริมาณแก๊สออกซิเจนมีผลต่อปริมาณการเกิดเขม่าอย่างไร









### 12.7.2 ปฏิกิริยาการฟอกจางสีสารละลาย

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดนอกจากให้เขม่าควันจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่แตกต่างกันแล้วยังเกิดปฏิกิริยากับสารบางชนิดที่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน ซึ่งสามารถนำสารที่ทำปฏิกิริยาหรือรีเอเจนต์ (reagents) ดังกล่าว มาใช้ในการทดสอบเพื่อระบุชนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ โดยรีเอเจนต์ที่นิยมใช้ทดสอบ คือ สารละลายโบรมีนและสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ซึ่งจะได้ศึกษาต่อไป

#### การฟอกจางสีสารละลายโบรมีน

เมื่อนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนบางชนิดเติมลงในสารละลายโบรมีนซึ่งมีสีน้ำตาลแดง ในที่มืดและที่สว่าง ได้ผลดังตาราง 12.12

ตาราง 12.12 ผลการเติมสารประกอบไฮโดรคาร์บอนบางชนิดลงในสารละลายโบรมีน

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน	ผลการสังเกต	
	ในที่มืด	ในที่สว่าง
hexane	 สารละลายยังคงมีสีน้ำตาลแดงเช่นเดิม	 สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแดงเป็นไม่มีสีอย่างช้า ๆ
hex-1-ene	 สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแดงเป็นไม่มีสี	 สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแดงเป็นไม่มีสี
hex-1-yne	 สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแดงเป็นไม่มีสี	 สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแดงเป็นไม่มีสี
benzene	 สารละลายยังคงมีสีน้ำตาลแดงเช่นเดิม	 สารละลายยังคงมีสีน้ำตาลแดงเช่นเดิม

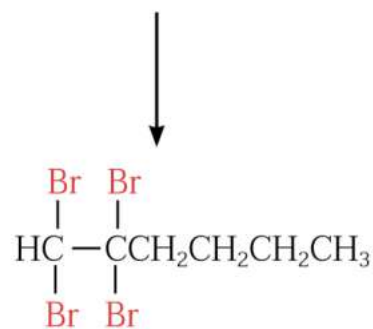
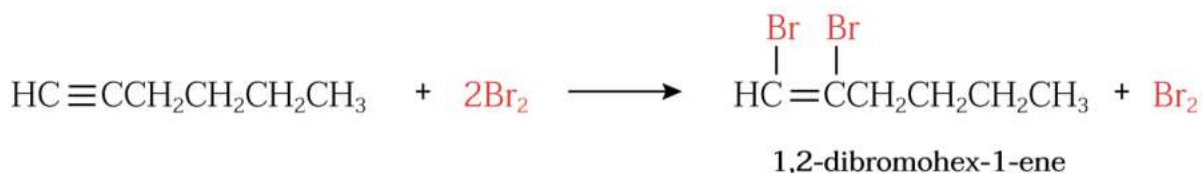
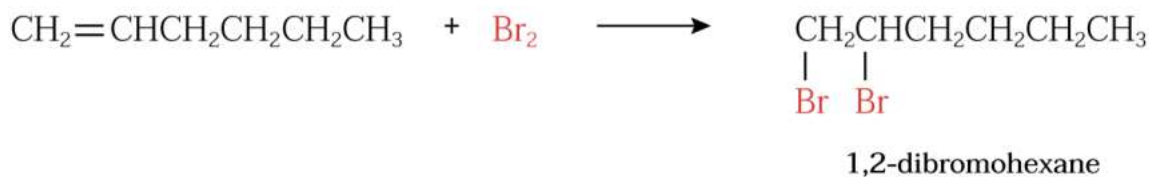
การฟอกจางสีของสารละลาย เป็นการเปลี่ยนแปลงของสารจากที่มีสีเป็นไม่มีสี ซึ่งจากข้อมูลในตาราง 12.12 พบว่า hexane สามารถฟอกจางสีสารละลายโบรมีนได้ในที่สว่างเท่านั้น ส่วน hex-1-ene และ hex-1-yne สามารถฟอกจางสีสารละลายโบรมีนได้ทั้งในที่มืดและที่สว่าง ในขณะที่ benzene ไม่ฟอกจางสีสารละลายโบรมีนทั้งในที่มืดและที่สว่าง

แอลเคนสามารถเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ (substitution reaction) กับโบรมีนได้ในที่สว่าง โดยพลังงานแสงจะสลายพันธะในโบรมีน ( $\text{Br}_2$ ) ได้เป็นอะตอมของโบรมีน ( $\text{Br}$ ) ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่อะตอมของไฮโดรเจนในโมเลกุลของแอลเคน เกิดเป็นโบรมอแอลเคน และแก๊สไฮโดรเจนโบรมاید เช่น ปฏิกิริยาระหว่างอีเทนกับสารละลายโบรมีนในที่สว่าง ดังสมการเคมี



อย่างไรก็ตามหากแอลเคนมีตำแหน่งของไฮโดรเจนที่แทนที่ด้วยโบรมีนแล้วให้ผลิตภัณฑ์ต่างกัน จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นของผสม เช่น โพรเพนทำปฏิกิริยากับโบรมีนให้ผลิตภัณฑ์เป็น 1-โบรมโพรเพน ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br}$ ) และ 2-โบรมโพรเพน ( $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_3$ ) นอกจากนี้หากมีโบรมีนอยู่มากเกินพอ ปฏิกิริยาจะไม่หยุดที่การแทนที่เพียงหนึ่งอะตอม เช่น อาจให้ผลิตภัณฑ์เป็นไดโบรมโพรเพน ไตรโบรมโพรเพน

แอลคีนและแอลไคน์สามารถเกิดปฏิกิริยาการเติม (addition reaction) กับโบรมีน ซึ่งปฏิกิริยาการเติมนี้อาจเกิดขึ้นได้แม้ในที่มืด โดยโบรมีนเติมที่ตำแหน่งพันธะคู่และพันธะสามของแอลคีนและแอลไคน์ ตามลำดับ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโบรมีน 2 อะตอมและ 4 อะตอมต่ออยู่กับคาร์บอนที่อยู่ติดกัน ดังตัวอย่างปฏิกิริยาระหว่างโบรมีนกับ hex-1-ene และ hex-1-yne



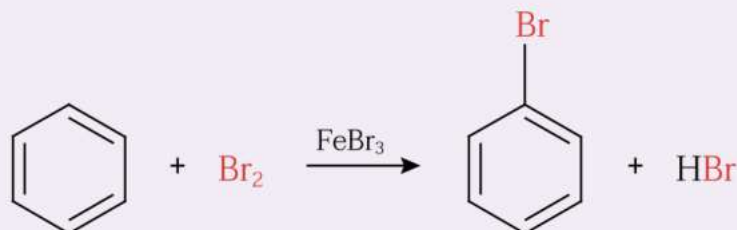
1,1,2,2-tetrabromohexane

พันธะคู่ในวงเบนซีนของแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนสามารถเกิดเรโซแนนซ์ภายในวงได้จึงเสถียรกว่าพันธะคู่ในแอลคีนทั่วไป จึงไม่เกิดปฏิกิริยาการเติมกับโบรมีน นอกจากนี้ไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีนยังไม่เกิดปฏิกิริยาการแทนที่กับโบรมีน เบนซีนจึงไม่เกิดปฏิกิริยาการฟอกจางสีกับโบรมีนทั้งในที่มืดและที่สว่าง



### ความรู้เพิ่มเติม

เบนซีนอาจเกิดปฏิกิริยาการแทนที่เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม เช่น เมื่อมีไอร์ออน(III)โบรไมด์ ( $\text{FeBr}_3$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไฮโดรเจน 1 อะตอมในโมเลกุลของเบนซีน จะถูกแทนที่ด้วยอะตอมโบรมีนเกิดเป็นโบรมเบนซีนดังสมการเคมี





### ตรวจสอบความเข้าใจ

เมทิลเบนซีน (โทลูอีน) และไซโคลเฮกซีน ทำปฏิกิริยากับสารละลายโบรมีนในที่สว่าง ได้ผลดังนี้

หลอดที่	สาร	ผลการสังเกต
1	เมทิลเบนซีน (โทลูอีน)	สารละลายโบรมีนเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแดงเป็นไม่มีสีอย่างช้า ๆ
2	ไซโคลเฮกซีน	สารละลายโบรมีนเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแดงเป็นไม่มีสีทันที

- เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น
- เมื่อนำกระดาษลิตมัสขึ้นไปยังที่ปากหลอดทดลองของปฏิกิริยาข้างต้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร



### ความรู้เพิ่มเติม

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารประกอบกับธาตุแฮโลเจน เรียกว่า **ปฏิกิริยาแฮโลจิเนชัน** (halogenation) โดยถ้าธาตุแฮโลเจนเป็นโบรมีน เรียกว่า **ปฏิกิริยาโบรมิเนชัน** (bromination) ถ้าธาตุแฮโลเจนเป็นคลอรีน เรียกว่า **ปฏิกิริยาคลอรีเนชัน** (chlorination)

### การฟอกจางสีสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

นอกจากสารละลายโบรมีนแล้ว สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตยังเป็นรีเอเจนต์ที่มีสีและแสดงการฟอกจางสีได้อย่างชัดเจนเมื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนบางชนิด ดังจะได้ศึกษาจากกิจกรรม 12.6



## กิจกรรม 12.6 การทดลองปฏิกิริยาการฟอกจางสีของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

### จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองการเกิดปฏิกิริยาการฟอกจางสีสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตของไฮโคลเฮกเซน ไฮโคลเฮกซีน และเมทิลเบนซีน
2. เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาการฟอกจางสีสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตของไฮโคลเฮกเซน ไฮโคลเฮกซีน และเมทิลเบนซีน

### วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. ไฮโคลเฮกเซน
2. ไฮโคลเฮกซีน
3. เมทิลเบนซีน
4. สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) 0.01% โดยมวลต่อปริมาตร
5. หลอดทดลองขนาดเล็ก
6. หลอดหยด
7. บีกเกอร์ขนาด 50 mL

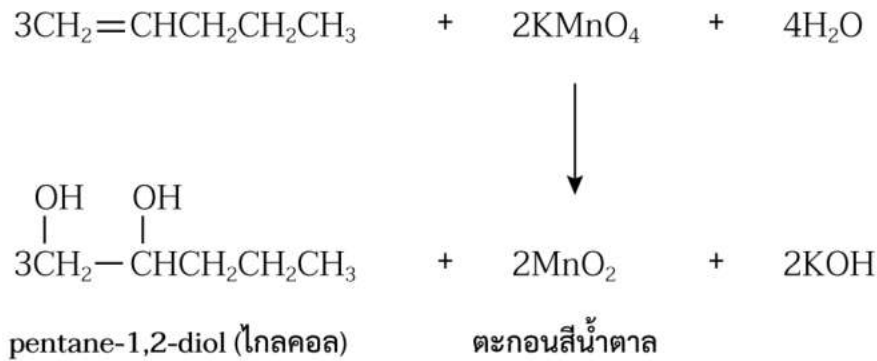
### วิธีทดลอง

1. หยด  $\text{KMnO}_4$  5 หยด และไฮโคลเฮกเซน 10 หยด ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก เขย่า และสังเกตการเปลี่ยนแปลง
2. ทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่ใช้ไฮโคลเฮกซีน และเมทิลเบนซีน แทนไฮโคลเฮกเซน

### คำถามท้ายการทดลอง

สารใดเกิดปฏิกิริยาการฟอกจางสีกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ทราบได้อย่างไร

การเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอลคีน เช่น pent-1-ene กับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ทำให้สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นไม่มีสีและมีตะกอนสีน้ำตาลซึ่งเป็นตะกอนของแมงกานีส(IV)ออกไซด์ ( $\text{MnO}_2$ ) เกิดขึ้น เขียนสมการเคมีได้ดังนี้



ก  
ฮ

ศัพท์น่ารู้

**ไกลคอล (glycol)** เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่  $-\text{OH}$  จำนวน 2 หมู่ต่ออยู่กับอะตอมของคาร์บอนที่ติดกัน

แอลคีนสามารถพอกจางสีของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตได้เช่นเดียวกับแอลคีน โดยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตทำปฏิกิริยากับพันธะสาม ซึ่งอาจได้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดของแอลคีนและภาวะของปฏิกิริยา ส่วนแอลเคนและแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาการพอกจางสีสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ปฏิกิริยาการพอกจางสีของโบรมีนและโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตนอกจากจะใช้ในการทดสอบเพื่อระบุประเภทของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนว่าเป็นแอลเคน แอลคีน แอลคีน หรือแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนแล้ว ยังสามารถใช้หาปริมาณความไม่อิ่มตัวของสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ เช่น ไขมัน ได้อีกด้วย

### 12.7.3 ปฏิิกิริยาการเกิดเอสเทอร์

เมื่อนำกรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอล์มาทำปฏิกิริยาเคมีกันที่อุณหภูมิสูงโดยมีสารละลายกรดเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้สารใดเป็นผลิตภัณฑ์ ศึกษาได้จากกิจกรรม 12.7



#### กิจกรรม 12.7 การทดสอบปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอล์

##### จุดประสงค์ของกิจกรรม

ทดสอบปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอล์

##### วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. กรดเบนโซอิก
2. เอทานอล
3. กรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) เข้มข้น 18 mol/L
4. หลอดทดลองขนาดเล็ก
5. ปีกเกอร์ขนาด 100 mL
6. กระจกตวง
7. ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลมและตะแกรงลวด
8. ที่จับหลอดทดลอง
9. แท่งแก้วคน
10. เทอร์มอมิเตอร์
11. สำลี



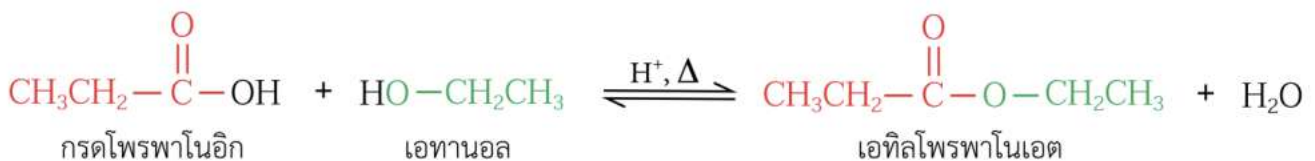
### วิธีทำกิจกรรม

1. เติมกรดเบนโซอิก 0.5 g เอทานอล 2 mL และหยด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  18 mol/L 3 หยด ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก จากนั้นใช้สำลีปิดที่ปลายหลอดทดลอง เขย่าหลอดทดลอง ใช้แท่งแก้วคนแต่ละสารผสม ดมกลิ่นและบันทึกผล
2. เติมน้ำลงในปิกเกอร์สองในสามของปริมาตรปิกเกอร์ และนำไปอุ่นให้ร้อนประมาณ  $70\text{--}90\text{ }^\circ\text{C}$
3. ใช้สำลีปิดที่ปลายหลอดทดลองของสารผสมในข้อ 1 จากนั้นนำมาอุ่นในน้ำร้อนและเขย่า หลอดทดลองเป็นระยะ เมื่อสังเกตเห็นสารผสมเป็นของเหลวใส ให้อุ่นสารผสมต่ออีก ประมาณ 1–2 นาที และดับไฟตะเกียงแอลกอฮอล์
4. ใช้แท่งแก้วคนแต่ละสารที่ได้จากปฏิกิริยาแล้วดมกลิ่นเปรียบเทียบกับกลิ่นสารผสมในข้อ 1 บันทึกผล

### คำถามท้ายกิจกรรม

การทดสอบนี้มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นหรือไม่ ทราบได้อย่างไร

เมื่อกรดคาร์บอกซิลิกทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิสูง โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ซึ่งมีกลิ่นแตกต่างไปจากสารตั้งต้น และมีผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by product) เป็นน้ำ เรียกปฏิกิริยานี้ว่า **เอสเทอริฟิเคชัน** (esterification) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ เช่น ปฏิกิริยาระหว่างกรดโพรพานอิกกับเอทานอล เขียนสมการเคมีได้ดังนี้



### ตรวจสอบความเข้าใจ

1. เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้สารตั้งต้นจากกิจกรรม 12.7
2. เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาระหว่างกรดแอสติกกับเอทานอลพร้อมเรียกชื่อผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

### 12.7.4 ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์

ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ หากนำเอสเทอร์มาทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้สารใดเป็นผลิตภัณฑ์ ศึกษาได้จากกิจกรรม 12.8



#### กิจกรรม 12.8 การทดสอบปฏิกิริยาย้อนกลับของการเกิดเอสเทอร์ในภาวะกรด

##### จุดประสงค์ของกิจกรรม

ทดสอบปฏิกิริยาย้อนกลับของการเกิดเอสเทอร์ในภาวะกรด

##### วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. เอทิลแอสีเตต
2. สารละลายกรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) เจือจาง 1 mol/L
3. หลอดทดลองขนาดเล็ก
4. ปีกเกอร์ขนาด 100 mL
5. ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลมและตะแกรงลวด
6. ที่จับหลอดทดลอง
7. แท่งแก้วคน
8. หลอดหยด
9. สำลี



ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์นอกจากใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว อาจใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ โดยปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์ในภาวะเบส จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือของกรดคาร์บอกซิลิก (เกลือคาร์บอกซิเลต) และแอลกอฮอล์ ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (saponification) ซึ่งจะได้ศึกษาจากกิจกรรม 12.9



### ความรู้เพิ่มเติม

ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน เดิมหมายถึงปฏิกิริยาการเตรียมสบู่ซึ่งเป็นเกลือของกรดไขมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสในสารละลายเบสของไขมันซึ่งเป็นเอสเทอร์ ต่อมาชื่อปฏิกิริยานี้ นิยมใช้เรียกปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสในสารละลายเบสของเอสเทอร์โดยทั่วไป



## กิจกรรม 12.9 การทดสอบปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน

### จุดประสงค์ของกิจกรรม

ทดสอบปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน

### วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. น้ำมันพืช
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 2.5 mol/L
3. เอทานอล
4. น้ำกลั่น
5. ถ้วยกระเบื้อง
6. ขวดรูปกรวยขนาด 100 mL พร้อมจุกยาง
7. กระจกตวงขนาด 10 mL
8. แท่งแก้วคน
9. ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลมและตะแกรงลวด

### วิธีทำกิจกรรม

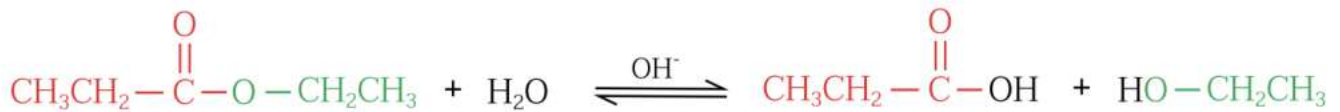
1. ผสมน้ำมันพืช 1 mL NaOH 2.5 mol/L 2 mL และเอทานอล 1 mL ในถ้วยกระเบื้อง สังเกตลักษณะของสารผสม
2. ให้ความร้อนและคนตลอดเวลาจนสารในถ้วยกระเบื้องเกือบแห้ง จากนั้นตั้งไว้ให้เย็น สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
3. เทสารที่ได้ลงในขวดรูปกรวย เติมน้ำลงไปประมาณ 5 mL ปิดจุก เขย่า สังเกตการเปลี่ยนแปลง

### คำถามท้ายกิจกรรม

การทดสอบนี้มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นหรือไม่ ทราบได้อย่างไร

ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์ในภาวะเบสให้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือคาร์บอกซิเลตและแอลกอฮอล์ เช่น เอทิลโพรพาโนเอต เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดโพรพาโนอิกและเอทานอล ซึ่งกรดโพรพาโนอิกสามารถทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นโซเดียมโพรพาโนเอต ดังสมการเคมี

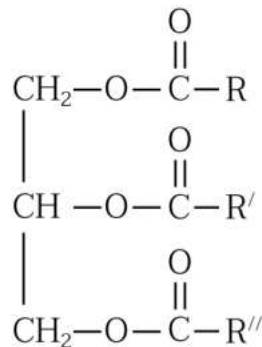
ขั้นที่ 1



ขั้นที่ 2



น้ำมันพืชเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับกลีเซอรอล มีโครงสร้างทั่วไปดังรูป 12.15



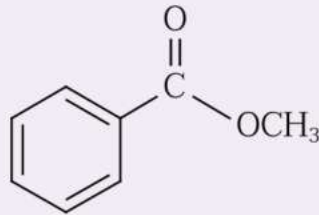
รูป 12.15 โครงสร้างทั่วไปของไขมันหรือน้ำมัน

ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของน้ำมันพืชในเบสแอลคาไล เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ให้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือของกรดไขมันที่มีสมบัติเป็นสบู่



### ตรวจสอบความเข้าใจ

เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสทั้งในภาวะกรดและเบสของเมทิลเบนโซเอต ซึ่งมีโครงสร้างดังรูป

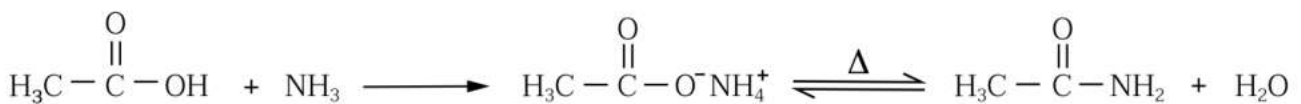


### ชวนคิด

ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์ในภาวะกรดเกิดได้ไม่สมบูรณ์ โดยจะมีเอสเทอร์เหลืออยู่ในปฏิกิริยาเสมอ แต่ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์ในภาวะเบสเกิดได้อย่างสมบูรณ์ โดยไม่มีเอสเทอร์เหลืออยู่ในปฏิกิริยา เพราะเหตุใด

#### 12.7.5 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอไมด์

เอไมด์เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับแอมโมเนียหรือเอมีนที่อุณหภูมิสูง ซึ่งคล้ายกับปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน แต่ใช้แอมโมเนียหรือเอมีนแทนแอลกอฮอล์ โดยเมื่อเอมีนทำปฏิกิริยากับกรดคาร์บอกซิลิกที่อุณหภูมิห้องจะให้เกลือแอมโมเนียมคาร์บอกซิเลต แต่เมื่อให้ความร้อนจะได้เอไมด์เกิดขึ้น เช่น การเตรียมเอทานาไมด์หรือแอสทาไมด์ จากปฏิกิริยาระหว่างกรดแอสติกกับแอมโมเนีย เขียนสมการเคมีได้ดังนี้





### ตรวจสอบความเข้าใจ

เขียนโครงสร้างของสารผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ที่เตรียมจากกรดคาร์บอกซิลิกและเอมีน แต่ละคู่ต่อไปนี้ และระบุว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีความสัมพันธ์กันอย่างไร

ก.  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และ  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$

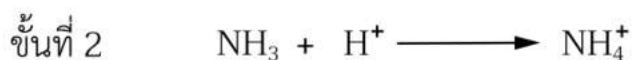
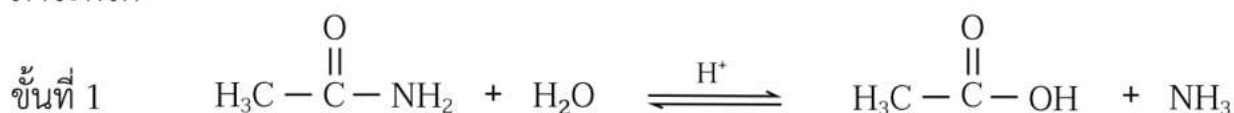
ข.  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  และ  $\text{CH}_3\text{NH}_2$

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอไมด์และปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน จัดเป็น **ปฏิกิริยาการควบแน่น** (condensation reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่รวมโมเลกุลตั้งแต่ 2 โมเลกุลให้เป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น โดยมีผลิตภัณฑ์พลอยได้ เช่น น้ำ เมทานอล แอมโมเนีย กรดแอสติค

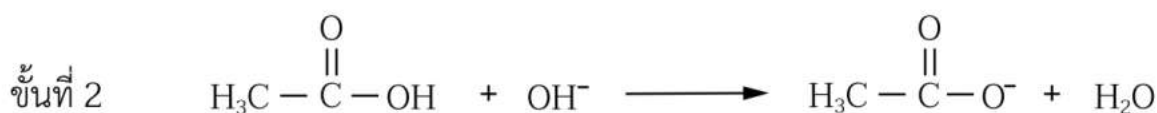
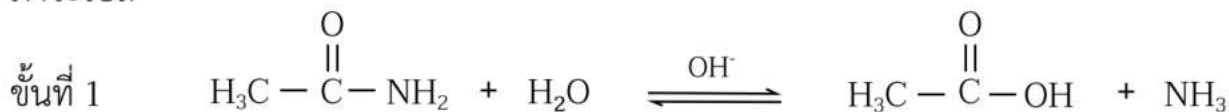
#### 12.7.6 ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอไมด์

เอไมด์สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้ทั้งภาวะกรดและเบส เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอทานาไมด์ โดยในภาวะกรดให้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดคาร์บอกซิลิกและเกลือแอมโมเนียม ส่วนในภาวะเบสให้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือคาร์บอกซิเลตและแอมโมเนีย ดังสมการเคมีต่อไปนี้

ภาวะกรด



ภาวะเบส





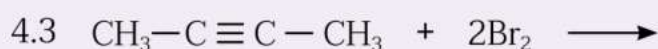
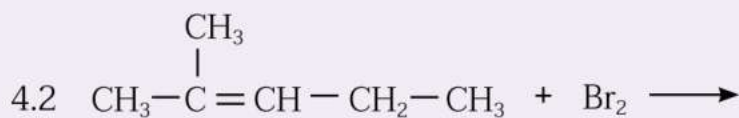
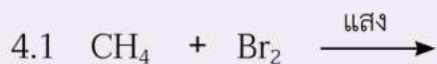


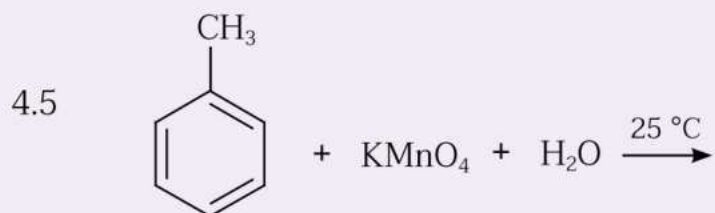
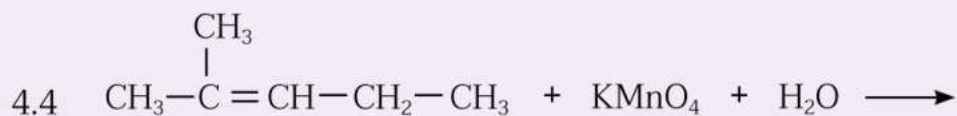
## แบบฝึกหัด 12.6

- เมื่อนำ pentane pent-1-ene และ pent-1-yne มาเผาภายใต้บรรยากาศปกติ สารใดให้ปริมาณเขม่ามากที่สุดและน้อยที่สุด เพราะเหตุใด
- เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของเฮกเซนและไซโคลเฮกเซน
- สาร A B C และ D มีสมบัติดังนี้

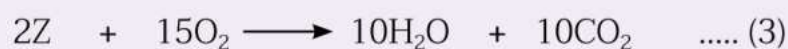
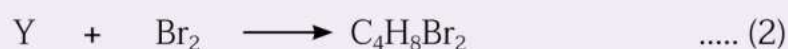
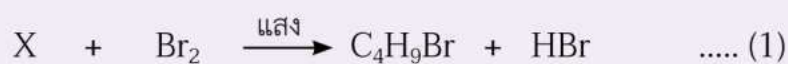
สาร	การละลายในน้ำ	การเผาไหม้ที่บรรยากาศปกติ
A	ละลาย	ติดไฟ ไม่มีเขม่า
B	ไม่ละลาย	ติดไฟ มีเขม่า
C	ละลาย	ไม่ติดไฟ
D	ไม่ละลาย	ติดไฟ ไม่มีควัน ไม่มีเขม่า

- สารใดมีโอกาสเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เพราะเหตุใด
  - สารใดมีโอกาสที่จะทำปฏิกิริยากับสารละลายโบรมีนในที่มืดได้
  - สารใดมีโอกาสที่จะทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตได้
- เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ พร้อมดุลสมการ





5. X Y และ Z เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเกิดปฏิกิริยาดังสมการเคมีต่อไปนี้



5.1 X Y และ Z มีสูตรโมเลกุลเป็นอย่างไร

5.2 สารใดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว และสารใดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว

5.3 ระบุประเภทของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

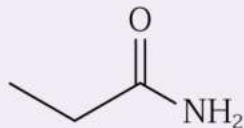
5.4 สาร Z ทำปฏิกิริยาฟอกจางสีสารละลายโบรมีนในที่มืด เขียนไอโซเมอร์โครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดของสาร Z

6. ไอโอดีน ( $I_2$ ) ที่อยู่ในสารละลายทิงเจอร์ไอโอดีน สามารถเกิดปฏิกิริยาการเติมได้ เช่นเดียวกับโบรมีน จึงสามารถนำมาใช้เป็นรีเอเจนต์ในการเปรียบเทียบความไม่อิ่มตัว ในน้ำมันได้ โดยเมื่อนำน้ำมัน 3 ชนิด ปริมาณเท่ากัน มาหยดสารละลายทิงเจอร์ไอโอดีน แล้วนับจำนวนหยดที่ใช้จนกระทั่งสีของสารละลายทิงเจอร์ไอโอดีนไม่จางหายไป ได้ผลการทดลองดังตาราง

ชนิดของน้ำมัน	จำนวนหยดของสารละลายทิงเจอร์ไอโอดีน
น้ำมันถั่วเหลือง	12
น้ำมันดอกทานตะวัน	15
น้ำมันหมู	2

น้ำมันชนิดใดมีร้อยละของกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากที่สุด เพราะเหตุใด

7. เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อเตรียมเบนซิลแอสีเตต ( $CH_3COOCH_2C_6H_5$ ) ซึ่งเป็นเอสเทอร์ที่มีกลิ่นหอมของดอกมะลิ
8. เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเมทิลซาลิซิลเลตทั้งในภาวะกรดและเบส
9. โพรพานาไมด์ มีโครงสร้างดังแสดง

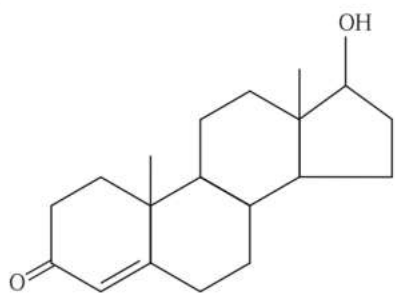


- 9.1 เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาการสังเคราะห์โพรพานาไมด์ จากปฏิกิริยาระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับเอมีนหรือแอมโมเนีย
- 9.2 เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของโพรพานาไมด์ ทั้งในภาวะกรดและเบส

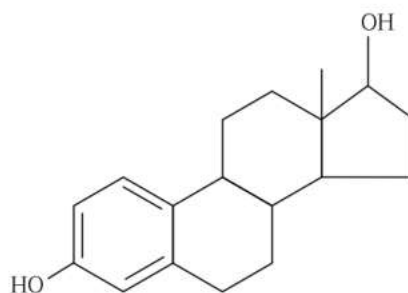
## 12.8 สารประกอบอินทรีย์ในชีวิตประจำวันและการนำไปใช้ประโยชน์

สารประกอบอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน กรดนิวคลีอิก เป็นองค์ประกอบสำคัญในสิ่งมีชีวิตและอาหาร ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติและสารประกอบอินทรีย์สังเคราะห์หลายชนิดใช้เป็นยารักษาโรค สารประกอบไฮโดรคาร์บอนใช้เป็นตัวทำละลายและเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์สารประกอบอินทรีย์ที่น่าสนใจดังตัวอย่างต่อไปนี้

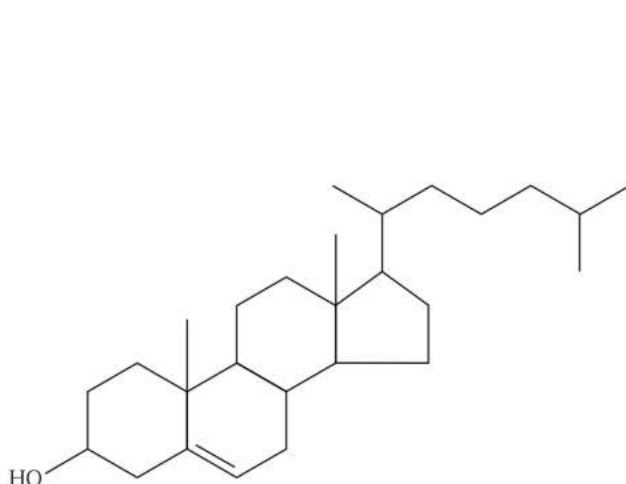
**สเตอรอยด์ (steroid)** เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นวงคาร์บอนหกเหลี่ยมและห้าเหลี่ยมเชื่อมต่อกัน เช่น เทสโทสเตอโรน เอสโตรเจน คอเลสเตอรอล วิตามินดี 3 มีโครงสร้างดังรูป 12.16



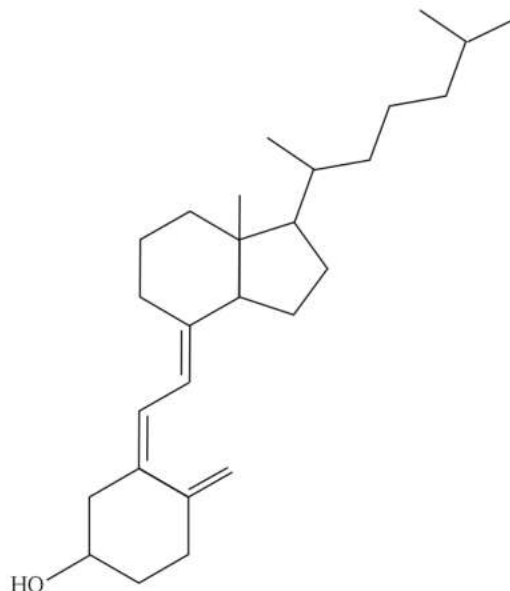
เทสโทสเตอโรน (ฮอร์โมนเพศชาย)



เอสโตรเจน (ฮอร์โมนเพศหญิง)



คอเลสเตอรอล

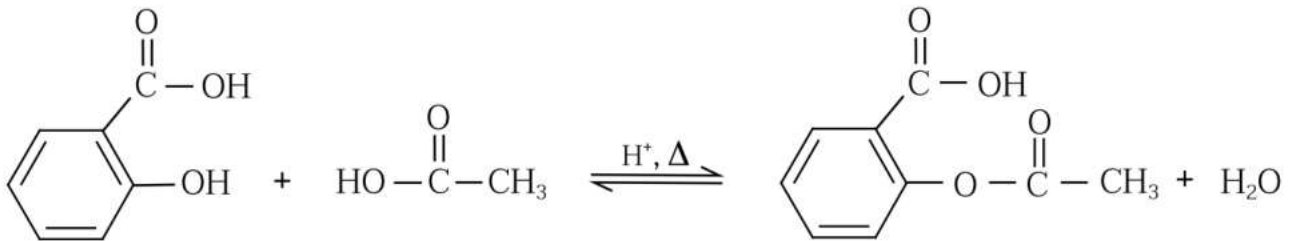


วิตามินดี 3

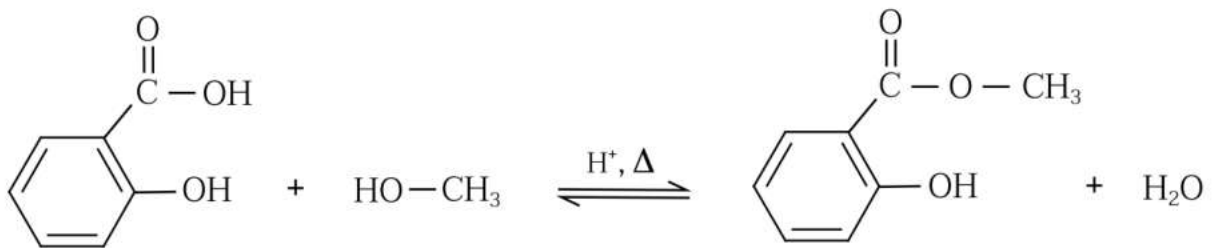
รูป 12.16 โครงสร้างของสเตอรอยด์บางชนิด

ในทางการแพทย์มีการนำสารประกอบประเภทสเตอรอยด์ไปใช้ประโยชน์ในด้านการรักษาโรคหรือบรรเทาอาการต่าง ๆ เช่น อาการบวม อักเสบ ริดสีดวง หอบหืด

**กรดซาลิซิลิก** (salicylic acid) สามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดแอสีทิลซาลิซิลิก (แอสไพริน) ซึ่งใช้เป็นยาบรรเทาอาการปวด ลดไข้ และแก้อักเสบ การสังเคราะห์แอสไพรินเป็นการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ดังสมการเคมี

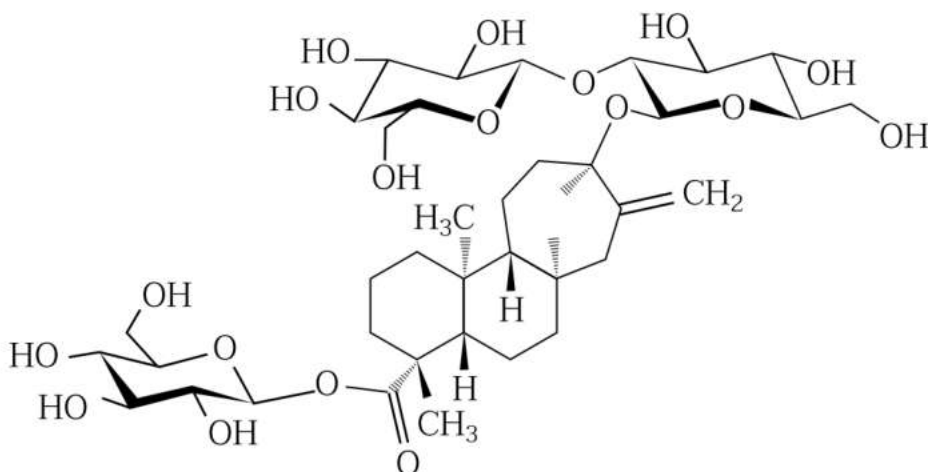


ถ้าให้กรดซาลิซิลิกทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลแทนกรดแอสีติก จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลซาลิซิเลต ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นยาบรรเทาอาการกล้ามเนื้ออักเสบได้



นอกจากสมบัติทางยาแล้ว ในอุตสาหกรรมอาหารยังมีการนำเมทิลซาลิซิเลตมาใช้เป็นสารให้กลิ่นรสสังเคราะห์ โดยเมทิลซาลิซิเลตจะให้กลิ่นคล้ายน้ำมันระกำ

**สตีวิโอไซด์** (stevioside) สกัดได้จากหญ้าหวาน เป็นสารที่มีรสหวานกว่าน้ำตาลทรายแต่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้จึงให้พลังงานต่ำ สามารถใช้เป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลในอุตสาหกรรมอาหาร

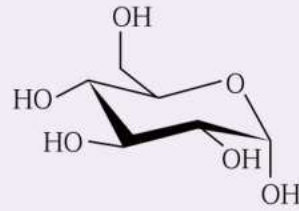
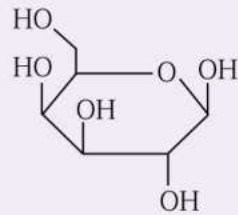


รูป 12.17 โครงสร้างของสตีวิโอไซด์

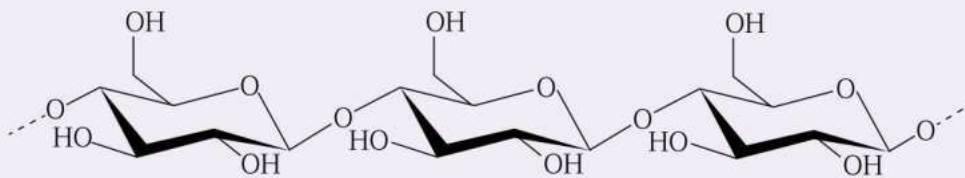
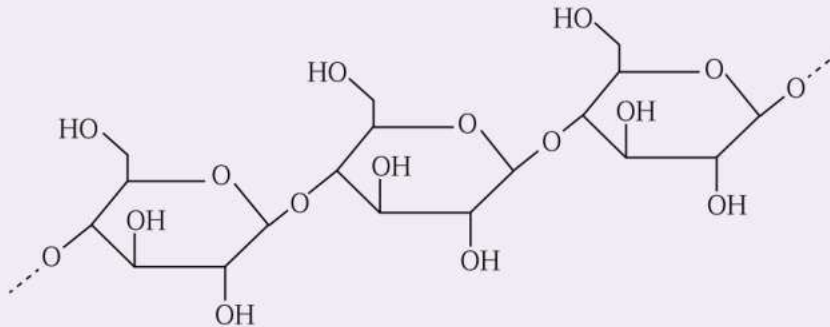


ความรู้เพิ่มเติม

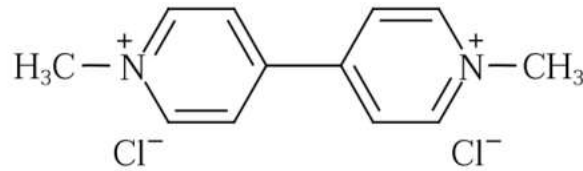
กลูโคสมีโครงสร้างทั้งแบบโซ่เปิดและแบบวง โครงสร้างที่เป็นแบบวงสามารถเขียนแสดงได้หลายแบบ ดังนี้



เซลลูโลส ซึ่งประกอบด้วยกลูโคสอาจแสดงโครงสร้างได้ดังนี้

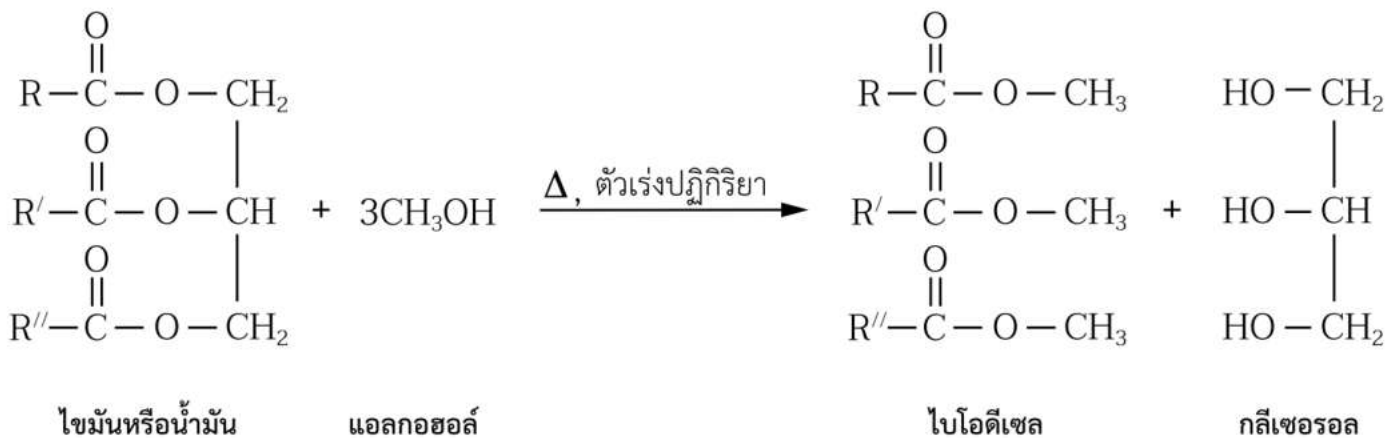


**พาราควอต (paraquat)** เป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีการใช้ในประเทศไทยอย่างแพร่หลาย โดยนิยมใช้ในรูปแบบของสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายเนื่องจากมีโครงสร้างที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ในน้ำดังรูป 12.18 อย่างไรก็ตามพาราควอตมีความเป็นพิษต่อมนุษย์สูง ในประเทศแถบยุโรปและอเมริกาจึงมีการห้ามหรือควบคุมการใช้สำหรับประเทศไทยปัจจุบันมีการพิจารณาให้เลิกใช้สารดังกล่าว



รูป 12.18 โครงสร้างของพาราควอต

**ไบโอดีเซล (biodiesel)** เป็นพลังงานทดแทนที่นิยมใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งปิโตรเลียม ไบโอดีเซลเป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไขมันกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล ตัวอย่างดังสมการเคมี



เนื่องจากไขมันที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลมีส่วนของกรดไขมันหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นไบโอดีเซลที่ได้จึงเป็นของผสมของเอสเทอร์หลายชนิด


**ศัพท์น่ารู้**

B5 คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 5:95  
 B100 คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์


**ชวนคิด**

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเหมือนและแตกต่างจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันอย่างไร

สารประกอบอินทรีย์ที่เป็นของเหลวหลายชนิดนิยมใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมดังตัวอย่าง

**เฮกเซน** เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว จุดเดือดต่ำ ระเหยง่าย จึงใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดหรือล้างไขมัน สกัดสารออกฤทธิ์จากสมุนไพร

**แอสีโตน** เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วน้อย ระเหยง่าย สามารถละลายสารประกอบอินทรีย์ได้หลากหลายชนิด จึงนิยมใช้เป็นตัวทำละลายและการล้างในห้องปฏิบัติการและอุตสาหกรรมโดยทั่วไป

**เมทานอล** เป็นตัวทำละลายอินทรีย์มีขั้ว จึงใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับสารประกอบอินทรีย์ที่มีขั้ว เช่น กรดคาร์บอกซิลิก แอลกอฮอล์ เอมีน เอไมด์

สารประกอบอินทรีย์มีประโยชน์มากมายที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน การเกษตร การแพทย์ และในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม หากนำไปใช้อย่างไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ เช่น การใช้ยาฆ่าแมลงในปริมาณที่มากเกินไป อาจทำให้เกิดสารตกค้างในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้สารประกอบอินทรีย์หลายชนิดส่วนใหญ่เป็นสารที่ติดไฟและบางชนิดระเหยง่ายซึ่งทำให้เป็นสารไวไฟที่เป็นอันตรายได้ จึงควรต้องใช้อย่างระมัดระวัง

นอกจากตัวอย่างประโยชน์ของสารประกอบอินทรีย์ที่กล่าวข้างต้นยังมีการใช้ประโยชน์จากสารประกอบอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ทั้งในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรมซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาเพิ่มเติมจากกิจกรรม 12.10





### กิจกรรม 12.10 สืบค้นข้อมูลของสารประกอบอินทรีย์

#### จุดประสงค์ของกิจกรรม

สืบค้นและนำเสนอข้อมูลของสารประกอบอินทรีย์เกี่ยวกับประโยชน์ อันตรายและข้อควรระวัง

#### วิธีทำกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับชื่อสาร โครงสร้าง และประโยชน์ รวมทั้งอันตรายและข้อควรระวังของการใช้สารประกอบอินทรีย์ โดยอาจแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องร่วมด้วย
2. นำเสนอข้อมูลการสืบค้น

นอกจากสารประกอบอินทรีย์ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น พอลิเมอร์ธรรมชาติ พอลิเมอร์สังเคราะห์ ซึ่งจะได้ศึกษาต่อไป



### สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

สารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบของคาร์บอน ส่วนใหญ่พบในสิ่งมีชีวิต มีโครงสร้างหลากหลายและแบ่งได้หลายประเภท เนื่องจากธาตุคาร์บอนสามารถเกิดพันธะโคเวเลนต์กับธาตุคาร์บอนด้วยพันธะเดี่ยว พันธะคู่ พันธะสาม นอกจากนี้ยังสามารถเกิดพันธะโคเวเลนต์กับธาตุอื่น ๆ ได้อีกด้วย และมีการนำสารประกอบอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์อย่างหลากหลาย โครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์แสดงได้ด้วยสูตรโครงสร้างลิวอิส สูตรโครงสร้างแบบย่อ หรือสูตรโครงสร้างแบบเส้น

สารประกอบอินทรีย์มีหลายประเภท การพิจารณาประเภทของสารประกอบอินทรีย์อาจใช้หมู่ฟังก์ชันเป็นเกณฑ์จัดได้เป็นแอลเคน แอลคีน แอลคีนี แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ อีเทอร์ แอลดีไฮด์ คีโตน กรดคาร์บอกซิลิก เอสเทอร์ เอมีน และเอไมด์ โดยสารประกอบอินทรีย์แต่ละประเภทมีชื่อเรียกที่สอดคล้องกับโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันตามระบบ IUPAC และบางชนิดอาจมีชื่อสามัญที่ยังนิยมใช้อยู่

ปรากฏการณ์ที่สารมีสูตรโมเลกุลเหมือนกันแต่มีสมบัติแตกต่างกัน เรียกว่า ไอโซเมอร์ซิม และเรียกสารแต่ละชนิดว่า ไอโซเมอร์ ไอโซเมอร์ที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกันแต่มีสูตรโครงสร้างต่างกัน เรียกว่า ไอโซเมอร์โครงสร้าง

สารประกอบอินทรีย์มีสมบัติทางกายภาพ เช่น จุดเดือด การละลายในน้ำ ขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชัน ขนาดโมเลกุล และโครงสร้าง สำหรับการละลายของสารพิจารณาได้จากความมีขั้วของสารและการเกิดพันธะไฮโดรเจน โดยสารสามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่มีขั้วใกล้เคียงกัน หรือโมเลกุลสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของตัวทำละลายได้

สมบัติทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์ขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันเป็นหลัก เช่น แอลเคน แอลคีน แอลคีนี แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ ปฏิกิริยากับโบรมีน และปฏิกิริยากับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต จะให้ผลของปฏิกิริยาต่างกัน จึงสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้

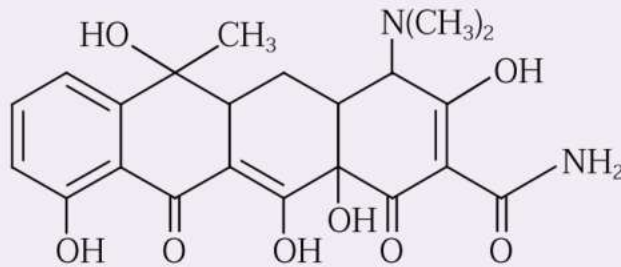
กรดคาร์บอกซิลิกทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ได้เป็นเอสเทอร์ เรียกว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน กรดคาร์บอกซิลิกทำปฏิกิริยากับเอมีนเกิดเป็นเอไมด์ เอสเทอร์และเอไมด์สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้ ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์ในเบสแอลคาไล เรียกว่า ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน

สารประกอบอินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายในชีวิตประจำวัน รวมทั้งนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นและตัวทำละลายในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงและพลังงาน อุตสาหกรรมอาหารและยา อุตสาหกรรมเกษตร



### แบบฝึกหัดท้ายบท

1. วงกลมล้อมรอบหมู่ฟังก์ชัน (ยกเว้น C-C) พร้อมทั้งระบุหมู่ฟังก์ชันและจำนวนของหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลเตตราไซคลิน (tetracycline) ซึ่งเป็นยาปฏิชีวนะที่ใช้ระงับการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งมีโครงสร้างดังนี้



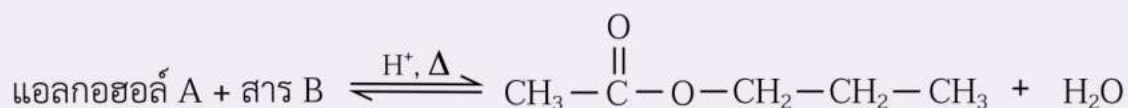
2. เขียนไอโซเมอร์โครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดของ  $C_3H_6O$
3. เหตุใดเพนเทนไม่ละลายในน้ำแต่เอทอกซีเพนละลายในน้ำได้
4. เรียงลำดับจุดเดือดของ propanamide pent-2-ene และ methyl ethanoate จากสารที่มีจุดเดือดสูงไปต่ำ พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ
5. การเผาไหม้โทลูอิน ( $C_7H_8$ ) มวล 23 กรัม ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) 33 กรัม ไอน้ำ ( $H_2O$ ) 18 กรัม แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $CO$ ) 14 กรัม และมีเขม่าคาร์บอน ( $C$ ) เกิดขึ้นปริมาณหนึ่ง (กำหนดให้ มวลต่อโมลของ  $H = 1$  กรัมต่อโมล  $C = 12$  กรัมต่อโมล และ  $O = 16$  กรัมต่อโมล)
  - 5.1 คำนวณมวลของเขม่าคาร์บอนที่เกิดขึ้น
  - 5.2 เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
6. สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่ง จำนวน 1 โมล เผาไหม้อย่างสมบูรณ์ให้ไอน้ำ 3 โมล และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 3 โมล เมื่อหยดไฮโดรคาร์บอนชนิดนี้ ลงในสารละลายโบรมีนในที่มีดพบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ถ้านำไปไว้ในที่สว่างเป็นเวลา 5 นาที สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นไม่มีสี จงตอบคำถามต่อไปนี้
  - 6.1 สารประกอบไฮโดรคาร์บอนนี้มีสูตรโมเลกุลอย่างไร
  - 6.2 เขียนสูตรโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนนี้พร้อมเรียกชื่อ
  - 6.3 เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนนี้

6.4 ปฏิกริยาระหว่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนนี้กับสารละลายโบรมีนคือปฏิกิริยาประเภทใด และเขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

7. เขียนสูตรโครงสร้างพร้อมเรียกชื่อสารตามระบบ IUPAC ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ได้จากปฏิกิริยาการแทนที่ 1 ตำแหน่ง ของ 2-เมทิลบิวเทน ด้วยโบรมีน

8. สารประกอบไฮโดรคาร์บอน A และ B มีสูตรโมเลกุลเหมือนกันเป็น  $C_4H_8$  สาร A ฟอกจางสีสารละลาย  $KMnO_4$  แต่สาร B ไม่ฟอกจางสีสารละลาย  $KMnO_4$  จากสมบัติดังกล่าว จงเขียนสูตรโครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั้งสองชนิด

9. พิจารณาสมการเคมีต่อไปนี้

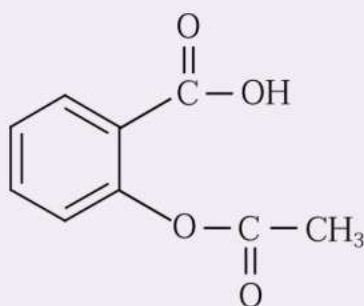


9.1 ระบุชื่อของปฏิกิริยาเคมีไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับ

9.2 ระบุชื่อและเขียนสูตรโครงสร้างของแอลกอฮอล์ A และสาร B

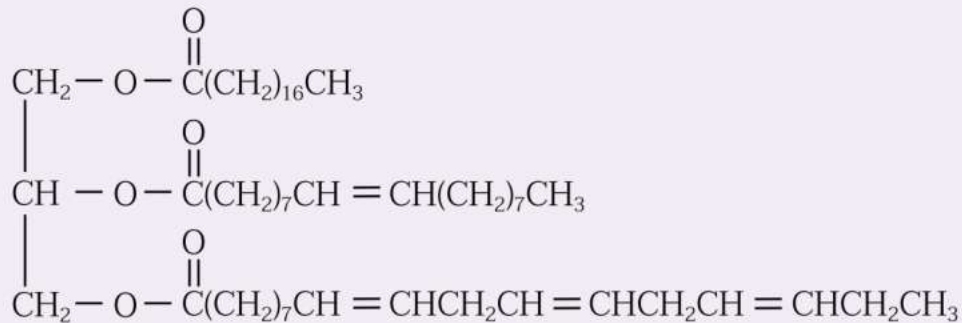
10. เอสเทอร์ที่มีกลิ่นคล้ายกล้วยหอมได้จากปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันของ ethanoic acid และ 3-methylbutan-1-ol จงเขียนสูตรโครงสร้างของเอสเทอร์นี้

11. เหตุใดยาแอสไพรินที่เก็บไว้นานจึงมีกลิ่นน้ำส้มสายชู จงอธิบายโดยเขียนสมการเคมีและระบุชื่อปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง

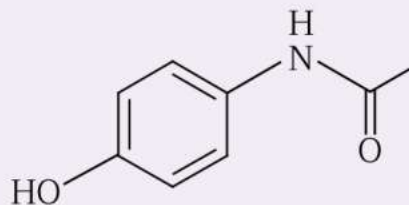


แอสไพริน

12. เขียนโครงสร้างของสบู่และผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดจากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ที่มีโครงสร้างดังแสดงกับโซเดียมไฮดรอกไซด์



13. โดยทั่วไปการเตรียมเอทานาไมด์ทำได้โดยการผสมกรดแอสติกกับแอมโมเนียเกิดเป็นเกลือแอมโมเนียมแอสเตต แล้วนำไปให้ความร้อน นักเรียนคิดว่าเพราะเหตุใดจึงต้องให้ความร้อน
14. แอเซตามิโนเฟนหรือที่รู้จักกันในชื่อพาราเซตามอลซึ่งใช้เป็นยาบรรเทาอาการปวดและลดไข้ มีสูตรโครงสร้างดังนี้



- 14.1 เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาการเตรียมแอเซตามิโนเฟนจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับเอมีนที่อุณหภูมิสูง
- 14.2 เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของแอเซตามิโนเฟนทั้งในภาวะกรดและเบส
15. วิตามินดี 3 ได้จากกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างของสารที่เป็นไอโซเมอร์กันโดยมีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารใดต่อไปนี้อาจเป็นสารตั้งต้นของวิตามินดี 3 ระหว่าง เทสโทสเตอโรน อีสโตรเจน คอเลสเตอรอล และดีไฮโดรคอเลสเตอรอล เพราะเหตุใด



พอลิเมอร์เป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ที่สามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์  
หลากหลายในชีวิตประจำวัน แต่พอลิเมอร์สังเคราะห์ส่วนใหญ่ย่อยสลายได้ช้า  
จึงควรใช้และกำจัดอย่างเหมาะสมเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



### คำถามสำคัญ

1. พอลิเมอร์เกิดจากปฏิกิริยาเคมีประเภทใด
2. สมบัติกับโครงสร้างของพอลิเมอร์มีความสัมพันธ์กันอย่างไร
3. พอลิเมอร์เทอร์มอพลาสติกและพอลิเมอร์เทอร์มอเซตมีสมบัติต่างกันอย่างไร
4. การปรับปรุงคุณภาพของพอลิเมอร์ทำได้อย่างไร
5. การใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอย่างไร และมีแนวทางแก้ไขอย่างไร



### จุดประสงค์การเรียนรู้

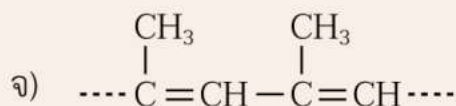
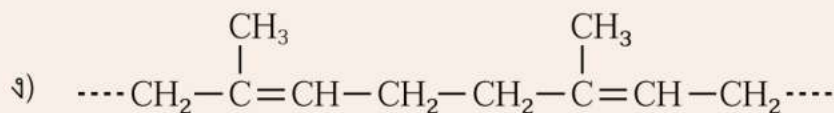
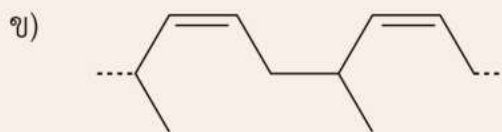
1. ระบุมอนอเมอร์ของพอลิเมอร์
2. ระบุประเภทของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์จากโครงสร้างของมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์
3. วิเคราะห์และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับสมบัติของพอลิเมอร์ และยกตัวอย่างการนำไปใช้ประโยชน์
4. ทดสอบและระบุประเภทของพอลิเมอร์ในผลิตภัณฑ์พลาสติกและผลิตภัณฑ์ยาง รวมทั้งการนำไปใช้ประโยชน์
5. อธิบายผลของการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์โดยการเติมสารเติมแต่ง การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของพอลิเมอร์ การสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ และการสังเคราะห์พอลิเมอร์นำไฟฟ้า
6. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างผลกระทบจากการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ พร้อมทั้งแนวทางแก้ไข



### ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

1. ใส่เครื่องหมาย **✓** หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย **✗** หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง
  - .....1.1 หมู่ฟังก์ชันของเอไมด์ คือ  $-\text{NH}_2$
  - .....1.2 ปฏิิกิริยาการเติมของแอลคีน ทำให้พันธะคู่เปลี่ยนเป็นพันธะเดี่ยว
  - .....1.3 ปฏิิกิริยาการควบแน่นระหว่างแอลกอฮอล์กับกรดคาร์บอกซิลิกได้เอสเทอร์และน้ำ
  - .....1.4 ปฏิิกิริยาการสังเคราะห์เอไมด์จากเอมีนและกรดคาร์บอกซิลิกจัดเป็นปฏิิกิริยาการเติม
  - .....1.5 เอไมด์มีจุดเดือดสูงกว่าเอสเทอร์ที่มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน เพราะเอไมด์มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล
  - .....1.6 พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแอลกอฮอล์ทำให้แอลกอฮอล์ละลายน้ำได้
  - .....1.7 โครงสร้างเรโซแนนซ์เกิดจากการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของอะตอมในโมเลกุล
  - .....1.8 พลาสต์ิกที่มีสัญลักษณ์รีไซเคิลทุกชนิดสามารถรีไซเคิลรวมกันได้โดยไม่ต้องคัดแยก

### 2. วงกลมล้อมรอบโครงสร้างที่เป็นสารเดียวกัน

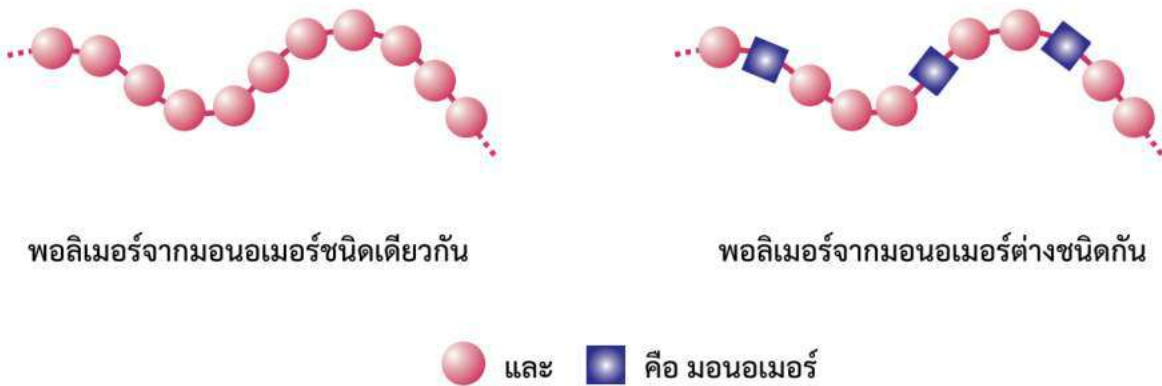




นักเรียนคงคุ้นเคยกับคำว่า พลาสติก และได้พบเห็นพลาสติกที่ใช้ในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลาย ตั้งแต่บรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ จนถึงอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือนและห้องเรียน พลาสติกเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งเรียกว่า พอลิเมอร์ ในบทเรียนนี้นักเรียนจะได้ศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ การปรับปรุงคุณภาพของพอลิเมอร์ รวมทั้งผลกระทบจากการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ และแนวทางแก้ไข

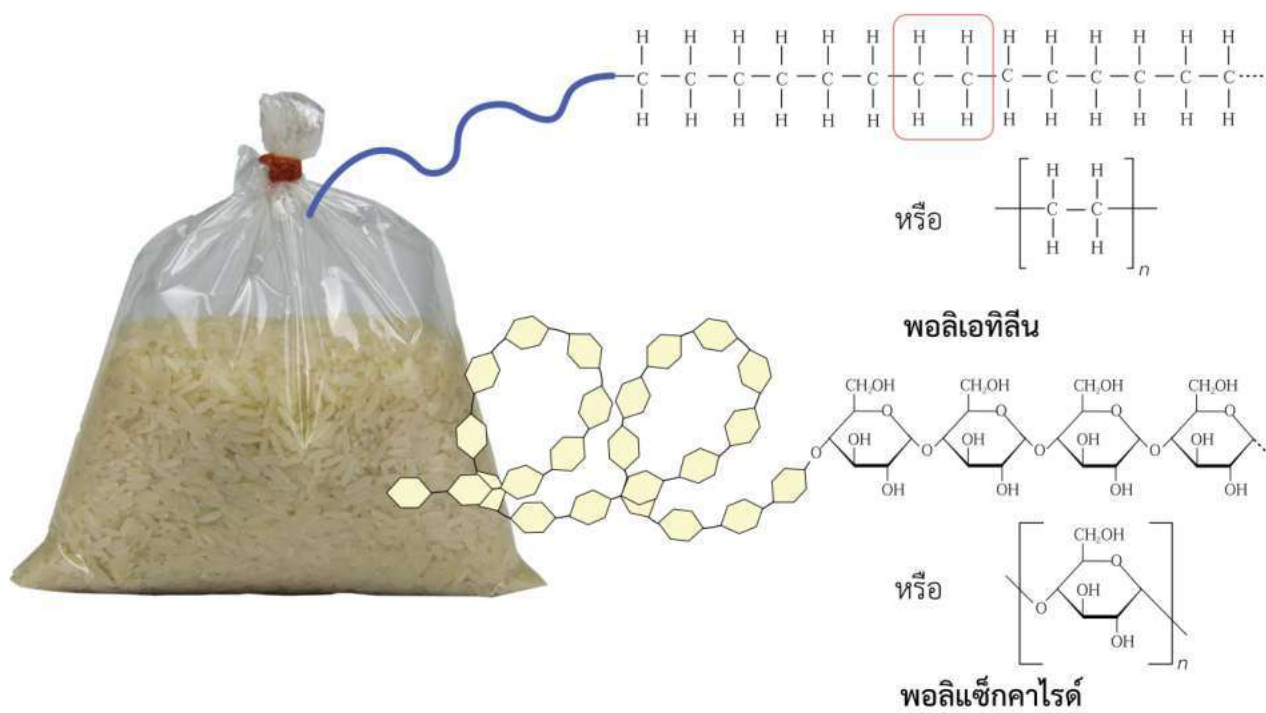
### 13.1 พอลิเมอร์และมอนอเมอร์

**พอลิเมอร์** (polymer) ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ได้จากสารโมเลกุลขนาดเล็กที่เรียกว่า **มอนอเมอร์** (monomer) จำนวนหลายโมเลกุลทำปฏิกิริยาเคมีกันแล้วเกิดการเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะโคเวเลนต์ โดยมอนอเมอร์อาจเป็นสารชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ ดังรูป 13.1



รูป 13.1 ภาพจำลองโมเลกุลของพอลิเมอร์และมอนอเมอร์

ผลิตภัณฑ์และเครื่องใช้ในชีวิตประจำวันหลายประเภททำมาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น ถังพลาสติก ขวดน้ำดื่มพลาสติก เชือกไนลอน ท่อน้ำพีวีซี นอกจากนี้ยังมีพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ เช่น แป้ง เซลลูโลส ไหม เส้นผม ดีเอ็นเอ ใยพารา พอลิเมอร์สังเคราะห์และพอลิเมอร์ธรรมชาติบางชนิดแสดงดังรูป 13.2



รูป 13.2 พอลิเอทิลีนที่ใช้ทำถุงพลาสติกและพอลิแซ็กคาไรด์ในข้าว

พอลิเมอร์มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่ามอนอเมอร์ ซึ่งส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ต่างจากมอนอเมอร์ พอลิเมอร์ส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่ามอนอเมอร์มาก และละลายในตัวทำละลายได้น้อยกว่า เช่น พอลิเอทิลีน (polyethylene) ที่ใช้ทำถุงพลาสติกมีสถานะเป็นของแข็งเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากแก๊สเอทิลีน พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ในแป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสละลายในน้ำได้น้อยกว่ากลูโคส ดังข้อมูลในตาราง 13.1

ตาราง 13.1 สมบัติบางประการของมอนอเมอร์และพอลิเมอร์บางชนิด

สาร	สถานะ	จุดหลอมเหลว (°C)	สภาพละลายได้ในน้ำ (g/L)
เอทิลีน (มอนอเมอร์)	แก๊ส	-169.2	0.035 (17 °C)
พอลิเอทิลีน (พอลิเมอร์)	ของแข็ง	115–135	ไม่ละลายในน้ำ
กลูโคส (มอนอเมอร์)	ของแข็ง	146	909 (25 °C)
พอลิแซ็กคาไรด์ในแป้ง (พอลิเมอร์)	ของแข็ง	สลายตัว	ไม่ละลายในน้ำ

โดยทั่วไปพอลิเมอร์มีความแข็งและเหนียวมากกว่ามอนอเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลาย สารละลายของพอลิเมอร์จะมีความหนืดมากกว่าสารละลายของมอนอเมอร์ เนื่องจากพอลิเมอร์มีโมเลกุลขนาดใหญ่จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากกว่ามอนอเมอร์



### ตรวจสอบความเข้าใจ

ขนมสายไหมทำจากน้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นไดแซ็กคาไรด์ ส่วนสำคัญเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ จึงเปรียบเทียบและอธิบายสมบัติการละลายน้ำและการทนแรงดึงของขนมสายไหมและลำลี

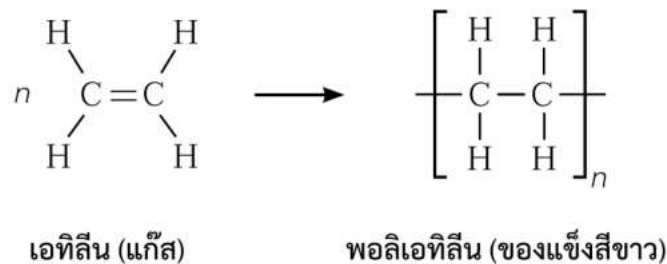
## 13.2 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์

ปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้มอนอเมอร์เชื่อมต่อกันเป็นพอลิเมอร์ เรียกว่า **ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์** (polymerization reaction) หรืออาจเรียกสั้น ๆ ว่า **การเกิดพอลิเมอร์** (polymerization) ซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบ ดังนี้

### 13.2.1 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบเติม


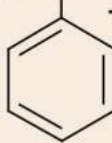
ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์ที่มีพันธะคู่ เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนพันธะคู่ในมอนอเมอร์ให้เป็นพันธะเดี่ยวที่เชื่อมระหว่างมอนอเมอร์ ซึ่งมีลักษณะเดียวกับปฏิกิริยาการเติมของแอลคีนจึงเรียกว่า **ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบเติม** (addition polymerization reaction)

โครงสร้างของพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบเติมมีองค์ประกอบของอะตอมเหมือนกับในมอนอเมอร์อย่างครบถ้วน เช่น พอลิเอทิลีน ได้จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบเติมของเอทิลีน ดังสมการเคมี



นอกจากพอลิเอทิลีนแล้ว ยังมีพอลิเมอร์อีกหลายชนิดที่เกิดจากปฏิกิริยาการเติมของแอลคีนชนิดอื่น เช่น พอลิโพรพิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน พอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน ดังตาราง 13.2

ตาราง 13.2 ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่เตรียมจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบเติม

มอนอเมอร์	พอลิเมอร์	สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
เอทิลีน (ethylene)  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$	พอลิเอทิลีน (polyethylene, PE)  $\left[ \text{CH}_2-\text{CH}_2 \right]_n$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- โค้งงอได้ เหนียว</li> <li>- ป้องกันการผ่านของไอน้ำได้ดี แต่อากาศผ่านได้เล็กน้อย</li> <li>- จุดหลอมเหลวต่ำกว่าพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดอื่น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ถุงใส่ของเย็น ถุงหิ้ว</li> <li>- กล่องพลาสติก</li> <li>- ขวดพลาสติกขุ่น</li> <li>- ฝาขวด</li> </ul>
โพรพิลีน (propylene)  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$	พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP)  $\left[ \text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right]_n$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีสมบัติคล้ายกับพอลิเอทิลีน แต่ทนความร้อนได้ดีกว่า และแข็งแรงกว่า</li> <li>- ทนต่อแรงดึงและการขีดข่วน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ถุงใส่ของร้อน</li> <li>- หลอดพลาสติก</li> <li>- ภาชนะที่ใช้กับไมโครเวฟ</li> <li>- หลอดฉีดยา</li> </ul>
ไวนิลคลอไรด์ (vinyl chloride)  $\text{CH}_2=\text{CHCl}$	พอลิไวนิลคลอไรด์ (poly(vinyl chloride), PVC)  $\left[ \text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right]_n$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- แข็งและคงรูป</li> <li>- ทนต่อความชื้น สารเคมี และการขีดถู</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ท่อน้ำ สายยาง</li> <li>- ไม้เทียม</li> <li>- แผ่นยางปูพื้น</li> <li>- หนังเทียม</li> <li>- ปลอกฉนวนสายไฟ</li> </ul>
สไตรีน (styrene)  $\text{CH}_2=\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}$ 	พอลิสไตรีน (polystyrene, PS)  $\left[ \text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} \right]_n$ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- แข็งและเปราะ</li> <li>- ใส โปร่งแสง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- โฟมกันกระแทก</li> <li>- โฟมบรรจุอาหาร</li> <li>- วัสดุช่วยพยุงให้ลอยน้ำ</li> <li>- ซ้อนส้อมพลาสติก</li> <li>- กล่องพลาสติกใส</li> </ul>

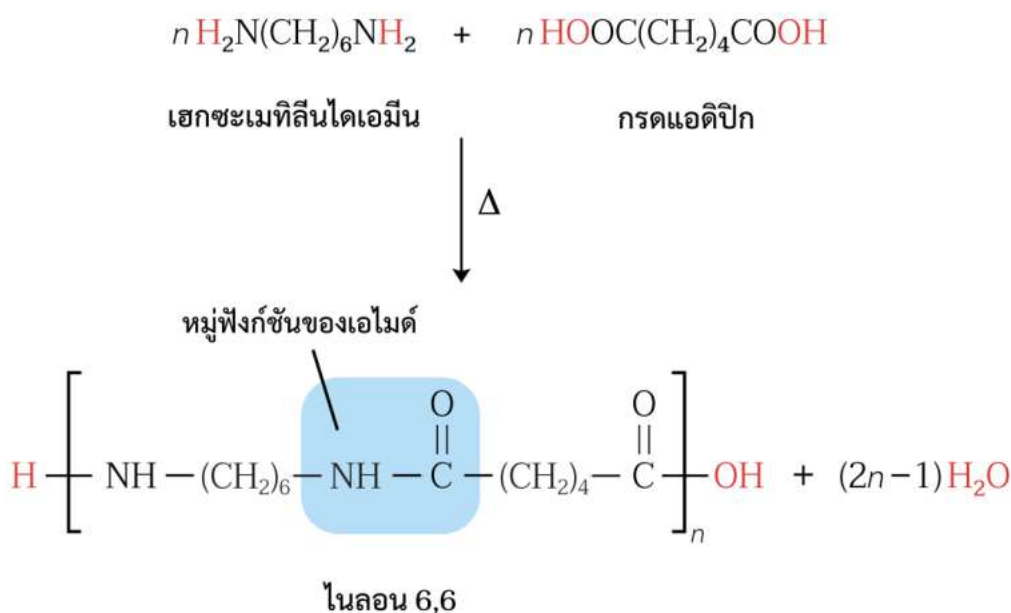
มอนอเมอร์	พอลิเมอร์	สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
เตตระฟลูออโรเอทิลีน (tetrafluoroethylene)  $\text{CF}_2 = \text{CF}_2$	พอลิตเตตระฟลูออโรเอทิลีน (polytetrafluoroethylene, PTFE หรือ เทฟลอน)  $\left[ \text{CF}_2 - \text{CF}_2 \right]_n$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ทนความร้อนได้สูง</li> <li>- ทนสารเคมีและตัวทำละลาย</li> <li>- ฉนวน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สารเคลือบผิว</li> <li>- ภาชนะเพื่อป้องกันการเกาะติด และการกัดกร่อน</li> <li>- ฉนวนหุ้มสายส่งสัญญาณ</li> <li>- ภาชนะใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์</li> </ul>

หมายเหตุ - การเรียกชื่อมอนอเมอร์และพอลิเมอร์นิยมใช้ชื่อสามัญ  
 - เทฟลอนเป็นชื่อทางการค้า

### 13.2.2 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น

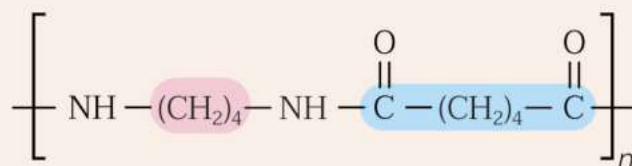
ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์จากมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกันแล้วมีส่วนของหมู่ฟังก์ชันหลุดออกไปในลักษณะเดียวกับปฏิกิริยาควบแน่นของการเกิดเอสเทอร์หรือเอไมด์ เรียกว่า **ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น** (condensation polymerization reaction) เช่น กรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอล์หรือเอมีน ได้พอลิเอสเทอร์หรือพอลิเอไมด์ โดยมีน้ำเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้

ตัวอย่างปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น เช่น การสังเคราะห์ไนลอน 6,6 ซึ่งเป็นพอลิเอไมด์ชนิดหนึ่ง แสดงได้ดังนี้



#### รู้หรือไม่

การเรียกชื่อไนลอนนิยมระบุจำนวนอะตอมของคาร์บอนในไดเอมีน ตามด้วยจำนวนอะตอมของคาร์บอนในไดแอซิด เช่น ไนลอน 4,6 มีโครงสร้างดังแสดง


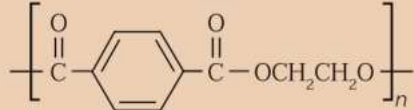
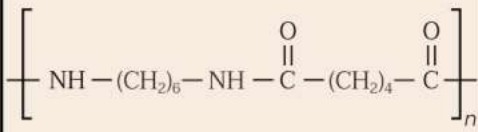
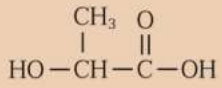
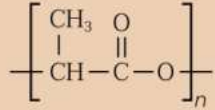
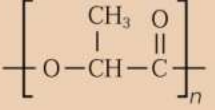


คาร์บอน 4 อะตอมจากเตตระเมทิลีนไดเอมีน

คาร์บอน 6 อะตอมจากกรดแอดิปิก

ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่นแสดงดังตาราง 13.3

ตาราง 13.3 ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่เตรียมจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น

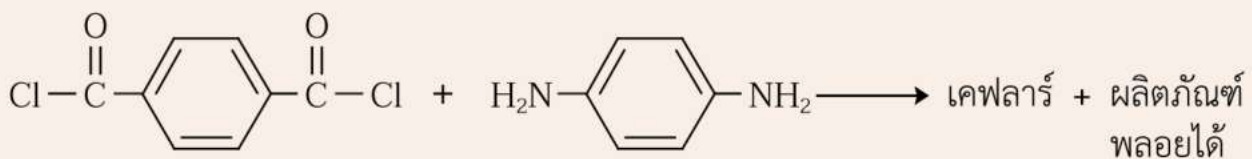
มอนอเมอร์	พอลิเมอร์	สมบัติ	ผลิตภัณฑ์หรือการใช้ประโยชน์
กรดเทเรฟทาลิก (terephthalic acid)  + เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (poly(ethylene terephthalate), PET หรือ PETE) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- แข็งและเหนียว</li> <li>- ทนต่อความชื้นและการขีดถู</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ขวดน้ำดื่ม</li> <li>- ถุงขนมขบเคี้ยว</li> <li>- เส้นใยสังเคราะห์</li> <li>- เชือกเอ็น</li> <li>- เส้นเอ็น</li> </ul>
เฮกซะเมทิลีนไดเอมีน (hexamethylenediamine) $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$ + กรดแอดิพิก (adipic acid) $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	ไนลอน 6,6 (nylon 6,6) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- แข็งแรง เหนียว</li> <li>- ต้านทานแรงดึงและแรงฉีกขาด</li> <li>- ทนต่อการกัดกร่อนและการเสียดสี</li> <li>- ยืดหยุ่นได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เชือกไนลอน</li> <li>- ถุงน่อง ถุงเท้า ไนลอน</li> <li>- เฟือง ล้อ ลูกกลิ้ง</li> <li>- ร่มชูชีพ</li> </ul>
กรดแลคติก (lactic acid) 	พอลิแลคติกแอซิด (poly(lactic acid), PLA)  หรือ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ</li> <li>- แข็ง เปราะ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- โหมลละลาย</li> <li>- ถุงเพาะชำ</li> <li>- แก้ว ข้อนส้อมพลาสติก</li> <li>- ใช้เคลือบแก้ว กระดาษ</li> </ul>



## ชวนคิด

แอสิดคลอไรด์ (acid chloride) มีหมู่ฟังก์ชันเป็น  $-COCl$  และมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี สามารถใช้แทนกรดคาร์บอกซิลิกในการสังเคราะห์พอลิเอไมด์ เช่น เคฟลาร์ (Kevlar) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ทำเส้นใยที่มีความเหนียว และทนความร้อนสูงนำไปทำเสื้อกันกระสุน

เขียนโครงสร้างเคฟลาร์และผลิตภัณฑ์พลอยได้จากปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้



## ความรู้เพิ่มเติม

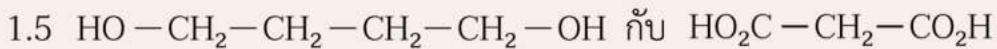
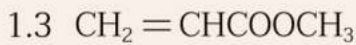
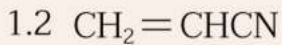
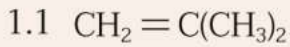
มอนอเมอร์หลายชนิด เช่น เอทิลีน โพรพิลีน สไตรีน เอทิลีนไกลคอล กรดเทเรฟแทลิก ได้มาจากแก๊สธรรมชาติหรือน้ำมันดิบที่ผ่านกระบวนการทางเคมีในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี



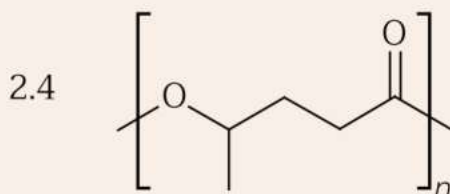
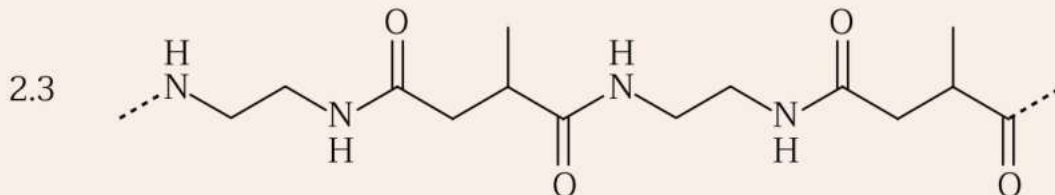
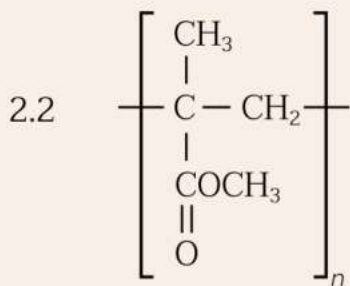
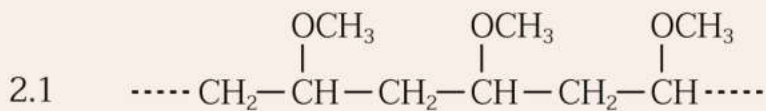


## แบบฝึกหัด 13.1

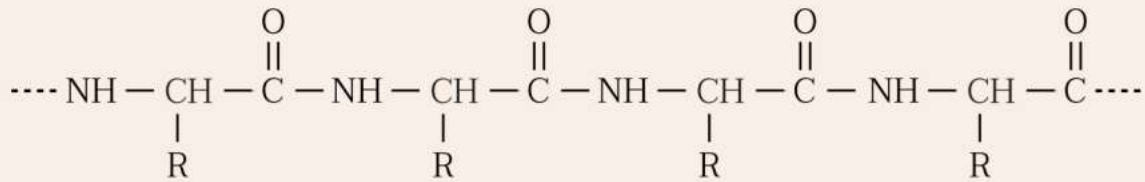
1. เขียนโครงสร้างพอลิเมอร์ที่ได้จากมอนอเมอร์ต่อไปนี้ พร้อมทั้งระบุว่าปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เป็นแบบใด



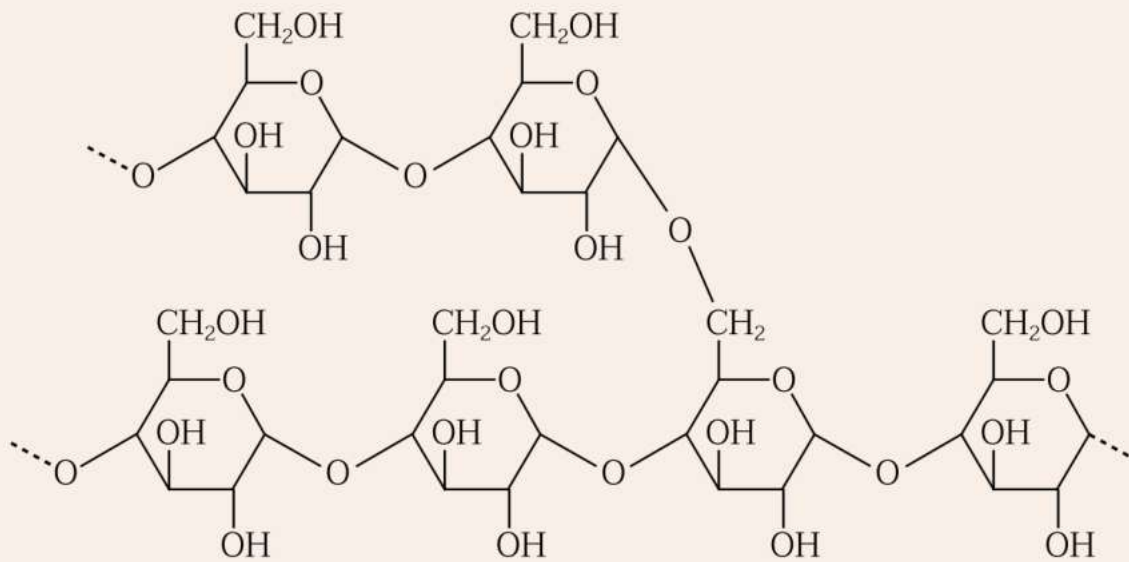
2. เขียนโครงสร้างของมอนอเมอร์จากสายพอลิเมอร์ต่อไปนี้ พร้อมทั้งระบุว่าปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เป็นแบบใด



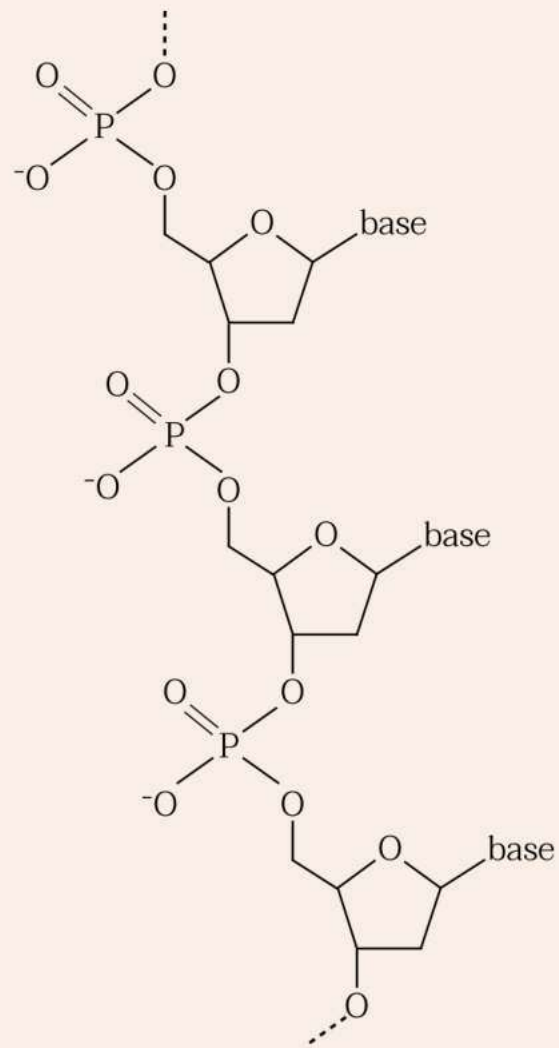
3. โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ และกรดนิวคลีอิก เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติซึ่งเป็นส่วนประกอบ และมีหน้าที่สำคัญในสิ่งมีชีวิต ตัวอย่างโครงสร้างดังแสดง



พอลิเพปไทด์ในโปรตีน



พอลิแซ็กคาไรด์ในไกลโคเจน



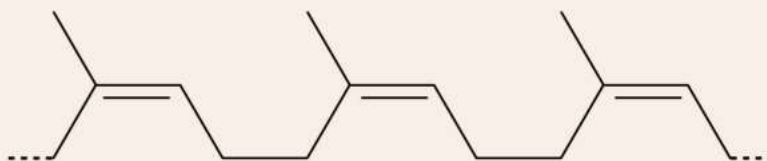
กรดนิวคลีอิก

พอลิเมอร์แต่ละชนิดได้จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบใด และเกิดจากมอนอเมอร์ที่มีสูตรโครงสร้างอย่างไร

4. พอลิบิวทาไดอีน (polybutadiene) เป็นยางสังเคราะห์ที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ดังต่อไปนี้



ยางธรรมชาติ เช่น ยางพารา มีโครงสร้างดังแสดง



หากต้องการสังเคราะห์ยางที่มีโครงสร้างเหมือนกับยางพารา ควรใช้สารใดเป็นมอนอเมอร์ และปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เป็นแบบใด

### 13.3 โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์

โครงสร้างของพอลิเมอร์มีผลต่อการจัดเรียงตัวของสายพอลิเมอร์และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งส่งผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ เช่น ความหนาแน่น จุดหลอมเหลว โครงสร้างของพอลิเมอร์แบ่งได้เป็น 3 แบบ ได้แก่ พอลิเมอร์แบบเส้น (linear polymer) พอลิเมอร์แบบกิ่ง (branched polymer) พอลิเมอร์แบบร่างแห (network polymer) ดังรูป 13.3



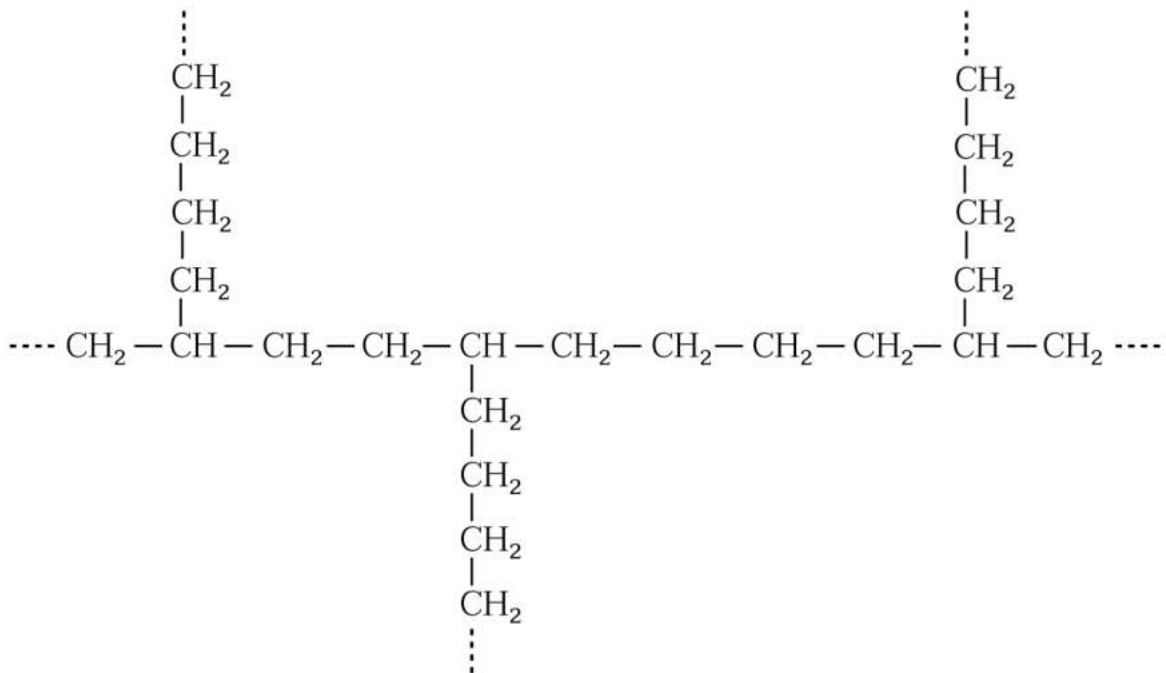
รูป 13.3 โครงสร้างของพอลิเมอร์แบบต่าง ๆ

#### พอลิเมอร์แบบเส้น

เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์สร้างพันธะโคเวเลนต์ต่อกันเป็นโซ่ยาว เช่น พอลิเอทิลีน ความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) พอลิโพรพิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต ไนลอน 6,6 ซึ่งมีโครงสร้างแสดงในตาราง 13.2 และ 13.3 พอลิเมอร์เหล่านี้มีสายโซ่เรียงชิดกัน จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูง ทำให้มีความหนาแน่นสูง แข็งและเหนียว

### พอลิเมอร์แบบกิ่ง

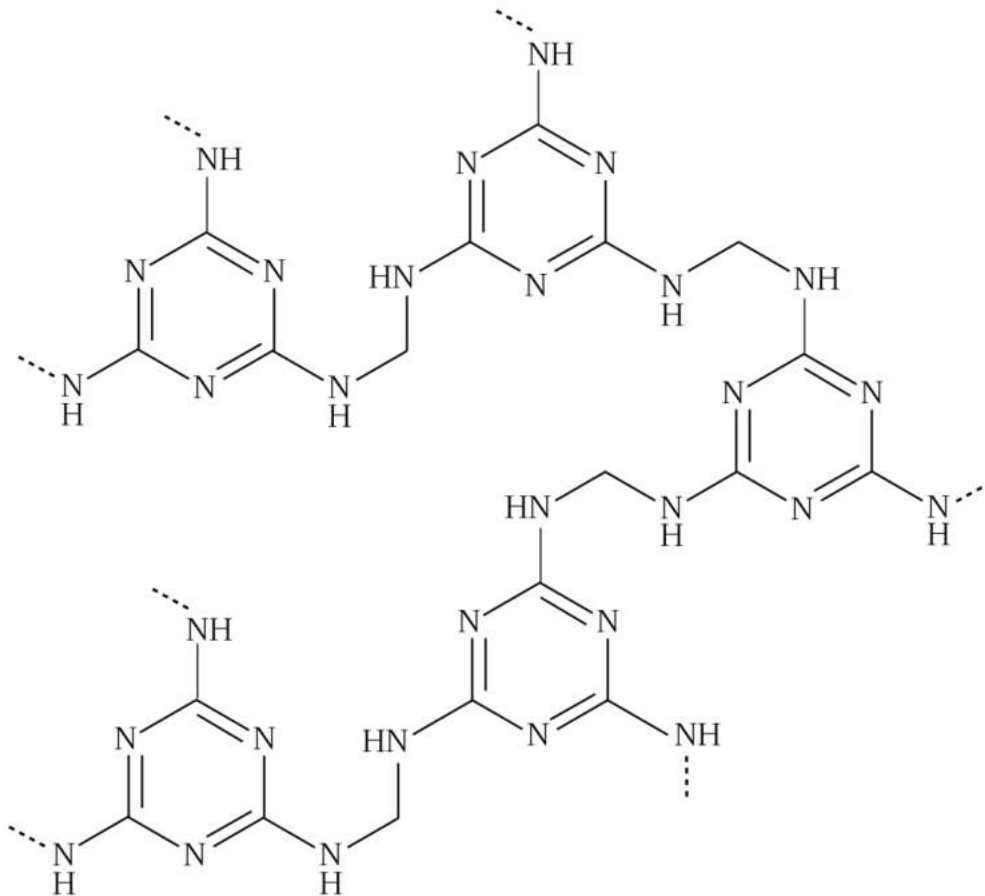
เป็นพอลิเมอร์ที่มีพอลิเมอร์สายสั้นแตกแขนงเป็นกิ่งออกจากโซ่หลัก เช่น พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) ดังรูป 13.4 ซึ่งโครงสร้างแบบกิ่งทำให้โซ่พอลิเมอร์หลักไม่สามารถเรียงตัวชิดกันได้ จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลต่ำกว่าพอลิเมอร์แบบเส้นของมอนอเมอร์ชนิดเดียวกัน ทำให้มีความหนาแน่นต่ำ จุดหลอมเหลวต่ำ แข็งและเหนียวน้อยกว่า



รูป 13.4 โครงสร้างของ LDPE

### พอลิเมอร์แบบร่างแห

เป็นพอลิเมอร์ที่มีการเชื่อมขวาง (crosslink) ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ต่อกันเป็นร่างแห เช่น เมลามีน-ฟอร์แมลดีไฮด์ (melamine-formaldehyde, MF หรือชื่อทางการค้า คือ เมลามีน) ซึ่งมีโครงสร้างแบบร่างแห ดังรูป 13.5 โดยมีพันธะโคเวเลนต์เชื่อมต่อระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้มีความแข็งแรงมาก มีสมบัติแข็ง แต่ไม่เหนียว เมื่อได้รับความร้อนจะไม่หลอมเหลว



รูป 13.5 โครงสร้างเมลามีน-ฟอร์แมลดีไฮด์



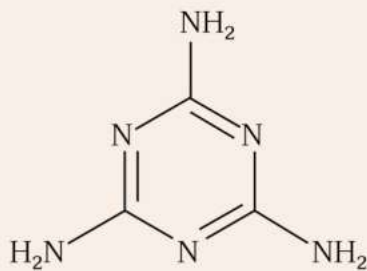
### ตรวจสอบความเข้าใจ

1. ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ (phenol-formaldehyde) หรือเบเคอไลต์ (bakelite) เป็นพอลิเมอร์ที่แข็ง ทนไฟ ไม่หลอมเหลว เป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี นิยมใช้ทำด้ามหรือหูจับของอุปกรณ์เครื่องครัว แผงวงจร สวิตช์ไฟฟ้า โครงสร้างของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นแบบใด
2. ฟิล์มยืดห่ออาหารและถุงหิ้วที่ทำมาจากพอลิเอทิลีน ผลิตภัณฑ์ใดทำจาก HDPE และผลิตภัณฑ์ใดทำจาก LDPE เพราะเหตุใด

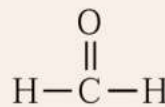


### ชวนคิด

เมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ (melamine-formaldehyde) โครงสร้างดังรูป 13.5 ได้จากการทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ระหว่างเมลามีนกับฟอร์มัลดีไฮด์ ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์นี้เป็นแบบใด เพราะเหตุใด



เมลามีน

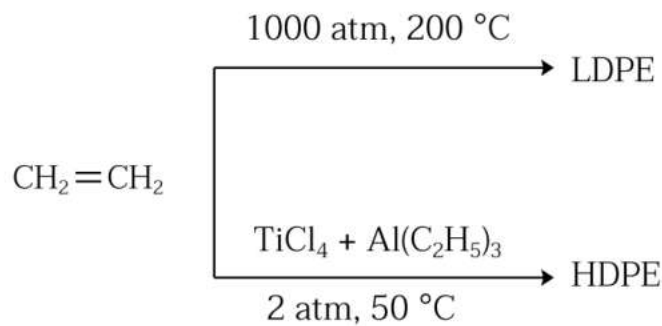


ฟอร์มัลดีไฮด์

มอนอเมอร์บางชนิด หากทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์โดยใช้ภาวะต่างกัน จะได้พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างต่างกัน เช่น เมื่อนำเอทิลีนมาทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิและความดันสูง ได้พอลิเอทิลีนที่มีโครงสร้างแบบกึ่ง เรียกว่า LDPE แต่ถ้าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและความดันต่ำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา<sup>4</sup> จะได้พอลิเอทิลีนที่มีโครงสร้างแบบเส้น เรียกว่า HDPE

<sup>4</sup>คาร์ล ซิกเลอร์ (Karl Ziegler) และ จูเลีย นัตตา (Giulio Natta) ค้นพบการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตพอลิเมอร์จากแอลคีน ซึ่งทำให้ได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมี ปี พ.ศ. 2506





HDPE และ LDPE มีสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน จึงนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน ดังตาราง 13.4

ตาราง 13.4 สมบัติบางประการและการใช้ประโยชน์ของ HDPE และ LDPE

พอลิเมอร์	ความหนาแน่น (g/mL)	จุดหลอมเหลว (°C)	สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
HDPE	0.93–0.97	160	แข็ง เหนียว	- ถุงหิ้ว - ขวดพลาสติกขุ่น - ฝาขวด
LDPE	0.92–0.93	130	แข็งและเหนียว น้อยกว่า HDPE	- ถุงใส่ของเย็น - กล่องพลาสติก

สมบัติของพอลิเมอร์ เช่น ความหนาแน่น จุดหลอมเหลว ความเหนียว นอกจากขึ้นกับโครงสร้างแบบเส้น แบบกิ่ง และแบบร่างแหแล้ว ยังขึ้นกับมวลโมเลกุลและหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์อีกด้วย โดยถ้ามวลโมเลกุลเพิ่มขึ้นหรือมีหมู่ฟังก์ชันที่เกิดพันธะไฮโดรเจนได้ จะทำให้สมบัติเหล่านี้มีค่าเพิ่มขึ้น

การนำผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ไปใช้ประโยชน์ต้องคำนึงถึงสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ เช่น ความแข็ง ความเหนียว รวมทั้งสมบัติที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ เช่น การทนความร้อนของพอลิเมอร์ พอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อนแล้วมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร จะได้ศึกษาจากกิจกรรมต่อไปนี้



### กิจกรรม 13.1 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อน

#### จุดประสงค์ของกิจกรรม

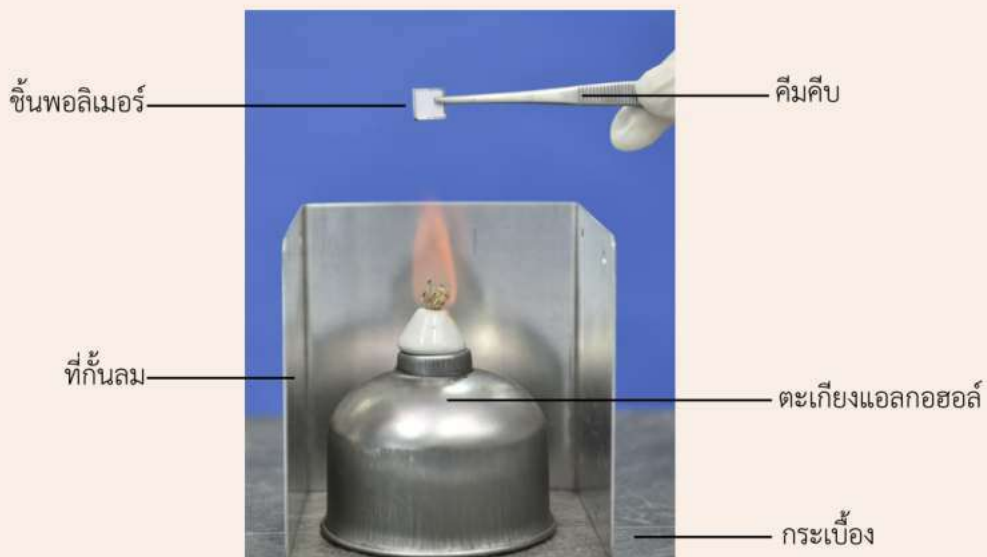
เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อน

#### วัสดุและอุปกรณ์

1. ชิ้นพอลิเมอร์จากผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ขวดน้ำดื่ม หลอดพลาสติก ภาชนะเมลามีน ยางลบ
2. ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลม
3. แผ่นกระเบื้อง
4. คีมคีบ

#### วิธีทำกิจกรรม

1. สังเกตลักษณะของชิ้นพอลิเมอร์และบันทึกผล
2. คีบชิ้นพอลิเมอร์แล้วนำไปไว้เหนือเปลวไฟประมาณ 2 cm ดังรูป ประมาณ 3–5 วินาที สังเกตลักษณะและบันทึกผล หากชิ้นพอลิเมอร์อ่อนตัวหรือหลอมเหลวให้รับนำชิ้นพอลิเมอร์ออก



รูปอุปกรณ์สำหรับทดสอบการเผาชิ้นพอลิเมอร์

3. นำชิ้นพอลิเมอร์ที่ออกจากไฟแล้วมาวางไว้จนเย็นตัวลง สังเกตรูปร่างเปรียบเทียบกับก่อนได้รับความร้อนและบันทึกผล
4. ทำการทดสอบซ้ำจนครบทุกตัวอย่าง

### ข้อควรระวัง

1. ไม่ควรนำชิ้นพอลิเมอร์ใส่เข้าไปในเปลวไฟโดยตรง ให้นำไปไว้เหนือเปลวไฟเท่านั้น
2. ควรทำการทดลองในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเท เนื่องจากการเผาพอลิเมอร์อาจมีกลิ่นเหม็น และเกิดแก๊สที่เป็นอันตราย

### คำถามท้ายกิจกรรม

1. ตัวอย่างชิ้นพอลิเมอร์ใดมีการอ่อนตัวหรือหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน
2. ตัวอย่างชิ้นพอลิเมอร์ในข้อ 1 เมื่ออุณหภูมิลดลงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
3. ถ้าใช้การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนเป็นเกณฑ์จะแบ่งกลุ่มของพอลิเมอร์ได้กี่กลุ่ม แต่ละกลุ่มเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อได้รับความร้อน

พอลิเมอร์ต่างชนิดกันเมื่อได้รับความร้อนอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างกัน โดยพอลิเมอร์ที่อ่อนตัวหรือหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน และแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง เรียกว่า **พอลิเมอร์เทอร์มอพลาสติก (thermoplastic polymer)** พอลิเมอร์ประเภทนี้สามารถนำมาหลอมขึ้นรูปใหม่ได้ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน พอลิเมอร์เทอร์มอพลาสติกมีโครงสร้างแบบเส้นและแบบกิ่ง ซึ่งนิยมนำมาใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ขึ้นรูปได้ง่าย เช่น ภาชนะบรรจุภัณฑ์ ของเล่น อุปกรณ์ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ส่วนพอลิเมอร์ที่ไม่อ่อนตัวหรือไม่หลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน แต่อาจเกิดการสลายตัวหรือไหม้เมื่อได้รับความร้อนสูง เรียกว่า **พอลิเมอร์เทอร์มอเซต (thermosetting polymer)** พอลิเมอร์ประเภทนี้จึงไม่สามารถนำมาหลอมขึ้นรูปใหม่ได้ เช่น ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ พอลิยูรีเทน (polyurethane) ยางวัลคาไนซ์ (vulcanized rubber) พอลิเมอร์เทอร์มอเซตส่วนใหญ่มีโครงสร้างแบบร่างแห นิยมนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์หรืออุปกรณ์ที่ต้องการความคงทน ทนความร้อนสูง และบางกรณีมีความยืดหยุ่นและคืนรูปได้ดี เช่น ยาง อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการพัฒนาพอลิเมอร์เทอร์มอพลาสติกชนิดใหม่ ๆ ที่มีสมบัติเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับพอลิเมอร์เทอร์มอเซต เพื่อนำมาใช้แทนพอลิเมอร์เทอร์มอเซตและสามารถทำการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์หลังการใช้ได้



### ตรวจสอบความเข้าใจ

จากกิจกรรม 13.1 ผลิตภัณฑ์ชนิดใดทำมาจากพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติกและชนิดใดทำมาจากพอลิเมอร์เทอร์โมเซต



### แบบฝึกหัด 13.2

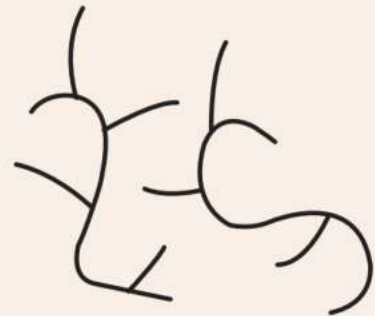
- พอลิเมอร์ A B และ C มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน สัมเคราะห์จากมอนอเมอร์ชนิดเดียวกัน แต่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างให้ต่างกัน ดังแสดง



พอลิเมอร์ A



พอลิเมอร์ B



พอลิเมอร์ C

จากโครงสร้างของพอลิเมอร์ A B และ C พอลิเมอร์ใดมีสมบัติต่อไปนี้

- จุดหลอมเหลวต่ำที่สุด
  - ความหนาแน่นมากที่สุด
  - แข็งที่สุด
  - เป็นพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติก
- ยางรถยนต์มีองค์ประกอบเป็นยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการเชื่อมขวาง (crosslink) ระหว่างสายพอลิเมอร์ ยางรถยนต์สามารถนำมารีไซเคิลได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

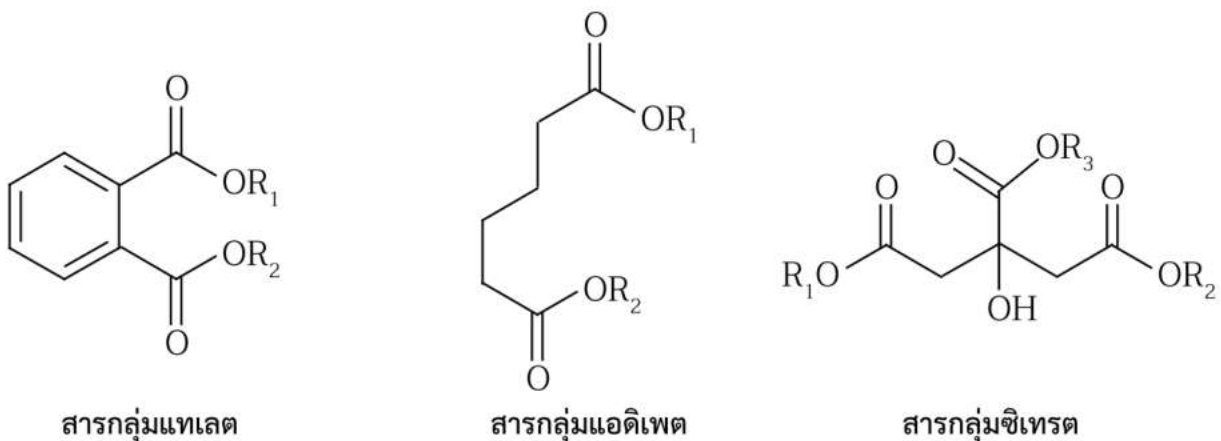
### 13.4 การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์

ผลิตภัณฑ์ในชีวิตประจำวันหลายชนิด เช่น ภาชนะ บรรจุภัณฑ์ เครื่องนุ่งห่ม ส่วนประกอบ ยานพาหนะ อุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องใช้ในครัว มีพอลิเมอร์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ ส่วนใหญ่มีการปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว นักเรียนคิดว่าการปรับปรุงสมบัติของ พอลิเมอร์สามารถทำได้ด้วยวิธีการใดบ้าง

#### 13.4.1 การเติมสารเติมแต่ง

การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ทำได้โดยการเติมสารเติมแต่ง (additive) ลงไปในพอลิเมอร์ เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการ ซึ่งสารที่เติมลงในพอลิเมอร์อาจเข้าไปแทรกกระหว่างสายพอลิเมอร์โดยไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี สารเติมแต่งบางชนิดอาจทำให้จุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์ลดลง ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น โค้งงอได้ดีขึ้น ไม่แตกหักง่าย สารเติมแต่งดังกล่าวเรียกว่า **พลาสติกไซเซอร์** (plasticizer) หรือ สารเสริมสภาพพลาสติก ซึ่งพบได้ทั่วไปในผลิตภัณฑ์พลาสติกเกือบทุกชนิด เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ ที่เป็น พลาสติกแข็งใช้ทำท่อน้ำ สามารถทำให้มีสมบัติอ่อน นิ่ม โค้งงอ เพื่อใช้ทำฉนวนหุ้มสายไฟฟ้าหรือฟิล์มยืดห่ออาหารได้ โดยการเติมพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสม

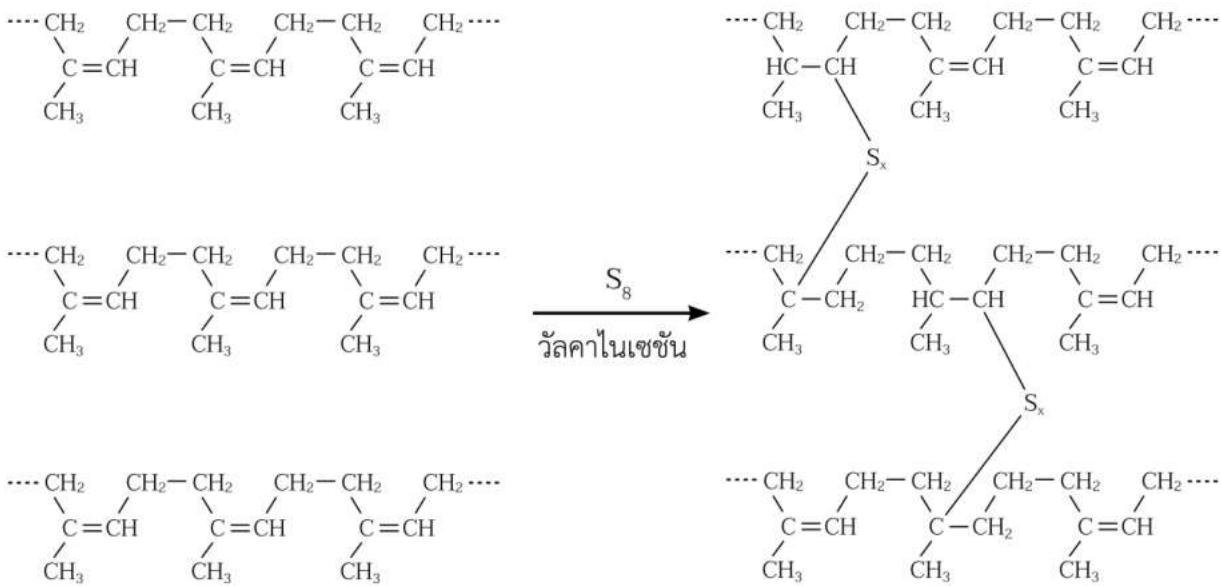
พลาสติกไซเซอร์เป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าพอลิเมอร์มาก ตัวอย่างพลาสติกไซเซอร์ที่ นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เช่น สารกลุ่มฟทาเลต (phthalates) สารกลุ่มแอดิเพต (adipates) สารกลุ่ม ซิเตรต (citrates) ซึ่งมีโครงสร้างดังรูป 13.6 การใช้สารพลาสติกไซเซอร์ต้องคำนึงถึงความปลอดภัย ความเสถียร และความคงทน เนื่องจากพลาสติกไซเซอร์ไม่ได้เชื่อมต่อกับสายพอลิเมอร์ จึงหลุดออกจาก เนื้อพลาสติกได้ เช่น พลาสติกไซเซอร์ในภาชนะบรรจุอาหารอาจหลุดออกมาปนเปื้อนในอาหารที่ อุ่นร้อนหรือมีไขมันมาก พลาสติกไซเซอร์ในอุปกรณ์หรือเฟอร์นิเจอร์พลาสติก อาจหลุดออกมาเมื่อ ได้รับความร้อน เมื่อพลาสติกไซเซอร์ในพลาสติกลดลง พลาสติกจะเปราะและแตกร้าวได้ง่ายขึ้น



รูป 13.6 โครงสร้างสารพลาสติกไซเซอร์บางชนิด

นอกจากนี้การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์อาจทำได้โดยการเติมสารเคมีบางชนิดลงไปทำปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์ เช่น การเติมกำมะถันลงในยางพาราภายใต้ภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการวัลคาไนเซชัน<sup>5</sup> (vulcanization) ทำให้ยางพาราที่มีสมบัติอ่อนนิ่มและคืนตัวได้ไม่ดี เปลี่ยนเป็นยางที่มีความคงรูปและคืนตัวได้ดีขึ้น สามารถนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ยางรถยนต์ ยางวง

องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ของยางพาราประกอบด้วยพอลิไอโซพรีน (polyisoprene) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์แบบเส้นที่มีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง เมื่อผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน กำมะถันจะทำปฏิกิริยาการเติมลงบนพันธะคู่ เกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายพอลิเมอร์ ดังรูป 13.7

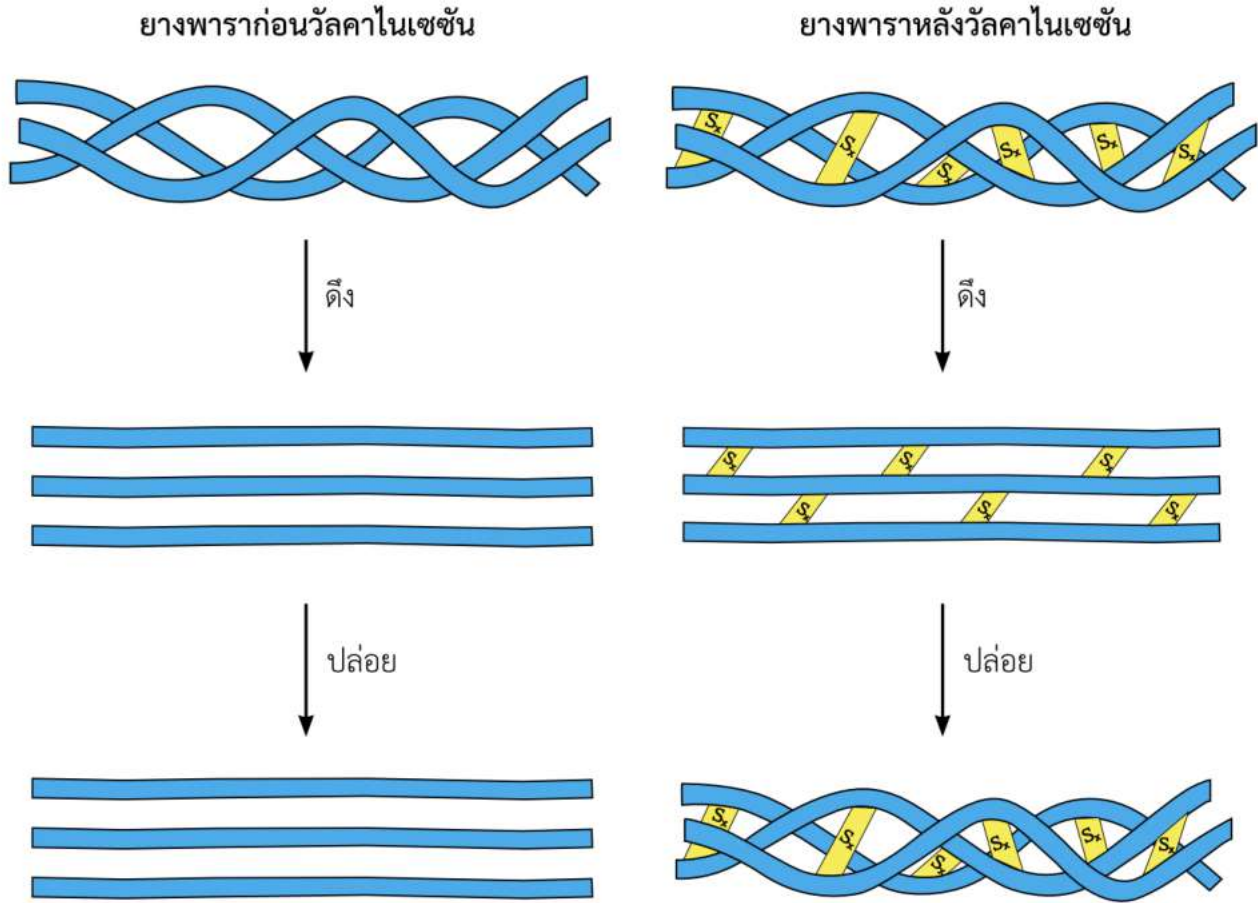


x แทนจำนวนอะตอมกำมะถัน ซึ่งมีค่าประมาณ 2-4

รูป 13.7 โครงสร้างของยางพาราและตัวอย่างโครงสร้างของยางพารา หลังกระบวนการวัลคาไนเซชันกับกำมะถัน

<sup>5</sup>ค้นพบโดย ชาลส์ กูดเยียร์ (Charles Goodyear)

สายพอลิไอโซพรีนในยางพาราก่อนกระบวนการวัลคาไนเซชันจะรวมตัวกันเป็นเกลียวคล้ายสปริงยาวที่ซ้อนกันอย่างหลวม ๆ มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายพอลิเมอร์เป็นแรงแผ่กระจายลอนดอนที่ไม่แข็งแรง ทำให้สายพอลิเมอร์เลื่อนตำแหน่งหรือแยกออกจากกันได้ง่าย หลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน พันธะที่เชื่อมขวางระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์จะช่วยยึดเหนี่ยวให้สายพอลิเมอร์คืนตัวกลับมารูปร่างเดิมได้หลังการดึงแล้วปล่อย ยางจึงมีสมบัติคงรูปและคืนตัวได้ดีขึ้น ดังรูป 13.8

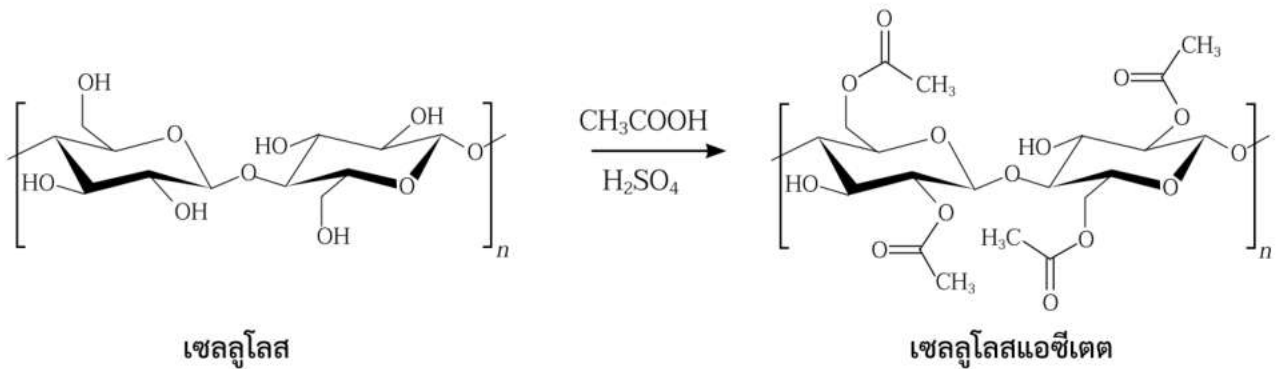


รูป 13.8 ภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงของสายพอลิเมอร์ในยางพาราก่อนและหลังกระบวนการวัลคาไนเซชันเมื่อออกแรงดึง

### 13.4.2 การปรับเปลี่ยนโครงสร้างพอลิเมอร์

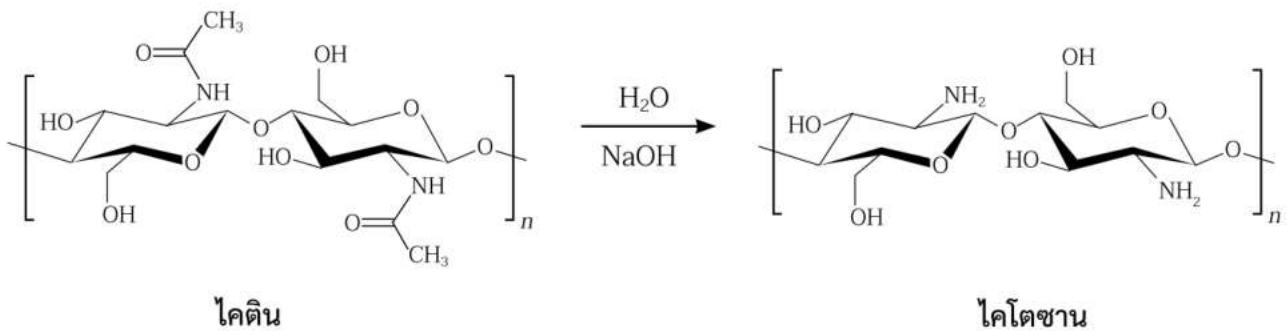
การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์บางชนิดอาจทำได้โดยการทำปฏิกิริยาเคมีบนสายพอลิเมอร์ ซึ่งจะทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างและสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

**เซลลูโลสแอซีเตต** (cellulose acetate, CA) ได้จากการทำปฏิกิริยาของเซลลูโลสกับกรดแอซีติกเข้มข้น โดยมีกรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังรูป 13.9 ทำให้ได้เซลลูโลสแอซีเตตที่สามารถหลอมขึ้นรูปเป็นแผ่นหรือทำเป็นเส้นใยได้ ซึ่งต่างจากเซลลูโลสที่ไม่สามารถหลอมได้



รูป 13.9 การผลิตเซลลูโลสแอซีเตตจากเซลลูโลส

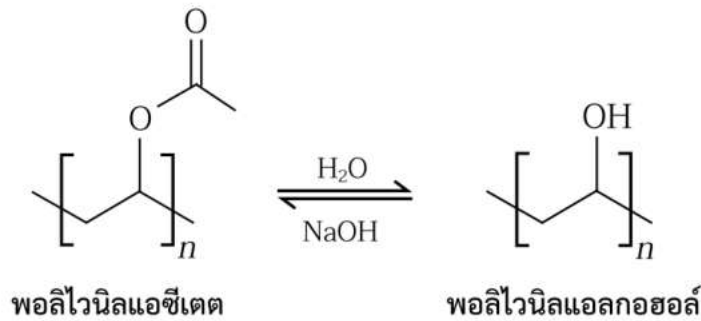
**ไคโตซาน** (chitosan) ได้จากการนำไคติน (chitin) ไปทำปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสในสภาวะที่เป็นเบส ดังรูป 13.10 ซึ่งไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในเปลือกกุ้ง กระจดองปู แกนหมึก เปลือกแมลง ฯลฯ เนื่องจากไคโตซานมีหมู่  $-NH_2$  ซึ่งมีสมบัติเป็นเบสทำให้ไคโตซานสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดอ่อนได้เป็นเกลือที่ละลายในน้ำได้ต่างจากไคตินที่ไม่ละลายในน้ำ จึงสามารถนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายกว่าไคติน



รูป 13.10 การผลิตไคโตซานจากไคติน



**พอลิไวนิลแอลกอฮอล์** (poly(vinyl alcohol), PVA) ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของพอลิไวนิลแอสีเตต (poly(vinyl acetate), PVAc) ดังรูป 13.11 พอลิเมอร์ที่ได้มีสมบัติการละลายน้ำที่ดีขึ้น นิยมนำไปใช้ในการทำกาว อิมัลซิฟายเออร์ ฯลฯ

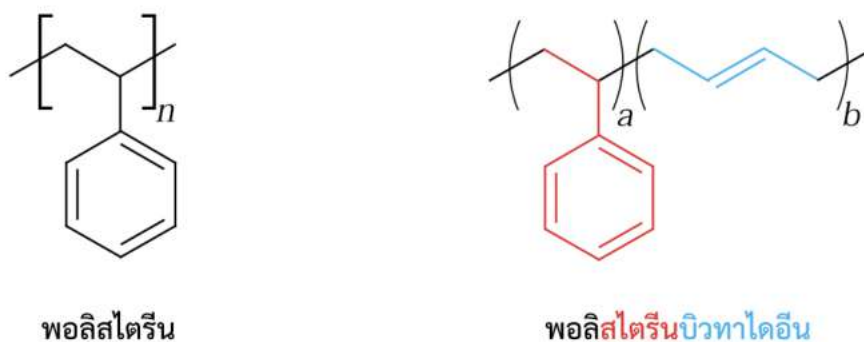


รูป 13.11 การผลิตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากพอลิไวนิลแอสีเตต

ทั้งนี้หากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดบนสายพอลิเมอร์เกิดไม่สมบูรณ์หรือมีปฏิกิริยาข้างเคียงจะทำให้มีองค์ประกอบทั้งส่วนของพอลิเมอร์เดิมและส่วนของพอลิเมอร์ที่ทำปฏิกิริยาแล้วผสมกัน

### 13.4.3 โคพอลิเมอร์

พอลิสไตรีนได้จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบเติมของมอนอเมอร์เพียงชนิดเดียวคือ สไตรีนจัดเป็นโฮโมพอลิเมอร์ (homopolymer) แต่หากนำสไตรีนมาทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์กับมอนอเมอร์ชนิดอื่น เช่น บิวทาไดอีนจะได้พอลิเมอร์ที่จัดเป็น โคพอลิเมอร์ (copolymer) ดังแสดงในรูป 13.12<sup>6</sup>



รูป 13.12 ตัวอย่างโฮโมพอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบเติม

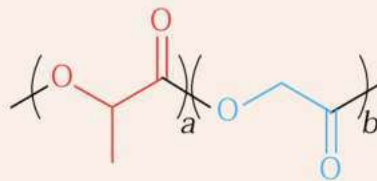
<sup>6</sup> โดยทั่วไป สัญลักษณ์ [ ] ใช้แสดงส่วนของโครงสร้างที่ซ้ำกันจำนวนมาก ส่วนสัญลักษณ์ ( ) ใช้แสดงส่วนของโครงสร้างที่มีจำนวนตั้งแต่ 1 หน่วยขึ้นไป



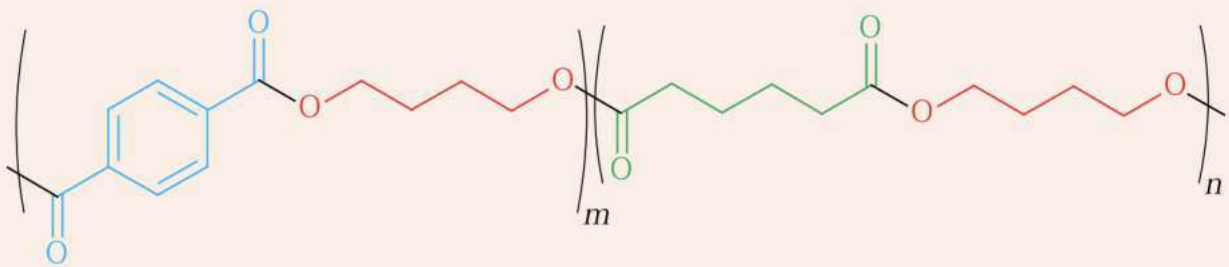
### ความรู้เพิ่มเติม

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate, PET) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาการควบแน่นระหว่างกรดเทเรฟทาลิกกับเอทิลีนไกลคอล ไม่นิยมจัดเป็นโคพอลิเมอร์

ตัวอย่างโคพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น เช่น พอลิแลกติก-โค-ไกลโคลิกแอซิด (poly(lactic-co-glycolic acid, PLGA หรือ PLG) ได้จากปฏิกิริยาการควบแน่นของกรดแลกติกและกรดไกลโคลิก พอลิบิวทิลีนแอดิเพตเทเรฟทาเลต (poly(butylene adipate terephthalate), PBAT) ได้จากปฏิกิริยาการควบแน่นของ กรดแอดิพิค บิวเทน-1,4-ไดออล และกรดเทเรฟทาลิก



พอลิแลกติก-โค-ไกลโคลิกแอซิด



พอลิบิวทิลีนแอดิเพตเทเรฟทาเลต

ตัวอย่างโคพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น

โคพอลิเมอร์อาจจำแนกตามลักษณะการเรียงตัวของมอนอเมอร์ได้เป็น 4 ประเภท คือ แบบสุ่ม แบบสลับ แบบบล็อก และแบบตอกิ่ง ตัวอย่างดังแสดง

แบบสุ่ม	-A-B-A-A-B-B-A-B-A-A-A-	หรือ	$-(A)_a-(B)_b-$
แบบสลับ	-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-	หรือ	$-[A-B]_n-$
แบบบล็อก	-A-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-	หรือ	$-[A]_a-[B]_b-$
แบบตอกิ่ง	-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-   B-B-B-B-B-B-		

โดยทั่วไปการทำโคพอลิเมอร์โดยการผสมมอนอเมอร์สองชนิดให้ทำปฏิกิริยากันจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม ส่วนโคพอลิเมอร์แบบสลับหรือแบบบล็อก สามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยการควบคุมลำดับการเข้าทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์

สมบัติของโคพอลิเมอร์ต่างจากสมบัติของโฮโมพอลิเมอร์ และยังขึ้นอยู่กับลักษณะการเรียงตัวของมอนอเมอร์ที่อยู่ในสายของโคพอลิเมอร์ซึ่งศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้



### กิจกรรม 13.2 สมบัติของโคพอลิเมอร์

#### จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. เปรียบเทียบสมบัติของโคพอลิเมอร์กับโฮโมพอลิเมอร์
2. เปรียบเทียบสมบัติของโคพอลิเมอร์แบบสลับกับแบบบล็อก

#### วัสดุและอุปกรณ์

1. ลวดเสียบกระดาษ
2. ยางวงเล็ก
3. บีกเกอร์ขนาด 600 mL
4. ตลับเมตร
5. ขวดบรรจุน้ำ 100 mL
6. ขาดั่งพร้อมที่หนีบ

### วิธีทำกิจกรรม

1. สร้างแบบจำลองของพอลิเมอร์ ดังนี้
  - 1.1 นำลวดเสียบกระดาษจำนวน 10 ตัว มาร้อยต่อกันเป็นเส้นตรง กำหนดให้เป็นแบบจำลองพอลิเมอร์ที่ 1
  - 1.2 นำยางวงจำนวน 10 เส้น มาร้อยต่อกันเป็นเส้นตรง กำหนดให้เป็นแบบจำลองพอลิเมอร์ที่ 2
  - 1.3 นำยางวงและลวดเสียบกระดาษอย่างละ 5 อัน มาร้อยต่อกันให้เป็นโคพอลิเมอร์แบบสลับ กำหนดให้เป็นแบบจำลองพอลิเมอร์ที่ 3
  - 1.4 นำยางวงและลวดเสียบกระดาษอย่างละ 5 อัน มาร้อยต่อให้เป็นโคพอลิเมอร์แบบบล็อก กำหนดให้เป็นแบบจำลองพอลิเมอร์ที่ 4
2. ทดสอบแบบจำลองแต่ละแบบ ดังนี้
  - 2.1 วัดและบันทึกความยาวของแบบจำลองพอลิเมอร์ที่ 1
  - 2.2 ผูกปลายด้านหนึ่งของแบบจำลองพอลิเมอร์ที่ 1 ด้วยขดบรรจุน้ำ และยึดปลายอีกด้านหนึ่งของแบบจำลองไว้กับที่หนีบซึ่งต่อกับขาตั้ง โดยไม่ให้ขดบรรจุน้ำแตะพื้น ดังรูป วัดความยาวและสังเกตลักษณะการยืดของแบบจำลอง พร้อมคำนวณความยาวที่ยืดได้ และบันทึกผล



รูปการจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบการยืดของแบบจำลองพอลิเมอร์

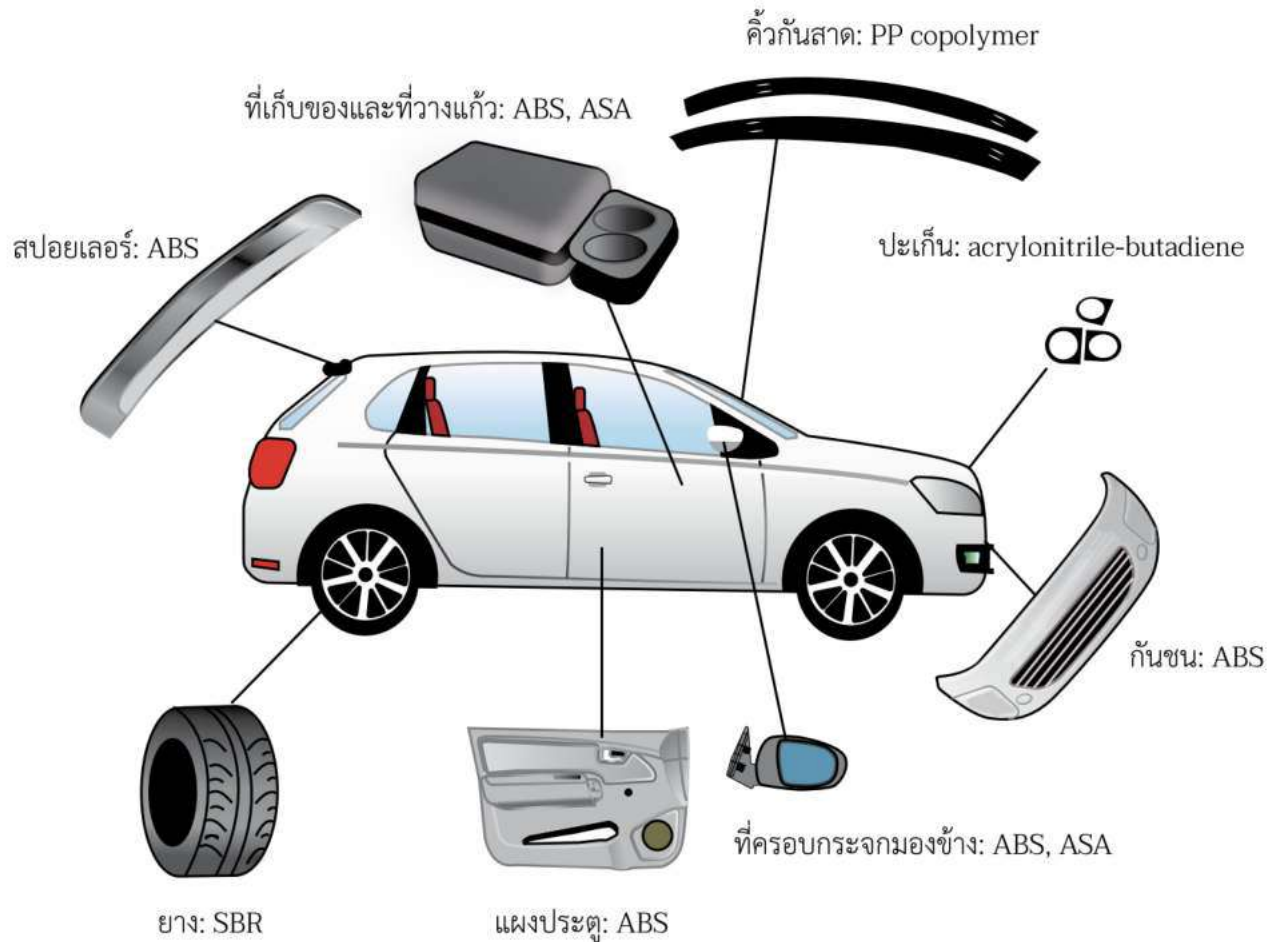
- 2.3 นำแบบจำลองพอลิเมอร์ที่ 1 มาจุ่มลงในปิเกตอร์ที่บรรจุน้ำ 250 mL บันทึกลักษณะการลอยตัวของแบบจำลอง
- 2.4 ทำซ้ำการทดลองข้อ 2.1–2.3 โดยเปลี่ยนเป็นแบบจำลองพอลิเมอร์ที่ 2–4
3. เปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้ของแต่ละแบบจำลอง

### คำถามท้ายกิจกรรม

1. แบบจำลองทั้ง 4 แบบ มีการยึดเหนี่ยวหรือต่างกันอย่างไร ซึ่งบ่งบอกสมบัติของไฮโมพอลิเมอร์ และโคพอลิเมอร์แบบสลับและแบบบล็อกอย่างไร
2. การทดสอบการลอยน้ำของแบบจำลองทั้ง 4 แบบ ให้ข้อสรุปเกี่ยวกับสมบัติของพอลิเมอร์ที่สอดคล้องกับสมบัติที่ได้จากการพิจารณาการยึดของแบบจำลองหรือไม่ อย่างไร

การเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโคพอลิเมอร์มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ โดยทั่วไปโคพอลิเมอร์มีสมบัติอยู่ระหว่างสมบัติของไฮโมพอลิเมอร์แต่ละชนิด ทั้งนี้โคพอลิเมอร์แบบบล็อกและแบบต่อกิ่งส่วนใหญ่จะยังแสดงสมบัติเด่นของไฮโมพอลิเมอร์แต่ละชนิด ดังนั้นการสังเคราะห์โคพอลิเมอร์จึงเป็นการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น เช่น พอลิบิวทาไดอินเป็นยางที่มีความยืดหยุ่นสูง แต่นิ่มและสึกกร่อนได้ง่าย จึงมีการสังเคราะห์ยางสไตรีนบิวทาไดอิน (styrene butadiene rubber, SBR) ซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกของพอลิสไตรีนและพอลิบิวทาไดอิน ที่ยังคงมีความยืดหยุ่นคล้ายพอลิบิวทาไดอิน แต่มีความแข็งและทนการสึกกร่อนได้ดีขึ้นคล้ายพอลิสไตรีน

โคพอลิเมอร์สามารถทำให้มีสมบัติได้หลากหลายโดยการปรับเปลี่ยนชนิด สัดส่วน หรือการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ จึงสามารถนำไปใช้งานได้หลายประเภท เช่น ชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ ในรถยนต์ ดังแสดงในรูป 13.13



ABS = อะคริโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (acrylonitrile-butadiene-styrene)

ASA = อะคริโลไนไทรล์-สไตรีน-อะคริเลต (acrylonitrile-styrene-acrylate)

PP copolymer = โคพอลิเมอร์ของพอลิโพรพิลีนกับแอลคีนชนิดอื่น

SBR = ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน

รูป 13.13 โคพอลิเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบในชิ้นส่วนรถยนต์

ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันอาจผ่านการปรับปรุงสมบัติหลายวิธีการร่วมกัน เช่น ยางรถยนต์ เกิดจากการนำยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ซึ่งอาจเป็นโคพอลิเมอร์มาผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน จากนั้นจึงนำมาเติมซิลิกา ซิลิเกต ผงคาร์บอน หรือพอลิเมอร์ชนิดอื่น เพื่อช่วยในการเสริมความแข็งแรงและความทนทาน



### ตรวจสอบความเข้าใจ

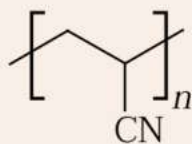
ยางไนไตรล์หรือยางอะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน (acrylonitrile butadiene rubber) เป็นยางที่ทนต่อน้ำมัน จึงนิยมใช้ทำปะเก็นรถยนต์ เพราะเหตุใดการเติมอะคริโลไนไตรล์ จึงทำให้โคพอลิเมอร์ที่ได้ทนต่อน้ำมันได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับยางบิวทาไดอีน



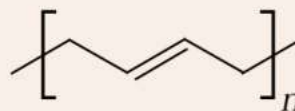
อะคริโลไนไตรล์



บิวทาไดอีน



พอลิอะคริโลไนไตรล์



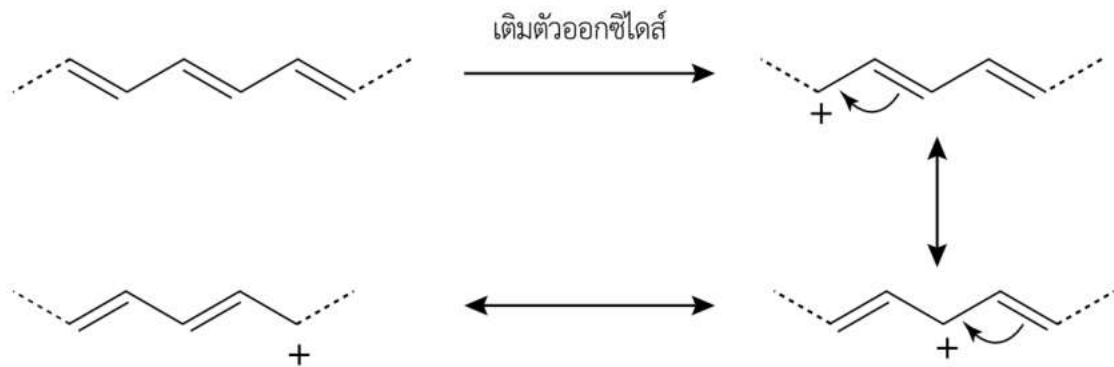
พอลิบิวทาไดอีน

#### 13.4.4 พอลิเมอร์นำไฟฟ้า

พอลิเมอร์ส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า จึงมีการนำไปใช้เป็นปลอกหุ้มสายไฟฟ้า แต่ต่อมาได้มีการค้นพบว่า พอลิเมอร์บางชนิดสามารถทำให้นำไฟฟ้าได้ เช่น พอลิอะเซทิลีน (polyacetylene) ซึ่งมีโครงสร้างที่เอื้อต่อการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในสายพอลิเมอร์ หลักการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์ได้รับการศึกษาและพัฒนาโดยฮิเดกิ ชิระกะวะ (Hideki Shirakawa) แอลัน เจย์ ฮีเกอร์ (Alan J. Heeger) และแอลัน จี แมกไดอาร์มิด (Alan G. MacDiarmid) จนนำไปสู่การได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมี ประจำปี พ.ศ. 2543

โครงสร้างของพอลิอะเซทิลีนประกอบด้วยพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยวตลอดสายพอลิเมอร์ ซึ่งอิเล็กตรอนของพันธะคู่สามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งบนสายพอลิเมอร์เกิดเป็นโครงสร้างเรโซแนนซ์ ทำให้พอลิอะเซทิลีนมีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำไฟฟ้า<sup>7</sup> เมื่อมีการเติมสารที่เป็นตัวออกซิไดส์หรือตัวรีดิวซ์ลงไปจะทำให้พอลิอะเซทิลีนนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น เนื่องจากการเติมตัวออกซิไดส์ทำให้เกิดประจุบวกขึ้นบนสายพอลิเมอร์ และอิเล็กตรอนในพันธะคู่สามารถเคลื่อนที่บนสายพอลิเมอร์ได้ง่ายขึ้นกว่าพอลิเมอร์ที่เป็นกลาง ดังรูป 13.14

<sup>7</sup>สารที่เป็นกึ่งตัวนำไฟฟ้ามีค่าสภาพนำไฟฟ้า  $10^{-7}$ – $10^{-1}$  ohm<sup>-1</sup>·cm<sup>-1</sup> ซึ่งอยู่ระหว่างสภาพการนำไฟฟ้าของตัวนำกับฉนวนไฟฟ้า

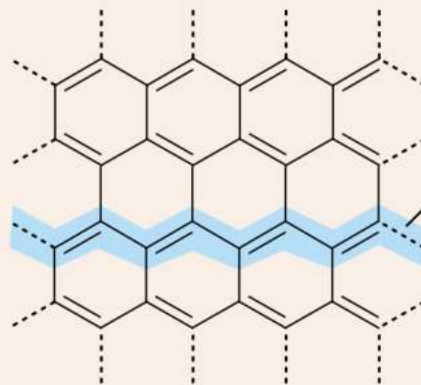


รูป 13.14 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและประจุบวกของพอลิอะเซทิลีน เมื่อเติมตัวออกซิไดส์



### รู้หรือไม่

แกรไฟต์เป็นสารโคเวเลนต์ที่นำไฟฟ้าได้ มีโครงสร้างเป็นวงหกเหลี่ยมที่มีพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยวเชื่อมต่อกันในระนาบ ดังรูป ซึ่งการนำไฟฟ้าของแกรไฟต์เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในพันธะคู่



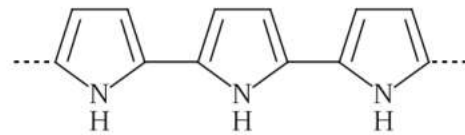
พันธะคู่สลับพันธะเดี่ยว  
เช่นเดียวกับโครงสร้างของ  
พอลิอะเซทิลีน



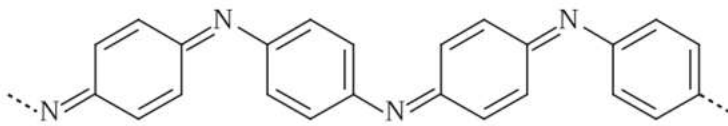
การนำไฟฟ้าของพอลิอะเซทิลีนไม่เสถียรเพียงพอที่จะใช้งานได้ จึงมีการพัฒนาพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดอื่น เช่น พอลิ-พารา-ฟีนิลีน (poly(*para*-phenylene)) พอลิแอนิลีน (polyaniline) พอลิไพร์โรล (polypyrrole) พอลิไทโอฟิน (polythiophene) ดังรูป 13.15 ซึ่งพอลิเมอร์เหล่านี้เป็นสารกึ่งตัวนำไฟฟ้าที่ต้องมีการเติมตัวออกซิไดส์หรือตัวรีดิวซ์เพื่อทำให้เกิดการนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น พอลิเมอร์นำไฟฟ้าเหล่านี้สามารถนำไปใช้งานในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ได้ เช่น ฟิล์มป้องกันไฟฟ้าสถิต แบตเตอรี่ แผงวงจรไฟฟ้า จอภาพ LED เซลล์แสงอาทิตย์



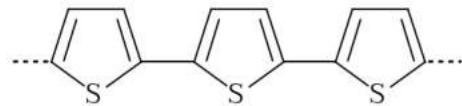
พอลิ-พารา-ฟีนิลีน



พอลิไพร์โรล



พอลิแอนิลีน



พอลิไทโอฟิน

รูป 13.15 ตัวอย่างโครงสร้างพอลิเมอร์นำไฟฟ้า



## ตรวจสอบความเข้าใจ

เขียนเส้นล้อมรอบส่วนของพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยวในโครงสร้างพอลิเมอร์ในรูป 13.15 ซึ่งแสดงส่วนที่อธิบายการนำไฟฟ้าในลักษณะเดียวกับพอลิอะเซทิลีน

นอกจากตัวออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์แล้ว สมบัติการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าบางชนิดอาจขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แสง ภาวะความเป็นกรด-เบส และการเติมสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ เช่น การฉายแสงบนพอลิ-เอ็น-ไวนิลคาร์บาโซล (poly(*N*-vinylcarbazole)) ทำให้สมบัติการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จึงนำพอลิ-เอ็น-ไวนิลคาร์บาโซลมาใช้ในเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์



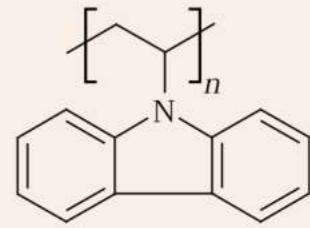
ความรู้เพิ่มเติม

ผลของอุณหภูมิต่อการนำไฟฟ้าของโลหะแตกต่างจากพอลิเมอร์นำไฟฟ้า คือ โลหะจะนำไฟฟ้าได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิมิผลทำให้นิวเคลียสของโลหะซึ่งเป็นประจุบวกมีการสั่นเพิ่มขึ้น ขัดขวางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน แต่การลดอุณหภูมิจะช่วยทำให้นิวเคลียสอยู่นิ่งมากขึ้น อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น โลหะจึงนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น แต่พอลิเมอร์จะนำไฟฟ้าได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในสายและระหว่างสายพอลิเมอร์ต้องใช้พลังงาน ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิสามารถทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น

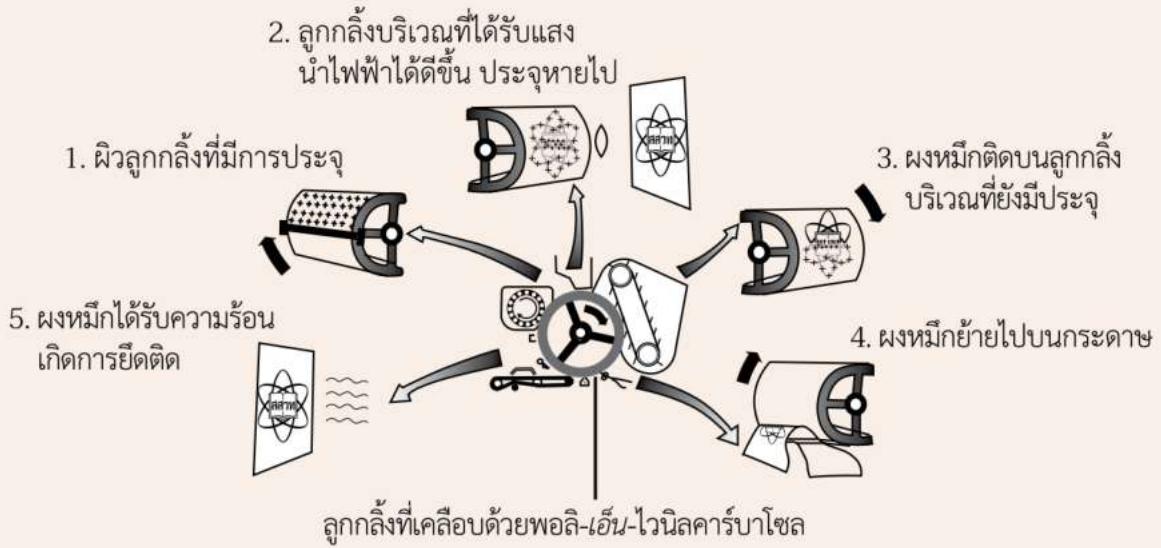


รู้หรือไม่

ลูกกลิ้งในเครื่องถ่ายภาพเอกซารเคลื่อนด้วยพอลิ-เอ็น-ไวนิลคาร์บาโซล ซึ่งทำให้นำไฟฟ้าได้ดีขึ้นเมื่อได้รับพลังงานแสงที่สะท้อนจากภาพต้นฉบับ ส่งผลให้ประจุไฟฟ้าที่ประจุไว้เคลื่อนที่ออกจากบริเวณที่ได้รับแสง ประจุที่เหลือสามารถดึงดูดผงหมึกมาติดบนลูกกลิ้งเกิดเป็นภาพพร้อมที่จะถ่ายลงบนแผ่นกระดาษ



พอลิ-เอ็น-ไวนิลคาร์บาโซล



รูปแสดงกลไกการทำงานของเครื่องถ่ายภาพเอกซาร



### 13.5 การแก้ปัญหาขยะจากพอลิเมอร์

พอลิเมอร์เป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายและผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์หลายชนิดเป็นแบบใช้แล้วทิ้ง เช่น ขวดน้ำดื่ม แก้วพลาสติก หลอดพลาสติก ถุงพลาสติก กล่องโฟมใส่อาหาร ซึ่งพอลิเมอร์เหล่านี้เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ส่วนใหญ่ไม่สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติหรือใช้เวลาย่อยสลายนานมาก นอกจากนี้ยังมีรายงานผลการวิจัยว่า อนุภาคพลาสติกขนาดเล็ก (microplastic) ที่ได้จากการย่อยสลายพอลิเมอร์สามารถถ่ายทอดไปตามโซ่อาหารจนนำเข้าสู่ร่างกายมนุษย์และสัตว์ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ ขยะพอลิเมอร์จึงเป็นปัญหาที่ควรได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน

ขยะพอลิเมอร์ที่พบส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์จากพลาสติกหรือยาง ซึ่งการกำจัดขยะเหล่านี้ด้วยวิธีการเผายังเป็นวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และนำไปสู่การเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน นอกจากนี้การเผาพลาสติกหรือยางอาจก่อให้เกิดสารพิษ เช่น ฟอสจีน ไดออกซิน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ส่วนวิธีการฝังกลบหรือการทิ้งลงในแหล่งน้ำ อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

แนวทางการลดปัญหาจากขยะพลาสติกในปัจจุบัน เช่น

1. การลดการใช้ (reduce) เช่น การไม่รับถุงพลาสติก การใช้ถุงผ้าแทนการใช้ถุงพลาสติก การใช้แก้วน้ำหรือภาชนะใส่อาหารที่นำมาเอง การลดการใช้ อาจทำได้โดยการใช้ซ้ำ (reuse) เช่น การใช้แก้วหรือขวดน้ำดื่มซ้ำ การนำยางรถยนต์มาทำกระถางต้นไม้หรือรองเท้าแตะ ซึ่งพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ซ้ำเหล่านี้ไม่ได้ผ่านกระบวนการหลอมและแปรรูป การลดการใช้จึงเป็นการลดปัญหาขยะพลาสติกที่ใช้ต้นทุนต่ำและนักเรียนสามารถมีส่วนร่วมได้ง่าย

2. การรีไซเคิล (recycle) เป็นการแปรรูปวัสดุที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ วิธีนี้ใช้ได้กับพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติกซึ่งสามารถนำมาหลอมแล้วขึ้นรูปใหม่ได้ โดยต้องมีการคัดแยกชนิดของพลาสติกก่อนนำมาหลอม ดังนั้นจึงมีการกำหนดรหัสที่ระบุชนิดของพลาสติกบนผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ เช่น



PET

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (poly(ethylene terephthalate), PET หรือ PETE) เป็นพลาสติกที่ใช้ผลิตขวดหรือภาชนะต่าง ๆ สามารถนำกลับมารีไซเคิลเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น เส้นใยสำหรับเสื่อกันหนาวหรือพรม



HDPE

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) เป็นพลาสติกที่ใช้ผลิตถุงหิ้ว ขวดน้ำ สามารถนำกลับมารีไซเคิลเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ฉนวนกันความร้อน ภาชนะบรรจุภัณฑ์ เสื้อผ้ากีฬา



PVC

พอลิไวนิลคลอไรด์ (poly(vinyl chloride), PVC) เป็นพลาสติกที่ใช้ผลิตท่อน้ำ หนังสืเยม สายยาง พลาสติกห่ออาหาร สามารถนำกลับมารีไซเคิลเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น แผ่นยางปูพื้น

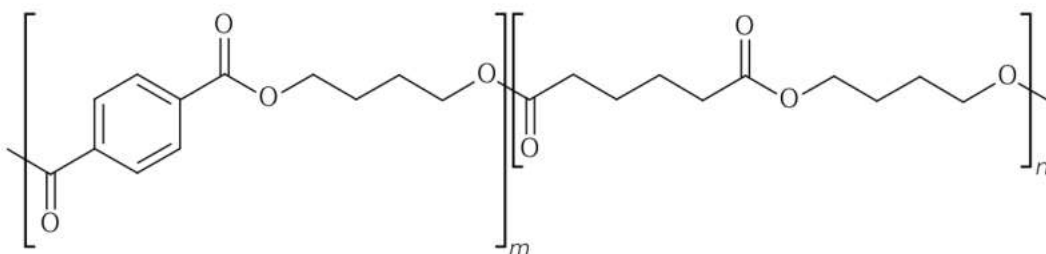


LDPE

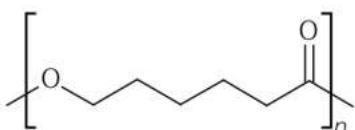
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) เป็นพลาสติกที่ใช้ผลิตถุงใส่ของต่าง ๆ สามารถนำกลับมารีไซเคิลเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ถุงขยะ

การนำพลาสติกมาหลอมใหม่มีต้นทุนสูงและได้พลาสติกที่มีสมบัติต่างไปจากเดิม

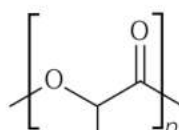
3. การใช้พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable polymer) เช่น พอลิบิวทิลีนแอดิเพตเทเรฟทาเลต (PBAT) พอลิคาโพรแล็กโทน (polycaprolactone, PCL) พอลิแลกติกแอซิด (PLA) พอลิไฮดรอกซีบิวทิเรต (polyhydroxybutyrate, PHB) ซึ่งเป็นพอลิเอสเทอร์ที่สายพอลิเมอร์มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันน้อย สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้ง่าย ทำให้เกิดการย่อยโดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติได้เร็วกว่าพอลิเมอร์สังเคราะห์ทั่วไป นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางธรรมชาติยังอาจใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น แป้ง เซลลูโลส



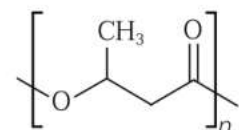
พอลิบิวทิลีนแอดิเพตเทเรฟทาเลต



พอลิคาโพรแล็กโทน



พอลิแลกติกแอซิด



พอลิไฮดรอกซีบิวทิเรต

อย่างไรก็ตาม หากผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ยังคงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องใช้ในชีวิตประจำวัน ผู้ใช้ควรตระหนักถึงปัญหาขยะพอลิเมอร์ที่จะเกิดขึ้น และควรมีส่วนร่วมในการลดปัญหาโดยการคัดแยกประเภทของขยะ เช่น พลาสติกรีไซเคิลประเภทต่าง ๆ พลาสติกย่อยสลายได้ ซึ่งควรแยกออกจากขยะประเภทอื่น เพื่อให้สามารถนำไปกำจัดหรือรีไซเคิลได้อย่างถูกต้องต่อไป



### กิจกรรม 13.3 สืบค้นข้อมูล นำเสนอผลกระทบจากการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ และแนวทางแก้ไข

#### จุดประสงค์ของกิจกรรม

สืบค้นข้อมูล นำเสนอผลกระทบจากการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ และแนวทางแก้ไข

#### วิธีทำกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลผลกระทบจากการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ และแนวทางแก้ไข โดยให้มีข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของพอลิเมอร์หรือสารที่เกี่ยวข้อง
2. นำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่เหมาะสม
3. อภิปรายเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ในห้องเรียน



### สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

พอลิเมอร์เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของโมเลกุลขนาดเล็กที่เรียกว่า มอนอเมอร์ สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์จึงต่างจากมอนอเมอร์ที่เป็นสารตั้งต้น พอลิเมอร์มีทั้งพอลิเมอร์ธรรมชาติและพอลิเมอร์สังเคราะห์ พอลิเมอร์อาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบเติมหรือแบบควบแน่น ขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันที่ทำปฏิกิริยา

พอลิเมอร์อาจมีโครงสร้างเป็นแบบเส้น แบบกิ่ง หรือแบบร่างแห ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะการเชื่อมต่อกันของมอนอเมอร์ ซึ่งส่งผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ และการนำไปใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน โดยพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติกมีโครงสร้างเป็นแบบเส้นหรือแบบกิ่ง เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำมาหลอมขึ้นรูปใหม่ได้ สำหรับพอลิเมอร์เทอร์โมเซตส่วนใหญ่มีโครงสร้างแบบร่างแห เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่หลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน แต่เกิดการสลายตัวหรือไหม้เมื่อได้รับความร้อนสูงจึงไม่สามารถนำมาหลอมขึ้นรูปใหม่ได้

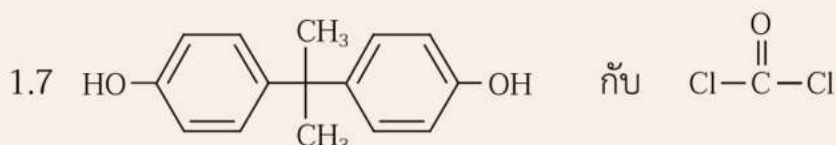
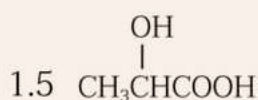
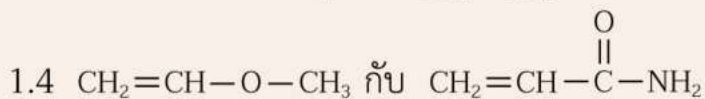
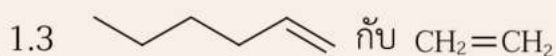
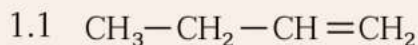
การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์อาจทำได้โดยการเติมสารเติมแต่ง ซึ่งอาจเป็นสารที่เข้าไปผสมในเนื้อพอลิเมอร์หรือเข้าไปทำปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์ นอกจากนี้การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์อาจทำได้โดยการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของพอลิเมอร์ หรือการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ ๆ เช่น โคพอลิเมอร์ พอลิเมอร์นำไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันอาจผ่านการปรับปรุงสมบัติหลายวิธีการร่วมกัน

การใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ในชีวิตประจำวันควรคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม การป้องกันและการแก้ไขอาจทำได้โดย การลดการใช้ การรีไซเคิล และการใช้พอลิเมอร์ย่อยสลายได้

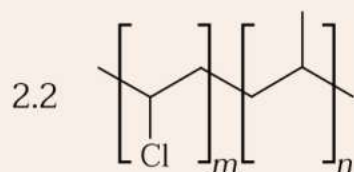
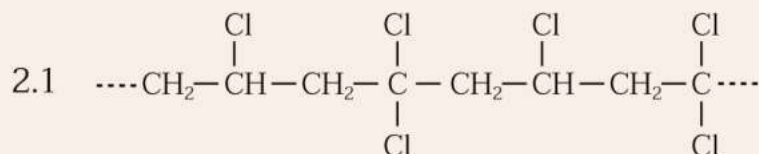


## แบบฝึกหัดท้ายบท

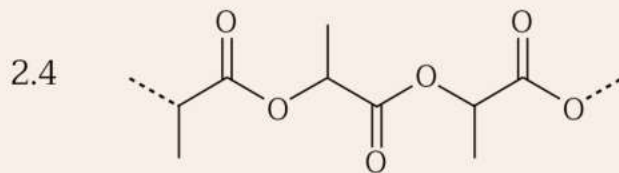
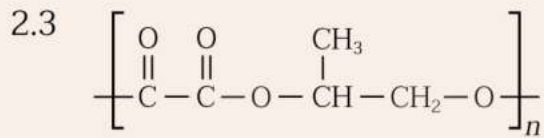
1. เขียนโครงสร้างพอลิเมอร์ที่ได้จากมอนอเมอร์ต่อไปนี้ พร้อมทั้งระบุว่าปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เป็นแบบใด



2. เขียนโครงสร้างมอนอเมอร์ของพอลิเมอร์ต่อไปนี้ พร้อมทั้งระบุว่าปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เป็นแบบใด







3. พอลิเอทิลีน 3 ชนิด มีโครงสร้างดังรูป A B และ C



A



B

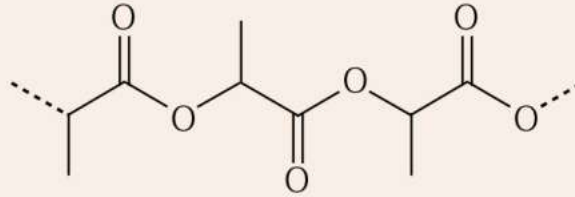


C

จงเรียงลำดับความหนาแน่นของพอลิเอทิลีนทั้งสามชนิดนี้ พร้อมอธิบายเหตุผล

4. เหตุใดฝ้ายซึ่งเป็นเซลลูโลส สามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ซึ่งเป็นพอลิเอสเทอร์

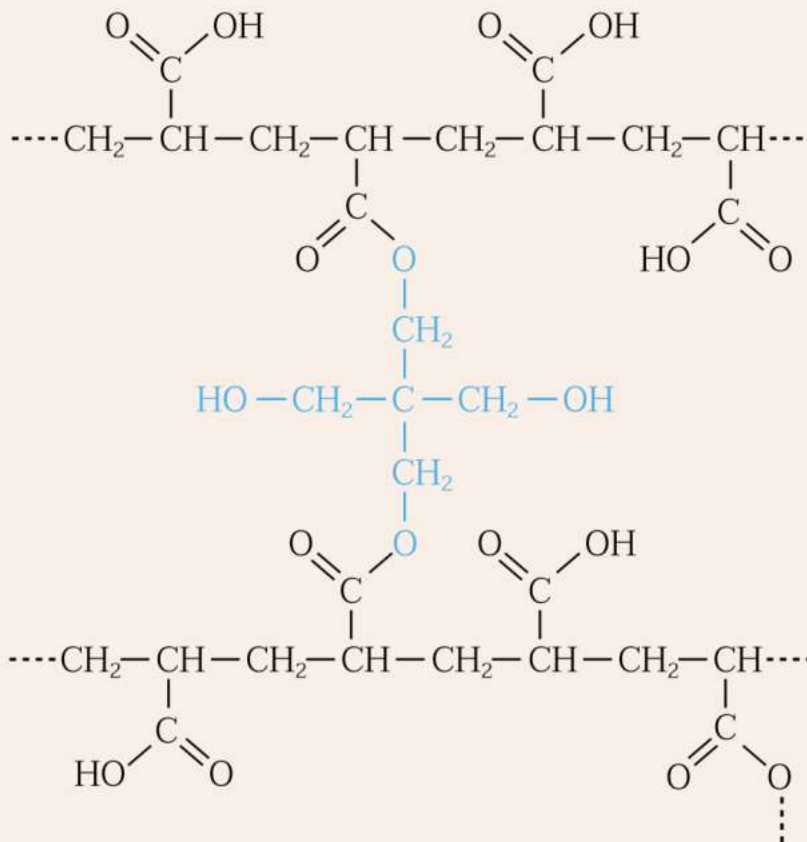
5. พอลิแลกติกแอซิด (PLA) โครงสร้างดังรูป สามารถเกิดการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้สายพอลิเมอร์ที่สั้นลง



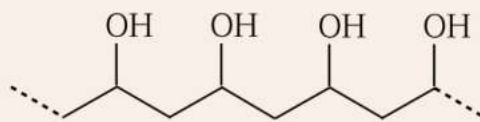
5.1 ระบุประเภทของ PLA ตามหมู่ฟังก์ชัน

5.2 ระบุตำแหน่งของพันธะที่แตกออกเมื่อมีการย่อยสลาย

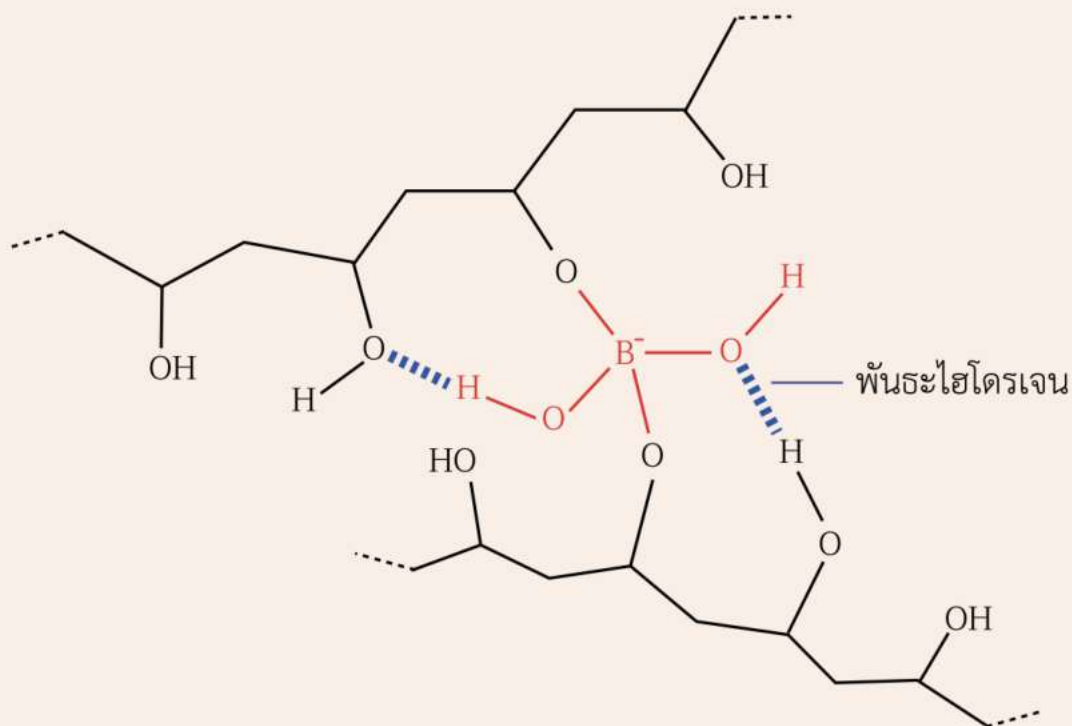
6. ไฮโดรเจล (hydrogel) เป็นพอลิเมอร์ที่บวมน้ำ แต่ไม่ละลายในน้ำ สามารถใช้ทำผ้าอ้อมสำเร็จรูป ดินวิทยาศาสตร์ ไฮโดรเจลชนิดหนึ่งได้จากปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์กับพอลิอะคริลิกแอซิด มีโครงสร้างดังแสดง



- 6.1 ไฮโดรเจลนี้เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบใด
  - 6.2 เขียนโครงสร้างของแอลกอฮอล์และพอลิอะคริลิกแอซิด
  - 6.3 เขียนโครงสร้างของมอนอเมอร์ของพอลิอะคริลิกแอซิด และระบุประเภทของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์
  - 6.4 ระบุประเภทของปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์กับพอลิอะคริลิกแอซิด
  - 6.5 เหตุใดไฮโดรเจลจึงบวมน้ำ แต่พอลิอะคริลิกแอซิดที่เป็นสารตั้งต้นละลายน้ำ
7. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ซึ่งเป็นส่วนประกอบในกาวน้ำ มีโครงสร้างดังนี้

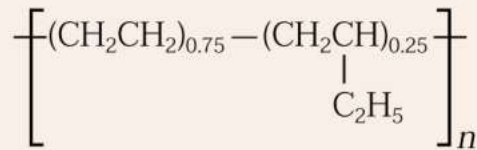


เมื่อเติมสารละลายบอแรกซ์ซึ่งประกอบด้วยบอเรตไอออน ( $B(OH)_4^-$ ) ลงไปจะได้สไลม์ (slime) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างดังนี้



เหตุใดการเติมสารละลายบอแรกซ์ลงไปในกาวน้ำจึงทำให้กาวน้ำเปลี่ยนเป็นสไลม์ที่มีความแข็งมากขึ้น

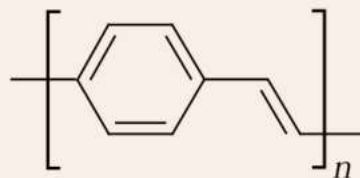
8. พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำแบบเส้น (linear low density polyethylene, LLDPE) เป็นพอลิเมอร์แบบสุ่มระหว่างเอทิลีนกับแอลคีนโซ่ตรง ถ้า LLDPE ชนิดหนึ่งมีโครงสร้างดังแสดง



แอลคีนโซ่ตรงที่ใช้ในการเตรียม LLDPE ชนิดนี้คือสารใด และควรใช้แอลคีนโซ่ตรงกี่กิโลกรัมหากต้องการเตรียม LLDPE นี้ปริมาณ 1 ตัน (กำหนดให้ มวลต่อโมลของ C = 12.0 กรัมต่อโมล และ H = 1.0 กรัมต่อโมล)

9. ในการสังเคราะห์พลาสติกของโรงงานแห่งหนึ่ง มีการทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของผสมไวนิลคลอไรด์กับสไตรีน แต่โรงงานอีกแห่งหนึ่งทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลคลอไรด์แล้วจึงเติมสไตรีน เพื่อทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ต่อจากสายพอลิเมอร์เดิม พลาสติกที่ได้จากโรงงานทั้งสองแห่งนี้มีสมบัติเหมือนกันหรือไม่ เพราะเหตุใด เขียนโครงสร้างของพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาดังกล่าว โดยใช้สัญลักษณ์ V และ S แทนส่วนของมอนอเมอร์ที่มาจากไวนิลคลอไรด์และสไตรีน ตามลำดับ

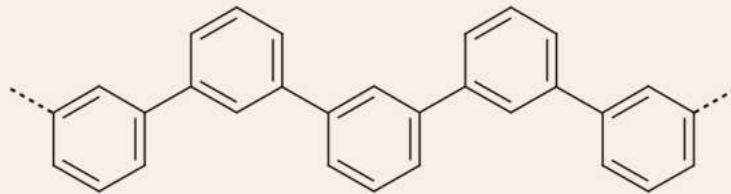
10. พอลิฟีนิลีนไวนิลีน (poly(phenylene vinylene)) มีโครงสร้างดังแสดง



พอลิฟีนิลีนไวนิลีน

เพราะเหตุใดพอลิเมอร์นี้จึงนำไฟฟ้าได้ดีขึ้นเมื่อทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดส์

11. พอลิ-เมตา-ฟีนีลีนและพอลิ-พารา-ฟีนีลีน มีโครงสร้างดังแสดง



พอลิ-เมตา-ฟีนีลีน

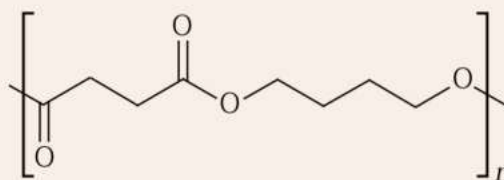


พอลิ-พารา-ฟีนีลีน

11.1 เขียนเส้นล้อมรอบแสดงพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยวอย่างต่อเนื่องของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

11.2 เมื่อเติมตัวออกซิไดส์ พอลิเมอร์ชนิดใดนำไฟฟ้าได้ดีกว่า เพราะเหตุใด

12. พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (poly(butylene succinate)) เป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีโครงสร้างดังแสดง



พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

ในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพพบว่า นอกจากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ยังมีผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์ ซึ่งมีมวลโมเลกุลประมาณ 90 118 และ 190 จงเขียนโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ทั้งสามชนิดนี้

# ภาคผนวก

## คำศัพท์ในหนังสือเรียน เคมี เล่ม 5

กรดคาร์บอกซิลิก	Carboxylic acid
การเชื่อมขวาง	Crosslink
คีโตน	Ketone
เคมีอินทรีย์	Organic chemistry
โคพอลิเมอร์	Copolymer
โซ่กิ่ง	Branched chain
โซ่ตรง	Straight chain
ไซโคลแอลคีน	Cycloalkene
ไซโคลแอลเคน	Cycloalkane
ไซโคลแอลไคน์	Cycloalkyne
ไบโอดีเซล	Biodiesel
ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์	Polymerization reaction
ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น	Condensation polymerization reaction
ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบเติม	Addition polymerization reaction
ปฏิกิริยาการควบแน่น	Condensation reaction
ปฏิกิริยาการเติม	Addition reaction
ปฏิกิริยาการแทนที่	Substitution reaction
ปฏิกิริยาการเผาไหม้	Combustion reaction
ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน	Saponification
ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส	Hydrolysis reaction
ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์	Hydrolysis of ester
พลาสติกไซเซอร์	Plasticizer
พอลิเมอร์	Polymer
พอลิเมอร์เทอร์มอเซต	Thermosetting polymer

พอลิเมอร์เทอร์มอพลาสติก	Thermoplastic polymer
พอลิเมอร์แบบกิ่ง	Branched polymer
พอลิเมอร์แบบร่างแห	Network polymer
พอลิเมอร์แบบเส้น	Linear polymer
มอนอเมอร์	Monomer
วง	Cyclic
วัลคาไนเซชัน	Vulcanization
สารเติมแต่ง	Additive
สารที่ทำปฏิกิริยาหรือรีเอเจนต์	Reagent
สารประกอบอินทรีย์	Organic compound
สารประกอบไฮโดรคาร์บอน	Hydrocarbon compound
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว	Unsaturated hydrocarbon compound
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว	Saturated hydrocarbon compound
สูตรโครงสร้างแบบย่อ	Condensed structural formula
สูตรโครงสร้างแบบเส้นพันธะ	Bond-line structural formula
หมู่ฟังก์ชัน	Functional group
หมู่แอริล	Aryl group
หมู่แอลคิล	Alkyl group
อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน	Aliphatic hydrocarbon
อีเทอร์	Ether
เอมีน	Amine
เอไมด์	Amide
เอสเทอร์	Ester
เอสเทอร์ิฟิเคชัน	Esterification
แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน	Aromatic hydrocarbon



แอลกอฮอล์	Alcohol
แอลคีน	Alkene
แอลเคน	Alkane
แอลไคน์	Alkyne
แอลดีไฮด์	Aldehyde
ไอโซเมอร์	Isomer
ไอโซเมอร์โครงสร้าง	Constitutional isomer
ไอโซเมอร์โครงสร้าง	Structural isomer
ไอโซเมอร์ฟังก์ชัน	Functional isomer
ไอโซเมอริซึม	Isomerism
โฮโมพอลิเมอร์	Homopolymer

ชื่อธาตุ		สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม
ไฮโดรเจน	Hydrogen	H	1	1.01
ฮีเลียม	Helium	He	2	4.00
ลิเทียม	Lithium	Li	3	6.94
เบริลเลียม	Beryllium	Be	4	9.01
โบรอน	Boron	B	5	10.81
คาร์บอน	Carbon	C	6	12.01
ไนโตรเจน	Nitrogen	N	7	14.01
ออกซิเจน	Oxygen	O	8	16.00
ฟลูออรีน	Fluorine	F	9	19.00
นีออน	Neon	Ne	10	20.18
โซเดียม	Sodium	Na	11	22.99
แมกนีเซียม	Magnesium	Mg	12	24.30
อะลูมิเนียม	Aluminium	Al	13	26.98
ซิลิคอน	Silicon	Si	14	28.08
ฟอสฟอรัส	Phosphorus	P	15	30.97
กำมะถัน	Sulfur	S	16	32.06
คลอรีน	Chlorine	Cl	17	35.45
อาร์กอน	Argon	Ar	18	39.95
โพแทสเซียม	Potassium	K	19	39.10
แคลเซียม	Calcium	Ca	20	40.08
สแกนเดียม	Scandium	Sc	21	44.96
ไทเทเนียม	Titanium	Ti	22	47.87
วานาเดียม	Vanadium	V	23	50.94
โครเมียม	Chromium	Cr	24	52.00
แมงกานีส	Manganese	Mn	25	54.94
เหล็ก	Iron	Fe	26	55.85

ชื่อธาตุ		สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม
โคบอลต์	Cobalt	Co	27	58.93
นิกเกิล	Nickel	Ni	28	58.69
ทองแดง	Copper	Cu	29	63.55
สังกะสี	Zinc	Zn	30	65.38
แกลเลียม	Gallium	Ga	31	69.72
เจอร์เมเนียม	Germanium	Ge	32	72.63
สารหนู	Arsenic	As	33	74.92
ซีลีเนียม	Selenium	Se	34	78.97
โบรมีน	Bromine	Br	35	79.90
คริปทอน	Krypton	Kr	36	83.80
รูบิเดียม	Rubidium	Rb	37	85.47
สตรอนเชียม	Strontium	Sr	38	87.62
อิตเทรียม	Yttrium	Y	39	88.91
เซอร์โคเนียม	Zirconium	Zr	40	91.22
ไนโอเบียม	Niobium	Nb	41	92.91
โมลิบดีนัม	Molybdenum	Mo	42	95.95
เทคนีเชียม	Technetium	Tc	43	-
รูทีเนียม	Ruthenium	Ru	44	101.07
โรเดียม	Rhodium	Rh	45	102.91
แพลเลเดียม	Palladium	Pd	46	106.42
เงิน	Silver	Ag	47	107.87
แคดเมียม	Cadmium	Cd	48	112.41
อินเดียม	Indium	In	49	114.82
ดีบุก	Tin	Sn	50	118.71
พลวง	Antimony	Sb	51	121.76
เทลลูเรียม	Tellurium	Te	52	127.60

ชื่อธาตุ	สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม	
ไอโอดีน	Iodine	I	53	126.90
ซีนอน	Xenon	Xe	54	131.29
ซีเซียม	Caesium	Cs	55	132.91
แบเรียม	Barium	Ba	56	137.33
แลนทานัม	Lanthanum	La	57	138.91
ซีเรียม	Cerium	Ce	58	140.12
เพรซีโอดิเมียม	Praseodymium	Pr	59	140.91
นีโอดิเมียม	Neodymium	Nd	60	144.24
โพรมีเทียม	Promethium	Pm	61	-
ซาแมเรียม	Samarium	Sm	62	150.36
ยูโรเพียม	Europium	Eu	63	151.96
แกโดลิเนียม	Gadolinium	Gd	64	157.25
เทอร์เบียม	Terbium	Tb	65	158.93
ดิสโพรเซียม	Dysprosium	Dy	66	162.50
โฮล์เมียม	Holmium	Ho	67	164.93
เออร์เบียม	Erbium	Er	68	167.26
ทูลีียม	Thulium	Tm	69	168.93
อิตเทอร์เบียม	Ytterbium	Yb	70	173.05
ลูทีเซียม	Lutetium	Lu	71	174.97
แฮฟเนียม	Hafnium	Hf	72	178.49
แทนทาลัม	Tantalum	Ta	73	180.95
ทังสแตน	Tungsten	W	74	183.84
รีเนียม	Rhenium	Re	75	186.21
ออสเมียม	Osmium	Os	76	190.23
อิริเดียม	Iridium	Ir	77	192.22
แพลทินัม	Platinum	Pt	78	195.08

ชื่อธาตุ	สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม	
ทองคำ	Gold	Au	79	196.97
ปรอท	Mercury	Hg	80	200.59
แทลเลียม	Thallium	Tl	81	204.38
ตะกั่ว	Lead	Pb	82	207.20
บิสมัท	Bismuth	Bi	83	208.98
พอลโลเนียม	Polonium	Po	84	-
แอสทาทีน	Astatine	At	85	-
เรดอน	Radon	Rn	86	-
แฟรนเซียม	Francium	Fr	87	-
เรเดียม	Radium	Ra	88	-
แอกทิเนียม	Actinium	Ac	89	-
ทอเรียม	Thorium	Th	90	232.04
โพรแทกทิเนียม	Protactinium	Pa	91	231.04
ยูเรเนียม	Uranium	U	92	238.03
เนปทูเนียม	Neptunium	Np	93	-
พลูโทเนียม	Plutonium	Pu	94	-
อะเมริเซียม	Americium	Am	95	-
คูเรียม	Curium	Cm	96	-
เบอร์คีเลียม	Berkelium	Bk	97	-
แคลิฟอร์เนียม	Californium	Cf	98	-
ไอน์สไตเนียม	Einsteinium	Es	99	-
เฟอร์เมียม	Fermium	Fm	100	-
เมนเดลีเวียม	Mendelevium	Md	101	-
โนเบลียม	Nobelium	No	102	-
ลอว์เรนเซียม	Lawrencium	Lr	103	-
รัทเทอร์ฟอร์เดียม	Rutherfordium	Rf	104	-

ชื่อธาตุ		สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม
ดুবเนียม	Dubnium	Db	105	-
ซีบอร์เกียม	Seaborgium	Sg	106	-
โบห์เรียม	Bohrium	Bh	107	-
ฮาสเซียม	Hassium	Hs	108	-
ไมต์เนเรียม	Meitnerium	Mt	109	-
ดาร์มสตัดเทียม	Darmstadtium	Ds	110	-
เรินต์เกเนียม	Roentgenium	Rg	111	-
โคเปอร์นิเซียม	Copernicium	Cn	112	-
นิโฮเนียม	Nihonium	Nh	113	-
ฟลิวโรเวียม	Flerovium	Fl	114	-
มอสโควเวียม	Moscovium	Mc	115	-
ลิเวอร์มอเรียม	Livermorium	Lv	116	-
เทนเนสซีน	Tennessine	Ts	117	-
อوغانเนสซอน	Oganesson	Og	118	-

## บรรณานุกรม

- กองอุตสาหกรรมอ้อย น้ำตาลทรายและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง กลุ่มส่งเสริมอุตสาหกรรมชีวภาพ พลาสติกที่สลายตัวได้ทางชีวภาพ. (2562). **Polylactic acid (PLA)**. สืบค้นเมื่อ 30 พฤษภาคม 2562, จาก <http://www.ocsb.go.th/upload/bioindustry/fileupload/9757-9874.pdf>.
- คมสัน ตันยีนยงค์. (2543). *เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับตัวทำละลายอินทรีย์*. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 48(152), 12–16.
- ไซโต คะสิธิโระ. (2557). *สารประกอบอินทรีย์มีประโยชน์ ฉบับการ์ตูน*. บงกช บางยี่ขัน, ผู้แปล. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ธนาวัต ลี้จากภัย. (2544). *เรียนรู้โพลีเมอร์จากการทดลอง*. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). *คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 5. พิมพ์ครั้งที่ 3*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). *หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 5. พิมพ์ครั้งที่ 8*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค.
- สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. (2560). *พจนานุกรมศัพท์พอลิเมอร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา*. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครสวรรค์: บริษัท เดอะ เบสท์ เพรส แอนด์ ครีเอชั่น จำกัด.
- Baird, C. & Gloffke, W. (2002). **Chemistry in your life**. New York: W.H. Freeman and Company.
- Bruice, P.Y. (2004). **Organic Chemistry**. 4<sup>th</sup> ed. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Burdge, J. (2020). **Chemistry**. 5<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill Education.
- Burrows A. & other. (2009). **Chemistry<sup>3</sup> introducing inorganic, organic and physical chemistry**. New York: Oxford University Press Inc.
- Cann, P. & Hughes, P. (2015). **Cambridge International As and A Level: Chemistry**. London: Hodder Education.
- Chang, R. & Overby, J. (2019). **Chemistry**. New York: The McGraw-Hill.
- Eugene, L.Jr. & other. (2000). **Chemistry: Connections to Our Changing World**. 2<sup>nd</sup> ed. New Jersey: Prince-Hall, Inc.
- Fahlman, B.D. & other. (2018). **Chemistry in Context: Applying Chemistry to Society**. 9<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill Education.

- Farre, H.A. & Powell, W.H. (2013). **Nomenclature of Organic Chemistry: IUPAC Recommendations and Preferred Names 2013**. Retrieved July 3, 2019, from <https://pubs.rsc.org>.
- Hutchings, K. (2000). **Classic chemistry experiments**. London: The Royal Society of Chemistry.
- Jenkins, F. & other. (2003). **Nelson Chemistry 12**. Ontario: Thomson Nelson.
- Leja, K. & Lewandowicz, G. (2010). *Polymer biodegradation and biodegradable polymers-a review*. **Polish Journal of Environmental Studies**. 19(2), 255–266.
- McMurry, J. E. & other. (2016). **Chemistry**. 7<sup>th</sup> ed. Essex: Pearson Education Limited.
- Merline, D.J. & Vukusic, S. & Abdala, A.A. (2013). *Melamine formaldehyde: curing studies and reaction mechanism*. **Polymer Journal**. Retrieved May 27, 2019, from <https://www.nature.com/articles/pj2012162>.
- Mohammad, F. (2001). **Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and Devices: Chapter 8 - Stability of electrically conducting polymers**. San Diego: Academic Press.
- Polymer Properties Database**. Retrieved June 2, 2019, from <https://polymerdatabase.com/home.html>.
- Seymour, R.B. & other. (1989). *Karl Ziegler Father of High Density Polyethylene*. **Pioneers in Polymer Science**. Retrieved May 27, 2019, from [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-2407-9\\_20](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-2407-9_20).
- Shukla, P. & Sharma, A. (2017). *Food additives and organic chemistry perspective*. **MOJ Bioorganic & Organic Chemistry**. 1(3). 70–79.
- Silberberg, M.S. (2013). **Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change**. global edition. New York: McGraw-Hill.
- Singh, M. & other. (2015). *Challenges and opportunities for customizing polyhydroxyalkanoates*. **Indian Journal of Microbiology**. 55(3), 235–249.
- Skotheim, T.A. & Reynolds, J.R. (2007). **Conjugated polymers: theory, synthesis, properties and characterization**. Florida: CRC Press.
- Smith, K. & Evans, D. & El-Hiti, G. (2008). *Role of modern chemistry in sustainable arable crop protection*. **Philosophical transactions of the royal society B**. 363. 623–637.
- Solomon, T.W. & Fryhle, C.B. (2011). **Organic Chemistry**. 10<sup>th</sup> ed. New Jersey: John Wiley & Sons, INC.



คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม 5  
ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)  
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551

### คณะที่ปรึกษา

ศ.ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์

ผู้อำนวยการ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์

ผู้ช่วยผู้อำนวยการ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

### คณะผู้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 5

ศ.ดร.มงคล สุขวัฒนาสินิทธิ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายณรงค์ศิลป์ ฐูปพนม

ผู้เชี่ยวชาญพิเศษอาวุโส

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผศ.ดร.จินดา แต่มบรรจง

ผู้อำนวยการ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นางสาวศศิณี อังกานนท์

ผู้อำนวยการ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นางกมลวรรณ เกียรติกวินกุล

ผู้อำนวยการ สาขาเคมีและชีววิทยา

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นางสุทธาทิพย์ หวังอำนวยพร

ผู้อำนวยการ สาขาเคมีและชีววิทยา

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นางสาวศิริรัตน์ พริกสี

ผู้อำนวยการ สาขาเคมีและชีววิทยา

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ดร.สนธิ พลชัยยา

ผู้อำนวยการ สาขาเคมีและชีววิทยา

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ดร.วัชระ เตียทะสินธ์

นักวิชาการ สาขาเคมีและชีววิทยา

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



## คณะผู้ร่วมพิจารณาหนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 5 (ฉบับร่าง)

ศ.ดร.มงคล สุขวัฒนาศินิทธิ  
 ผศ.ดร.วราวุฒิ ตั้งพสุธาตล  
 ผศ.ดร.นวพร วินยเวคิน  
 นางสาวอัญชานา นิมอนุสรณ์กุล  
 นางสาวกนิษฐา กลิผล  
 นางสาวนันทน์ภัส วรริตน์ภทธีรากร  
 นางสาวมาลี จิระธนวิทย์  
 นายอัครพงษ์ ธิติพงศ์กร  
 นางสาวนภัสภรณ์ เกตทอง  
 นายอัครวิชญ์ พิวษ์งาม  
 นางสาวณปภัช บุรานนท์  
 นางลัดดาวรรณ เหล่าเกียรติกุล  
 นางวิภาวี จินดานุรักษ์  
 นางสาวปรววรรณ คารวะวิชัย  
 นางสาวณัฐนันท์ เฉลียวพงษ์  
 นางพนารัตน์ เอกปัจจา  
 นางสาวรุจิรัฐฎิกร สุวรรณไตร  
 นางนิตยา ภูผาบาง  
 ดร.ปฎิภา พระพุทธคุณ

นายกฤชพล นิตินัยวินิจ

### คณะบรรณาธิการ

ศ.ดร.มงคล สุขวัฒนาศินิทธิ  
 ผศ.ดร.วราวุฒิ ตั้งพสุธาตล  
 ผศ.ดร.นวพร วินยเวคิน  
 นายณรงค์ศิลป์ รูปพนม

ผศ.ดร.จินดา แต่มบรรจง

นางกมลวรรณ เกียรติกวินกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร  
 โรงเรียนสตรีวิทยา 2 กรุงเทพมหานคร  
 โรงเรียนสารวิทยา กรุงเทพมหานคร  
 โรงเรียนธนบุรีวรเทพีพลารักษ์ กรุงเทพมหานคร  
 โรงเรียนเทพศิรินทร์ กรุงเทพมหานคร  
 โรงเรียนวัดราชโอรส กรุงเทพมหานคร  
 โรงเรียนไตรมิตรวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร  
 โรงเรียนราชวินิตบางแก้ว กรุงเทพมหานคร  
 โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า นนทบุรี จ.นนทบุรี  
 โรงเรียนคณะราษฎรบำรุงปทุมธานี จ.ปทุมธานี  
 โรงเรียนอ่างทองปัทมโรจนวิทยาคม จ.อ่างทอง  
 โรงเรียนยโสธรพิทยาคม จ.ยโสธร  
 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี จ.จันทบุรี  
 โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย จ.ขอนแก่น  
 โรงเรียนชลกันยานุกูล จ.ชลบุรี  
 นักวิชาการ สาขาเคมีและชีววิทยา  
 สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
 นักวิชาการ สาขาเคมีและชีววิทยา  
 สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 ผู้เชี่ยวชาญพิเศษอาวุโส  
 สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
 ผู้ชำนาญ  
 สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
 ผู้ชำนาญ สาขาเคมีและชีววิทยา  
 สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

เคมี เล่ม ๕

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

เวลา ๖๐ ชั่วโมง จำนวน ๑.๕ หน่วยกิต

ศึกษาสารประกอบอินทรีย์ การเกิดพันธะโคเวเลนต์ของสารประกอบอินทรีย์ การแสดงโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ด้วยสูตรโครงสร้างลิวอิส สูตรโครงสร้างแบบย่อ และสูตรโครงสร้างแบบเส้น การเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ตามระบบ IUPAC ไอโซเมอร์ซิม สมบัติเกี่ยวกับจุดเดือดและการละลายในน้ำของสารประกอบอินทรีย์ ปฏิริยาการเผาไหม้ ปฏิริยากับโบรมีนและปฏิริยากับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ปฏิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิริยาการสังเคราะห์เอไมด์ ปฏิริยาไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์และเอไมด์ ปฏิริยาสะปอนนิฟิเคชัน รวมทั้งการนำสารประกอบอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์

ศึกษาพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ที่เป็นสารตั้งต้น ศึกษาพอลิเมอร์ธรรมชาติและพอลิเมอร์สังเคราะห์ ปฏิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ความสัมพันธ์ของโครงสร้างของพอลิเมอร์กับสมบัติของพอลิเมอร์และการนำไปใช้ประโยชน์ พอลิเมอร์เทอร์มอพลาสติกและพอลิเมอร์เทอร์มอเซต การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์โดยการเติมสารเติมแต่ง การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของพอลิเมอร์ การสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ ผลกระทบของการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการป้องกันและการแก้ไข

โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุปเพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสาร สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

### ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ที่มีพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสาม ที่พบในชีวิตประจำวัน
2. เขียนสูตรโครงสร้างลิวอิส สูตรโครงสร้างแบบย่อ และสูตรโครงสร้างแบบเส้นของสารประกอบอินทรีย์
3. วิเคราะห์โครงสร้างและระบุประเภทของสารประกอบอินทรีย์จากหมู่ฟังก์ชัน
4. เขียนสูตรโครงสร้างและเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ ที่มีหมู่ฟังก์ชันไม่เกิน ๑ หมู่ ตามระบบ IUPAC
5. เขียนไอโซเมอร์โครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ
6. วิเคราะห์และเปรียบเทียบจุดเดือดและการละลายในน้ำของสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน ขนาดโมเลกุล หรือโครงสร้างต่างกัน
7. ระบุประเภทของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและเขียนผลิตภัณฑ์จากปฏิริยาการเผาไหม้ ปฏิริยากับโบรมีน หรือปฏิริยากับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต
8. เขียนสมการเคมีและอธิบายการเกิดปฏิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิริยาการสังเคราะห์เอไมด์ ปฏิริยาไฮโดรลิซิส และปฏิริยาสะปอนนิฟิเคชัน
9. ทดสอบปฏิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิริยาไฮโดรลิซิส และปฏิริยาสะปอนนิฟิเคชัน
10. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการนำสารประกอบอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรม
11. ระบุประเภทของปฏิริยาการเกิดพอลิเมอร์จากโครงสร้างของมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์
12. วิเคราะห์และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ รวมทั้งการนำไปใช้ประโยชน์
13. ทดสอบและระบุประเภทของพลาสติกและผลิตภัณฑ์ยาง รวมทั้งการนำไปใช้ประโยชน์
14. อธิบายผลของการปรับเปลี่ยนโครงสร้าง และการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์
15. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างผลกระทบจากการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์และแนว ทางแก้ไข

รวมทั้งหมด ๑๕ ผลการเรียนรู้





สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
กระทรวงศึกษาธิการ