



หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เคมี

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๕

ISBN 978-616-576-362-2

จำนวน ๙๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๖

จัดจำหน่ายโดย

องค์การค้าของ สกสค. พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

❖ มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ



ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕ ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้ว อนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๕ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๗

ว่าที่ร้อยตรี

(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนา หลักสูตร วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภท ที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระ การเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษา ขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ ตามความเหมาะสม

กระทรวงศึกษาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐาน การศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

ว่าที่ร้อยตรี

(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

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 ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา ในด้านวิทยาศาสตร์ 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

(รองศาสตราจารย์ธีระเดช เจียรสุขสกุล)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญและเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ 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 เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

รู้หรือไม่



ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

เชื่อมโยงชีวิตประจำวัน



เนื้อหาที่แสดงความเชื่อมโยงของความรู้ในบทเรียนกับความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ความรู้ในชีวิตประจำวัน หรือความรู้ที่ใช้ในอาชีพต่าง ๆ

สื่อ AR (Augmented Reality)



สื่อเสริมการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยี AR ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดเพื่อใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน "AR วิทย์ ม.ปลาย"

ศัพท์น่ารู้



ความหมายของคำศัพท์ต่าง ๆ ที่เพิ่มเติม และสอดคล้องกับเนื้อหาภายในบทเรียน

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน



การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

แบบฝึกหัดท้ายบท



คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งนักเรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้

สารบัญ

12



เคมีอินทรีย์

บทที่ 12 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 สารประกอบอินทรีย์ในชีวิตประจำวันและการนำไปใช้ประโยชน์	74
แบบฝึกหัดท้ายบท	81

13



พอลิเมอร์

บทที่ 13 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



สารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบของคาร์บอนซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในสิ่งมีชีวิต
และนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรม
เช่น อาหาร ยา วัสดุพลาสติก น้ำมันเชื้อเพลิง



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 CH_4
 - 1.2 CO_2
 - 1.3 HCN
 - 1.4 CH_5N
 - 1.5 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$
2. ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง
 -2.1 H_2O Cl_2 และ NH_4^+ เป็นสารที่มีพันธะโคเวเลนต์ยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม
 -2.2 CH_3OCH_3 มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสาร
 -2.3 CH_3OH มีจุดเดือดสูงกว่า CH_3CH_3
 -2.4 CCl_4 เป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว
 -2.5 CH_3COOH มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นพันธะไฮโดรเจนเท่านั้น
 -2.6 CH_3Br มีจุดเดือดสูงกว่า CH_3Cl เพราะ CH_3Br เป็นโมเลกุลที่มีขั้วมากกว่า CH_3Cl
3. เขียนสมการเคมีที่ดุลแล้วของปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของแก๊สมีเทน (CH_4)

ในชีวิตประจำวันเราเกี่ยวข้องกับสารประกอบอินทรีย์ (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 เวอเลอร์¹ พบว่า การให้ความร้อนกับสารประกอบอินทรีย์แอมโมเนียมไซยาเนต (NH_4OCN) ทำให้เกิดยูเรีย ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ได้ ความเชื่อที่ว่าสารประกอบอินทรีย์ได้จากสิ่งมีชีวิตเท่านั้นจึงไม่เป็นจริง ในปัจจุบันสารประกอบอินทรีย์หมายถึงสารที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ทั้งที่มาจากสิ่งมีชีวิตหรือสังเคราะห์ขึ้นก็ได้ เช่น มีเทน (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 (CO_2) กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) หินปูน (CaCO_3)

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

12.1 พันธะของคาร์บอนในสารประกอบอินทรีย์

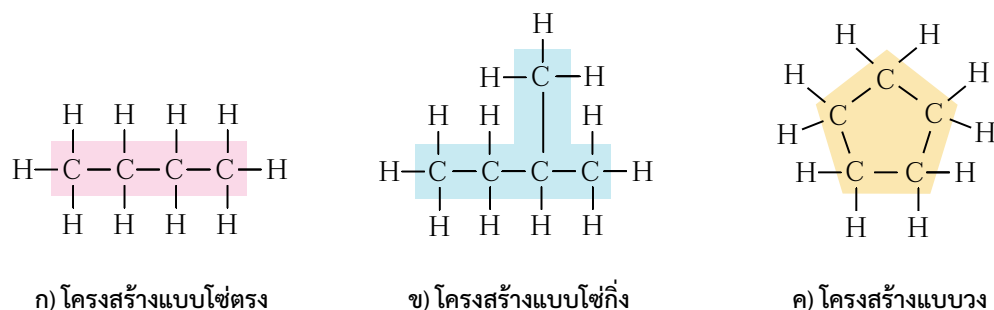
คาร์บอน (C) เป็นธาตุในหมู่ IVA (หมู่ 14) มี 4 เวเลนซ์อิเล็กตรอน โดยทั่วไปจึงเกิดพันธะโคเวเลนต์กับอะตอมข้างเคียง 4 พันธะเพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต พันธะโคเวเลนต์ที่เกิดขึ้นอาจเป็นพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสาม พันธะโคเวเลนต์ที่พบในสารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนด้วยกัน และคาร์บอนกับไฮโดรเจน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

¹ฟรีดริช เวอเลอร์ (Friedrich Wöhler) นักเคมีชาวเยอรมัน ผู้สังเคราะห์ยูเรียซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์จากสารประกอบอนินทรีย์

ตาราง 12.1 สูตรโครงสร้างลิวอิสของสารประกอบอินทรีย์บางชนิด

สูตรโครงสร้างลิวอิส		สูตรโมเลกุล
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H} : \text{C} : \text{C} : \text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	C_2H_6
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} :: \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} = \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array}$	C_2H_4
$\text{H} : \text{C} :: \text{C} : \text{H}$	$\text{H}-\text{C} \equiv \text{C}-\text{H}$	C_2H_2
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} : \text{C} : \ddot{\text{O}} : \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\ddot{\text{O}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	CH_4O
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \vdots \\ \text{H} : \text{C} : \text{C} : \ddot{\text{O}} : \text{H} \\ \quad \vdots \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\ddot{\text{O}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} : \text{C} : \ddot{\text{N}} : \text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\ddot{\text{N}}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	CH_5N
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} : \text{C} : \ddot{\text{Cl}} : \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\ddot{\text{Cl}} : \\ \\ \text{H} \end{array}$	CH_3Cl
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} : \text{C} : \ddot{\text{S}} : \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\ddot{\text{S}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	CH_4S

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 จึงมีการใช้ **สูตรโครงสร้างแบบย่อ** (condensed structural formula) ที่ไม่แสดงพันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน ซึ่งอาจย่อได้หลายรูปแบบ ดังตัวอย่างในตาราง 12.2

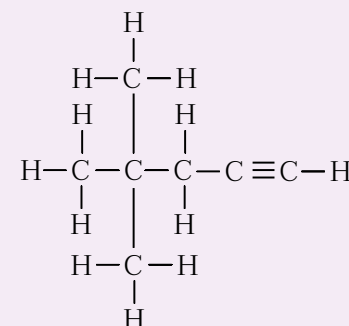
ตาราง 12.2 สูตรโครงสร้างแบบย่อของสารประกอบอินทรีย์บางชนิด

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} $	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	C_4H_{10}
$ \begin{array}{ccc} & \text{H} & \\ & & \\ \text{H}-\text{C}=\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} $	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$	C_3H_6
$ \begin{array}{ccc} & \text{H} & \\ & & \\ \text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & & \\ & \text{H} & \end{array} $	$\text{CH}\equiv\text{CCH}_3$	C_3H_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} $	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$ CH_3COCH_3 $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$
$ \begin{array}{ccccccc} & \text{H} & & & & & \\ & & & & & & \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} & & & & & & \\ & & & & & & \\ \text{H}-\text{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} $	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 \end{array}$ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	C_7H_{16}
$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \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}-\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \end{array} $	C_7H_{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

สูตรโครงสร้างแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมา เป็นการแสดงการเชื่อมต่อกันของอะตอมในโมเลกุลด้วยรูป 2 มิติ แต่เนื่องจากการศึกษาหรือการอธิบายเกี่ยวกับสมบัติบางประการของสารประกอบอินทรีย์จำเป็นต้องทราบรูปร่างโมเลกุลหรือตำแหน่งของอะตอมใน 3 มิติ ซึ่งต้องใช้แบบจำลองโมเลกุลดังตัวอย่างในตาราง 12.4



ตาราง 12.4 แบบจำลองโมเลกุล 3 มิติของสารประกอบอินทรีย์บางชนิด

สูตรโครงสร้างแบบย่อ	สูตรโครงสร้างลิวอิส	แบบจำลองโมเลกุล 3 มิติ
CH_4	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	
CH_3CH_3	$\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	$\begin{array}{ccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$	
$\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_3$	$\begin{array}{ccc} & \text{H} & \\ & & \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} & & \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$	
$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \diagdown \quad \diagup \\ & \text{C}=\text{C} \\ & \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	
$\text{CH}\equiv\text{CH}$	$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$	
$\begin{array}{c} \text{HC}-\text{CH} \\ // \quad \backslash \\ \text{HC} \quad \text{CH} \\ \backslash \quad // \\ \text{HC}=\text{CH} \end{array}$	$\begin{array}{ccc} & \text{H} & \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & =\text{C} & \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & =\text{C} & -\text{H} \\ & & \\ & \text{H} & \end{array}$	

สูตรโครงสร้างแบบย่อ	สูตรโครงสร้างลิวอิส	แบบจำลองโมเลกุล 3 มิติ
CH_3COOH	$\begin{array}{c} \text{H} & :\text{O}: \\ & \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}-\ddot{\text{O}}-\text{H} \\ & \\ \text{H} & \end{array}$	
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	$\begin{array}{c} :\text{O}: \\ \\ \text{H}-\ddot{\text{N}}- & \text{C}-\ddot{\text{N}}-\text{H} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	



แบบฝึกหัด 12.1

1. จากสูตรโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์



ตอบคำถามต่อไปนี้

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

2. เติมข้อมูลในตารางต่อไปนี้ให้สมบูรณ์

ข้อ	สูตรโครงสร้าง ลิวอิส	สูตรโครงสร้าง แบบเส้นพันธะ	สูตรโครงสร้างแบบย่อ	สูตรโมเลกุล
2.1				
2.2			CH_3CHCl_2	
2.3				
2.4			$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$	
2.5				
2.6				
2.7			$\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$	
2.8				
2.9				
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)	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$	$\text{C} - \text{C}$	CH_3CH_3
แอลคีน (alkene)	C_nH_{2n}	$\text{C} = \text{C}$	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$
แอลไคน์ (alkyne)	$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$	$\text{C} \equiv \text{C}$	$\text{CH} \equiv \text{CH}$
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



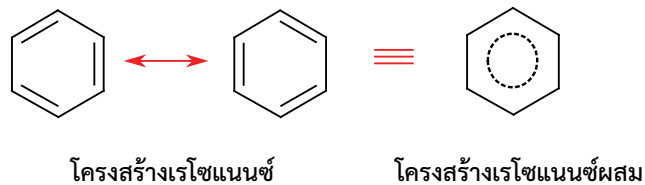
รูป 12.2 ไซโคลแอลเคนบางชนิด



ชวนคิด

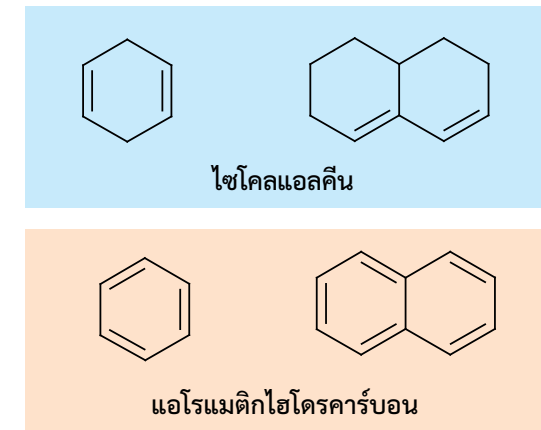
ไซโคลแอลเคนมีสูตรทั่วไปเหมือนหรือต่างจากแอลเคนโซ่เปิดอย่างไร

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



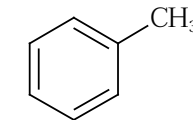
รูป 12.3 การเกิดเรโซแนนซ์ในวงเบนซีน

การเกิดเรโซแนนซ์ทำให้พันธะคู่ในวงเบนซีนมีความเสถียรเพิ่มขึ้นและไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีเท่ากับพันธะคู่ของแอลคีน จึงทำให้สารประกอบแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนมีสมบัติทางเคมีหลายประการที่ต่างจากแอลคีนและไซโคลแอลคีนที่พันธะคู่และพันธะเดี่ยวไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่สลับกันทั่วทั้งวง ตัวอย่างดังรูป 12.4



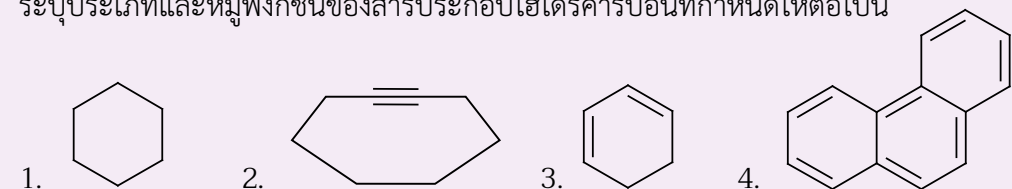
รูป 12.4 ไซโคลแอลคีนและแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนบางชนิด

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 ₃ OH
อีเทอร์ (ether)	ROR'	—O—	CH ₃ CH ₂ OCH ₃
แอลดีไฮด์ (aldehyde)	RCHO	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{H} \end{array}$	CH ₃ CHO
คีโตน (ketone)	RCOR'	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}- \end{array}$	CH ₃ COCH ₃
กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid)	RCOOH	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{O}-\text{H} \end{array}$	CH ₃ COOH
เอสเทอร์ (ester)	RCOOR'	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{O}- \end{array}$	CH ₃ COOCH ₃

จากตาราง 12.6 จะเห็นว่า สารแต่ละประเภทมีโมเลกุลที่ประกอบด้วยส่วนของหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน และส่วนของไฮโดรคาร์บอนที่แทนด้วย R หรือ R' ซึ่งหมายถึง **หมู่แอลคิล** (alkyl group) ที่เป็นส่วนของไฮโดรคาร์บอนที่มีไฮโดรเจนหายไป 1 อะตอม เช่น —CH₃ (methyl) —CH₂CH₃ (ethyl) โดย R และ R' อาจเหมือนหรือต่างกันได้ นอกจากนี้ในส่วนของไฮโดรคาร์บอนที่มาจากแอโรแมติก ไฮโดรคาร์บอนซึ่งเรียกว่า **หมู่แอริล** (aryl group) อาจแทน R ด้วยสัญลักษณ์ Ar เช่น —C₆H₅ (phenyl)



ตรวจสอบความเข้าใจ

ระบุประเภทและหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ที่กำหนดให้ต่อไปนี้

1. CH₃CH₂CHO
2. CH₃(CH₂)₂OH
3. CH₃(CH₂)₂COOH
4. CH₃COOCH₂CH₃
5. CH₃CO(CH₂)₂CH₃
6. CH₃CH₂OCH₂CH₃

สารประกอบอินทรีย์บางประเภทมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น เอมีน เอไมด์ ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันแสดงดังตาราง 12.7

ตาราง 12.7 ประเภทและหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

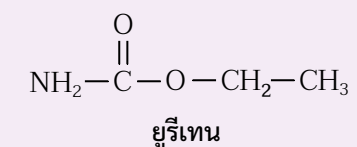
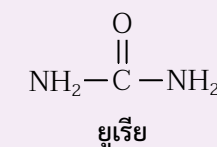
ประเภทของสารประกอบ	สูตรทั่วไป	หมู่ฟังก์ชัน	ตัวอย่างสารประกอบ
เอมีน (amine)	RNH ₂	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{N}-\text{H} \end{array}$	CH ₃ NH ₂
	RR'NH	$\begin{array}{c} \\ -\text{N}-\text{H} \end{array}$	NH(CH ₃) ₂
	RR'R''N	$\begin{array}{c} \\ -\text{N}- \end{array}$	N(CH ₂ CH ₃) ₃
เอไมด์ (amide)	RCONH ₂	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{H} \\ \parallel \quad \\ -\text{C}-\text{N}-\text{H} \end{array}$	CH ₃ CONH ₂
	RCONHR'	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \\ \parallel \quad \\ -\text{C}-\text{N}-\text{H} \end{array}$	CH ₃ CONHC ₆ H ₅
	RCONR'R''	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \\ \parallel \quad \\ -\text{C}-\text{N}- \end{array}$	CH ₃ CON(CH ₃) ₂

จากตาราง 12.7 จะเห็นว่า สารประกอบเอมีนและเอไมด์อาจมีหมู่แอลคิลหรือหมู่แอริลแทนที่อะตอมของไฮโดรเจนที่อยู่บนไนโตรเจนได้



ความรู้เพิ่มเติม

นอกจากเอมีนและเอไมด์แล้ว ยังมีสารประกอบอินทรีย์ชนิดอื่นที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น ยูเรีย ยูรีเทน (หรือคาร์บาเมต)

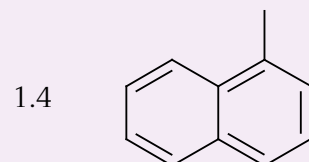
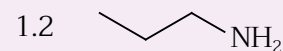
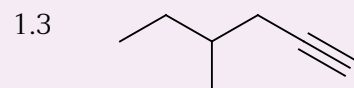
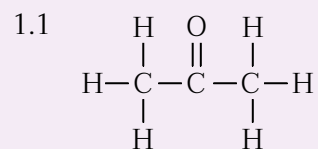


สารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ๆ อาจมีหมู่ฟังก์ชันได้มากกว่าหนึ่งหมู่ เช่น กรดแอมิโน วิตามิน คอเลสเตอรอล ซึ่งทำให้สารอินทรีย์เหล่านั้นแสดงสมบัติของหมู่ฟังก์ชันมากกว่าหนึ่งหมู่ด้วย



แบบฝึกหัด 12.2

1. สารประกอบอินทรีย์ในข้อใดบ้างเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และระบุว่าเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทใด

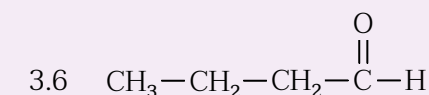
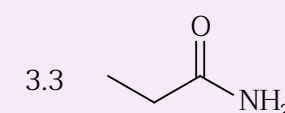
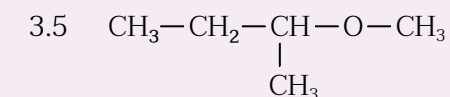
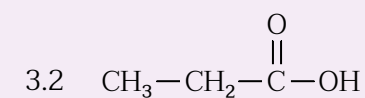
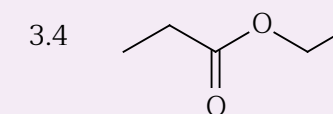


2. เติมข้อมูลในตารางต่อไปนี้ให้สมบูรณ์

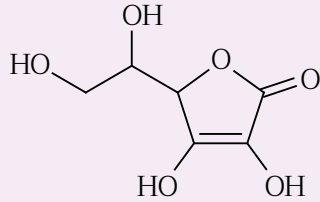
ข้อ	ประเภทของสารประกอบ	สูตรทั่วไป	หมู่ฟังก์ชัน
2.1			$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{N}-\text{H} \end{array}$
2.2		$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$	
2.3	แอลดีไฮด์ (aldehyde)		
2.4		ROR'	
2.5			$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}- \end{array}$
2.6	แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon)	-	
2.7		RCONH_2	

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

3. วงกลมล้อมรอบหมู่ฟังก์ชัน (ยกเว้น C-C) และระบุประเภทของสารประกอบอินทรีย์จากสูตรโครงสร้างที่กำหนดให้ต่อไปนี้



4. ระบุหมู่ฟังก์ชันและจำนวนของหมู่ฟังก์ชันนั้น (ยกเว้น C-C) จากสูตรโครงสร้างของวิตามินซีดังนี้



12.4 ชื่อของสารประกอบอินทรีย์

ในอดีตนักเคมีนิยมเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ตามแหล่งที่พบ ลักษณะทางกายภาพ หรือชื่อผู้ค้นพบ ซึ่งชื่อเหล่านี้จัดเป็นชื่อสามัญของสาร และยังมีหลายชื่อที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น



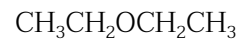
แอซีโตน
(acetone)



กรดฟอร์มิก
(formic acid)



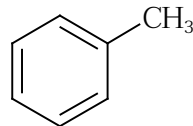
กรดแอซีติก
(acetic acid)



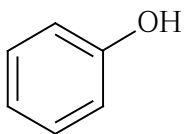
ไดเอทิลอีเทอร์
(diethyl ether)



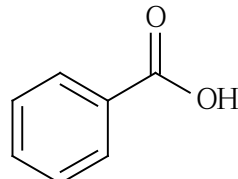
เอทิลแอลกอฮอล์
(ethyl alcohol)



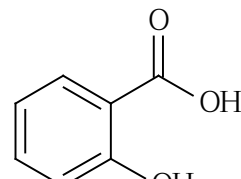
โทลูอิน
(toluene)



ฟีนอล
(phenol)



กรดเบนโซอิก
(benzoic acid)



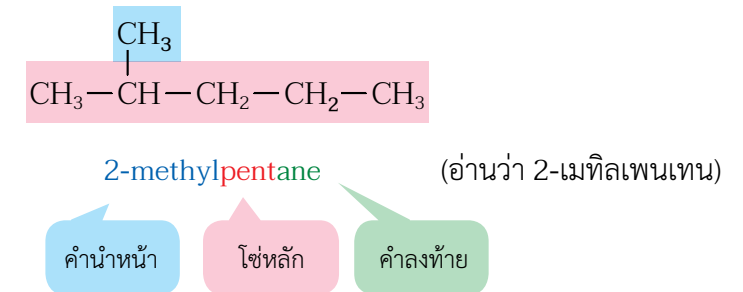
กรดซาลิซิลิก
(salicylic acid)

เมื่อมีการค้นพบสารประกอบอินทรีย์จำนวนมากขึ้น การใช้ชื่อสามัญไม่ครอบคลุมเพียงพอและอาจไม่สามารถทำให้เข้าใจตรงกันได้ IUPAC² จึงได้ตั้งข้อกำหนดในการเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ที่สัมพันธ์กับโครงสร้างของสารอย่างเป็นระบบ โดยมีการระบุจำนวนอะตอมของคาร์บอน หมู่ฟังก์ชัน จำนวนและตำแหน่งของหมู่ต่าง ๆ อย่างชัดเจน

ชื่อสารประกอบอินทรีย์ตามระบบ IUPAC แบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนคำลงท้าย โข่หลัก และคำนำหน้า ซึ่งบ่งบอกลักษณะโครงสร้าง ดังนี้

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

เช่น



² IUPAC ย่อมาจาก International Union of Pure and Applied Chemistry

คำลงท้าย คือตำแหน่งและหมู่ฟังก์ชันหลัก โดยใช้คำลงท้ายเสียงที่พ้องกับประเภทสารประกอบ ดังตาราง 12.8

ตาราง 12.8 คำลงท้ายของหมู่ฟังก์ชันหลักของสารประกอบอินทรีย์แต่ละประเภท

ประเภทของสารประกอบอินทรีย์	คำลงท้ายของหมู่ฟังก์ชันหลัก	การออกเสียงคำลงท้าย
สารประกอบไฮโดรคาร์บอน		
แอลเคน (alkane)	-ane	เอน
แอลคีน (alkene)	-ene	อิน
แอลไคน์ (alkyne)	-yne	ไอน์
แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon)	-	-
สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ		
แอลกอฮอล์ (alcohol)	-ol	อล
อีเทอร์ (ether)	-	-
แอลดีไฮด์ (aldehyde)	-al	าล
คีโตน (ketone)	-one	โอน
กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid)	-oic acid	โออิก แอซิด
เอสเทอร์ (ester)	-oate	โอเอต
สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ		
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) นอกจากนี้ยังมีอะตอมของธาตุแฮโลเจนซึ่งแม้จะเป็นหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ แต่จัดให้เป็นหมู่แทนที่ในการเรียกชื่อโดยเปลี่ยนส่วนท้ายเสียงของชื่อธาตุจาก -ine (อิน) เป็น -o (โอ) ได้แก่

F เรียกว่า fluoro (ฟลูออโร)

Cl เรียกว่า chloro (คลอโร)

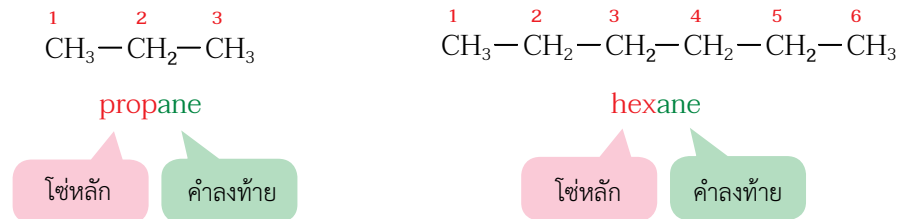
Br เรียกว่า bromo (โบรโม)

I เรียกว่า iodo (ไอโอโด)

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

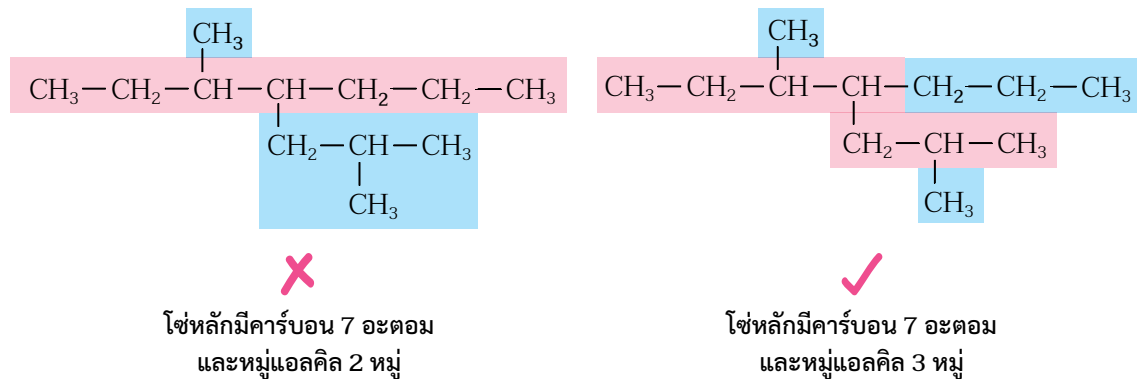
12.4.1 ชื่อของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

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

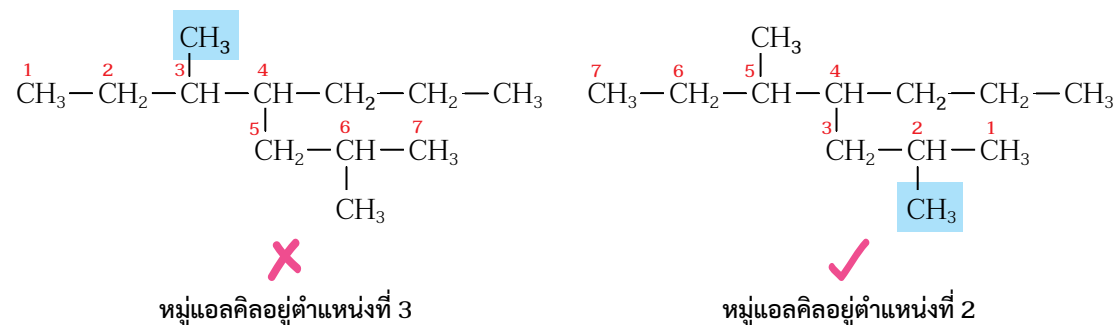


ชื่อแอลเคนที่เป็นโซ่กิ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ คำลงท้าย โซ่หลัก และคำนำหน้า โดยมีขั้นตอนการเรียกชื่อนี้

1. เลือกสายคาร์บอนที่ต่อกันยาวที่สุดเป็นโซ่หลัก ในกรณีที่มีสายคาร์บอนที่ยาวที่สุดมากกว่าหนึ่งแบบ ให้เลือกแบบที่มีหมู่แอลคิลต่ออยู่จำนวนมากที่สุดเป็นโซ่หลัก เช่น



2. กำหนดตัวเลขแสดงตำแหน่งของคาร์บอนในโซ่หลัก โดยเริ่มจากปลายด้านที่ทำให้หมู่แอลคิลอยู่บนตำแหน่งที่เป็นตัวเลขน้อยที่สุด เช่น



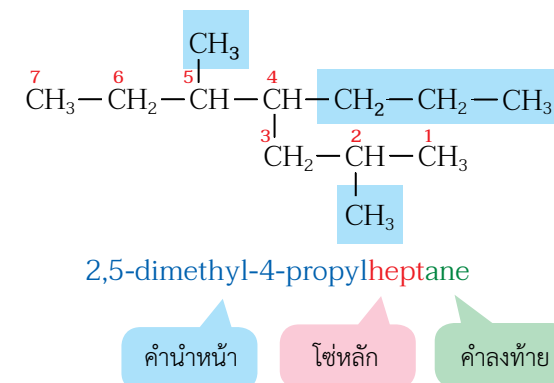
3. เรียกชื่อหมู่แอลคิลและระบุตำแหน่งของหมู่แอลคิลบนโซ่หลักด้วยตัวเลขไว้ด้านหน้าชื่อหมู่ หากมีหลายหมู่ให้เรียงลำดับตามตัวอักษรภาษาอังกฤษของชื่อหมู่ และถ้ามีหมู่ซ้ำกันให้ใช้คำนำหน้าดังนี้

2 หมู่ ใช้คำว่า di (ได)

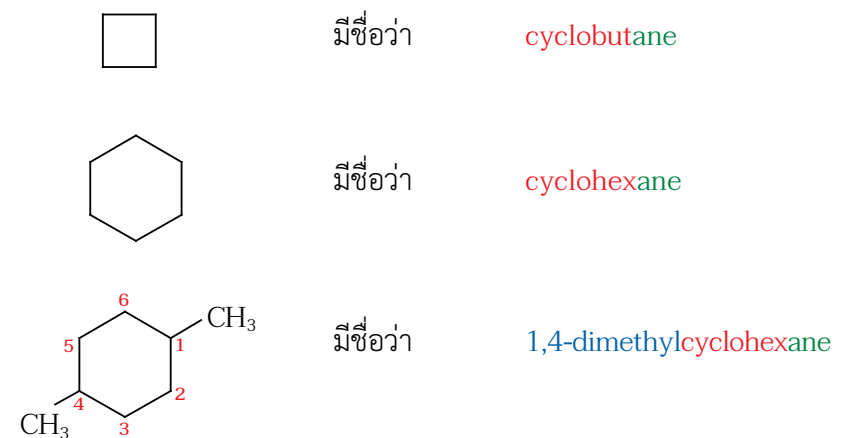
3 หมู่ ใช้คำว่า tri (ไตร)

4 หมู่ ใช้คำว่า tetra (เตตระ)

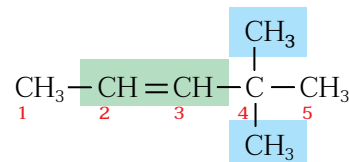
ใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นระหว่างตัวเลขเมื่อระบุตำแหน่งของหมู่ซ้ำ และใช้เครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่นระหว่างตัวเลขและตัวอักษร เช่น



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



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

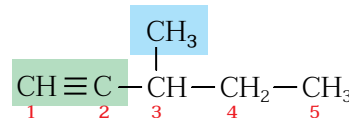
แอลคีน

4,4-dimethylpent-2-ene

คำนำหน้า

โซ่หลัก

คำลงท้าย

แอลไคน์

3-methylpent-1-yne

คำนำหน้า

โซ่หลัก

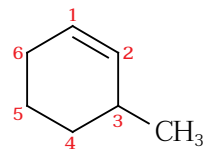
คำลงท้าย

การเรียกชื่อไซโคลแอลคีน (cycloalkene) และไซโคลแอลไคน์ (cycloalkyne) เรียกชื่อในทำนองเดียวกันกับไซโคลแอลเคน โดยถ้ามีหมู่แทนที่ให้ระบุตำแหน่งของทั้งพันธะคู่หรือพันธะสามและหมู่แทนที่ด้วย เช่น

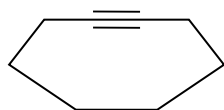


มีชื่อว่า

cyclobutene



มีชื่อว่า

3-methylcyclohex-1-ene หรือ
3-methylcyclohexene

มีชื่อว่า

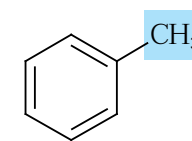
cyclooctyne

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

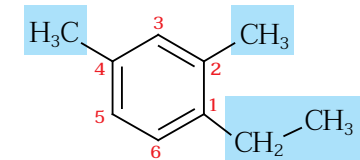
การเรียกชื่อแโรแมติกไฮโดรคาร์บอน กำหนดให้ benzene เป็นโครงสร้างหลัก และเรียกชื่อหมู่แทนที่ตามลำดับอักษรภาษาอังกฤษตัวแรกของหมู่นั้น โดยระบุตำแหน่งของหมู่แทนที่ให้เป็นตัวเลขน้อยที่สุด ตามหลักการเดียวกับแอลเคน เช่น



methylbenzene

คำนำหน้า

โซ่หลัก



1-ethyl-2,4-dimethylbenzene

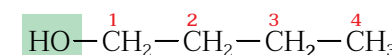
คำนำหน้า

โซ่หลัก

12.4.2 ชื่อของสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ

สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ มีหลักการเรียกชื่อเบื้องต้นเหมือนกับการเรียกชื่อสารประกอบไฮโดรคาร์บอน แต่เปลี่ยนท้ายชื่อตามชนิดของประเภทสาร ในระดับขั้นนี้จะไม่กล่าวถึงหมู่แทนที่ที่เป็นแโรแมติก และสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ โดยไม่รวมพันธะเดี่ยวของแอลเคน

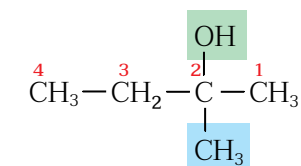
การเรียกชื่อแอลกอฮอล์ กำหนดตัวเลขแสดงตำแหน่งของคาร์บอนในโซ่หลัก โดยให้ตำแหน่งของคาร์บอนที่มีหมู่ -OH เป็นตัวเลขน้อยที่สุด เรียกโซ่หลักด้วยชื่อของแอลเคน (-ane) แต่ตัดอักษรตัวท้ายของแอลเคน คือ e ออก จากนั้นระบุตำแหน่งของหมู่ -OH ตามด้วยคำลงท้าย -ol ในส่วนของคำนำหน้าให้ระบุตำแหน่งและชื่อของหมู่แทนที่ (ถ้ามี)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



butan-1-ol

โซ่หลัก

คำลงท้าย



2-methylbutan-2-ol

คำนำหน้า

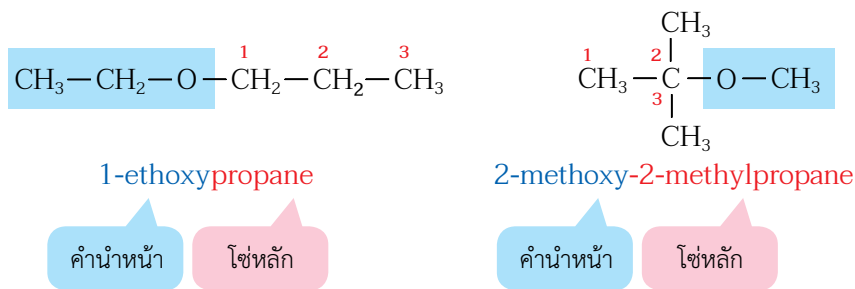
โซ่หลัก

คำลงท้าย

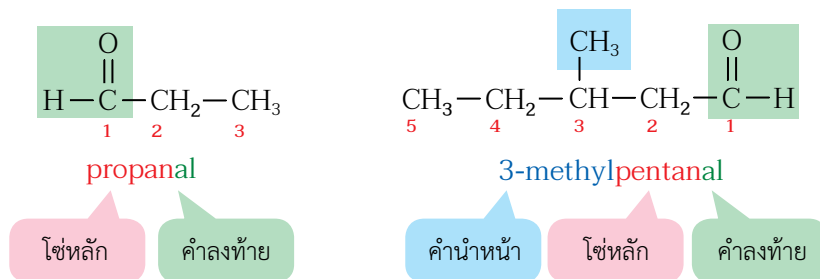
การเรียกชื่ออีเทอร์ กำหนดให้ด้านที่มีจำนวนคาร์บอนมากกว่าเป็นโซ่หลัก ส่วนด้านที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่าให้รวมกับออกซิเจนเป็นหมู่แทนที่เรียกว่า alkoxy (–OR) ซึ่งเรียกชื่อตามจำนวนคาร์บอน แล้วลงท้ายด้วย -oxy (ออกซี) เช่น

- OCH₃ เรียกว่า methoxy (เมทอกซี)
- OCH₂CH₃ เรียกว่า ethoxy (เอทอกซี)
- OCH₂CH₂CH₃ เรียกว่า propoxy (โพรพอกซี)

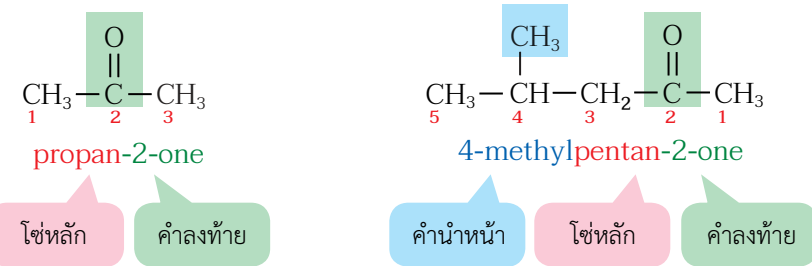
กำหนดตัวเลขแสดงตำแหน่งของคาร์บอนในโซ่หลักที่ต่อกับหมู่ –OR เป็นตัวเลขน้อยที่สุด แล้วเรียกชื่ออีเทอร์โดยระบุตำแหน่งและชื่อของหมู่ –OR ตามด้วยชื่อแอลเคนของโซ่หลัก เช่น



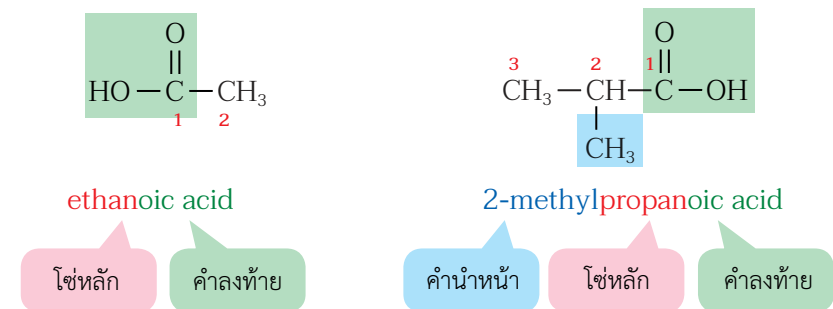
การเรียกชื่อแอลดีไฮด์ กำหนดให้คาร์บอนของ –CHO เป็นตำแหน่งที่ 1 และเรียกโซ่หลักด้วยชื่อของแอลเคน (-ane) แต่ตัดอักษรตัวท้ายของแอลเคน คือ e ออก แล้วลงท้ายด้วย -al โดยไม่ต้องระบุตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน ในส่วนของคำนำหน้าให้ระบุตำแหน่งและชื่อของหมู่แทนที่ (ถ้ามี) เช่น



การเรียกชื่อคีโตน กำหนดตัวเลขแสดงตำแหน่งของคาร์บอนในโซ่หลัก โดยเริ่มจากปลายด้านที่ทำให้ตำแหน่งของหมู่ $\text{C}=\text{O}$ มีตัวเลขน้อยที่สุด เรียกโซ่หลักด้วยชื่อของแอลเคน (-ane) แต่ตัดอักษรตัวท้ายของแอลเคน คือ e ออก จากนั้นระบุตำแหน่งของหมู่ $\text{C}=\text{O}$ ตามด้วยคำลงท้าย -one ในส่วนของคำนำหน้าให้ระบุตำแหน่งและชื่อของหมู่แทนที่ (ถ้ามี) เช่น



การเรียกชื่อกรดคาร์บอกซิลิก กำหนดให้คาร์บอนของ –COOH เป็นตำแหน่งที่ 1 และเรียกโซ่หลักด้วยชื่อของแอลเคน (-ane) แต่ตัดอักษรตัวท้ายของแอลเคน คือ e ออก แล้วลงท้ายด้วย -oic acid โดยไม่ต้องระบุตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน ในส่วนของคำนำหน้าให้ระบุตำแหน่งและชื่อของหมู่แทนที่ (ถ้ามี) เช่น



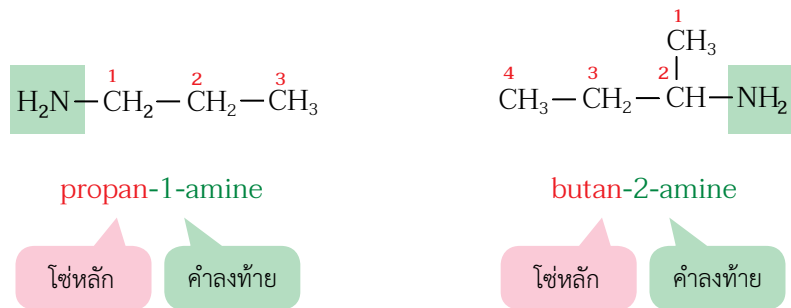
การเรียกชื่อเอสเทอร์ เอสเทอร์มีสูตรทั่วไปเป็น RCOOR' ชื่อของเอสเทอร์จะมี 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนของ R' ที่ติดอยู่กับออกซิเจน และส่วนที่ 2 เป็นส่วนของ RCOO โดยส่วนแรกเรียกชื่อเหมือนแอลเคนแต่ตัดอักษร -ane ออกแล้วลงท้ายด้วย -yl จากนั้นตามด้วยส่วนที่ 2 ซึ่งเรียกชื่อเหมือนกรดคาร์บอกซิลิก แต่เปลี่ยนคำลงท้ายจาก -oic acid เป็น -oate เช่น



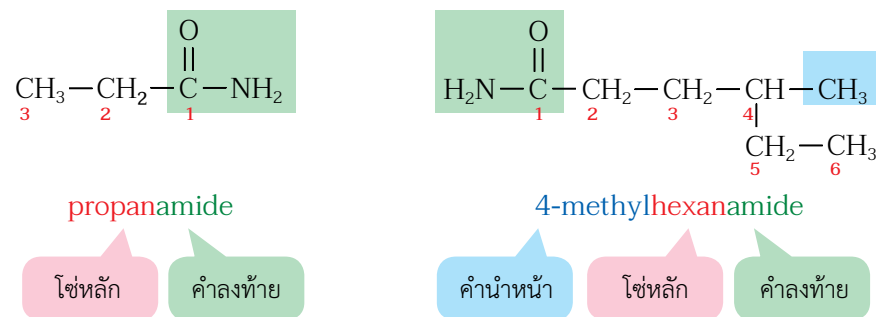
12.4.3 ชื่อของสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ มีหลักการเรียกชื่อคล้ายกับที่ได้กล่าวมาแล้วสำหรับสารประเภทอื่น ซึ่งในระดับชั้นนี้จะพิจารณาการเรียกชื่อเฉพาะเอมีนและเอไมด์ที่มีหมู่แทนที่บนไนโตรเจนเพียงหมู่เดียวเท่านั้น โดยมีตัวอย่างและรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

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

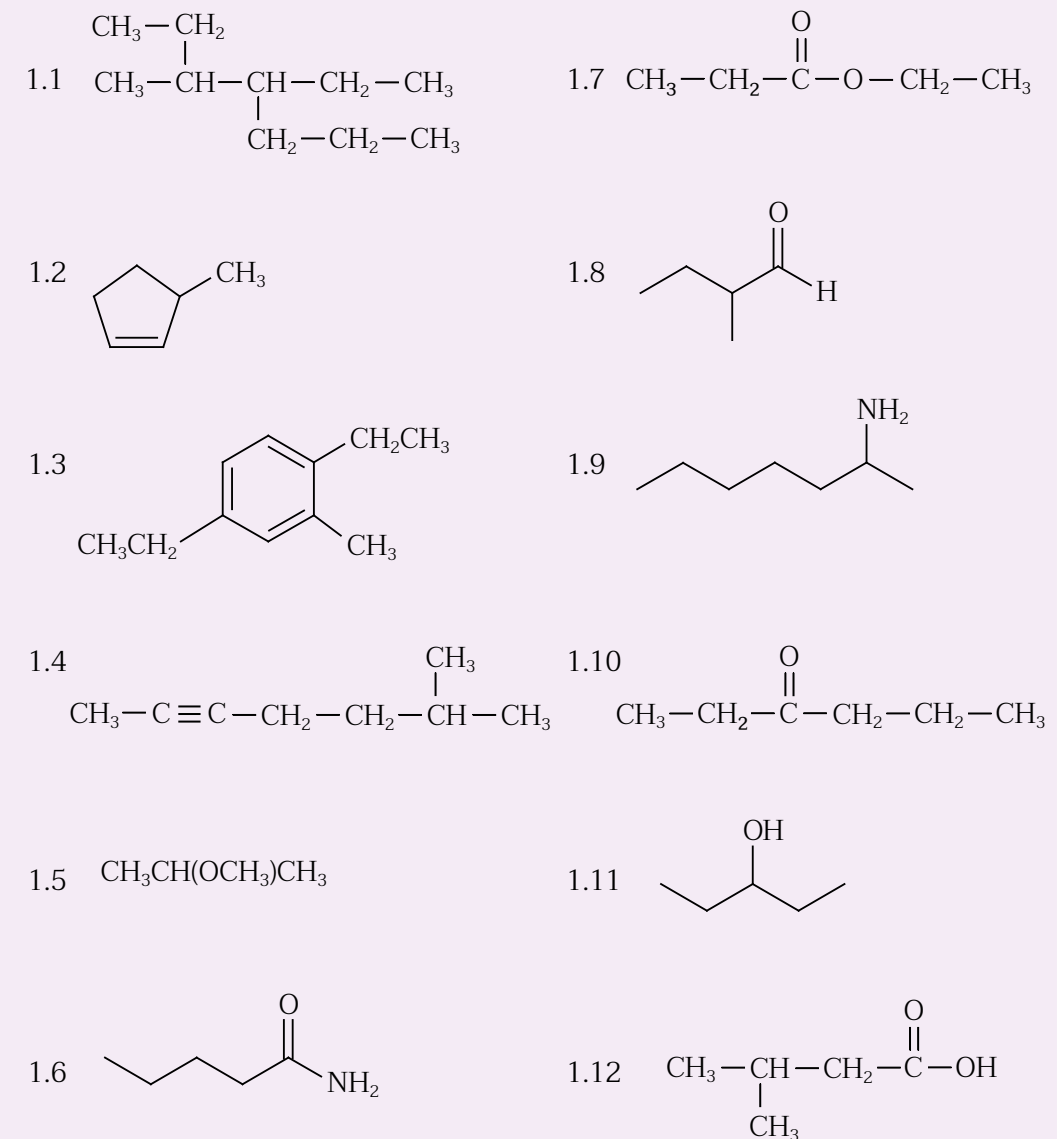


การเรียกชื่อเอไมด์ กำหนดให้คาร์บอนของ $-CONH_2$ เป็นตำแหน่งที่ 1 และเรียกโซ่หลักด้วยชื่อของแอลเคน (-ane) แต่ตัดอักษรตัวท้ายของแอลเคน คือ e ออก แล้วลงท้ายด้วย -amide โดยไม่ต้องระบุตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน ในส่วนของคำนำหน้าให้ระบุตำแหน่งและชื่อของหมู่แทนที่ (ถ้ามี) เช่น



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 เมทิลซาลิซิลเลต (methyl salicylate)
- 3.3 ฟีนิลเอทานอเอต (phenyl ethanoate)

12.5 ไอโซเมอร์

ปรากฏการณ์ที่สารมีสูตรโมเลกุลเหมือนกันแต่มีสมบัติแตกต่างกันเรียกว่า **ไอโซเมอริซึม** (isomerism) โดยสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างต่างกันแต่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกัน เรียกว่า **ไอโซเมอร์** (isomer) ไอโซเมอร์เป็นสารต่างชนิดกันและมีสมบัติต่างกัน ไอโซเมอร์อาจเกิดจากลำดับการต่อกันของอะตอมหรือลำดับการต่อกันของชนิดพันธะต่างกัน ไอโซเมอร์ประเภทนี้เรียกว่า **ไอโซเมอร์โครงสร้าง** (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

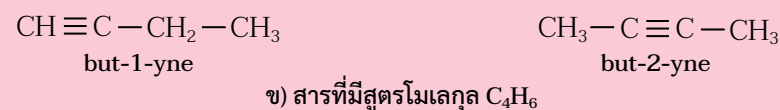
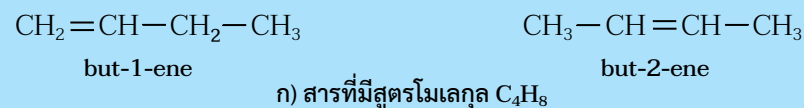
1. โครงสร้างแต่ละโครงสร้างที่ได้จากการต่อบนจำลองมีสูตรโมเลกุลเป็นอย่างไร
2. โครงสร้างที่ได้จากการต่อบนจำลองมีจำนวนเท่าใด และแตกต่างกันอย่างไร

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



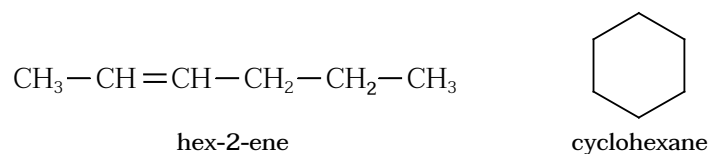
รูป 12.5 ตัวอย่างไอโซเมอร์ของสารที่มีสูตรโมเลกุล C_4H_{10}

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเท่ากัน สำหรับแอลเคนลำดับการจัดเรียงอะตอมของคาร์บอน อาจทำให้โครงสร้างมีลักษณะเป็นโซ่ตรงหรือโซ่กึ่งที่เป็นไอโซเมอร์กัน โดยเมื่อจำนวนอะตอมของคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะทำให้จำนวนไอโซเมอร์ที่เป็นไปได้มีมากขึ้นด้วย สำหรับแอลคีนและแอลไคน์ การจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนที่ต่างกันอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่หรือพันธะสามในสายโซ่คาร์บอนได้เป็นไอโซเมอร์โครงสร้าง ดังตัวอย่างในรูป 12.6



รูป 12.6 ตัวอย่างไอโซเมอร์ที่มีตำแหน่งพันธะคู่หรือพันธะสามในสายโซ่คาร์บอนต่างกัน

นอกจากนี้การต่อกันของอะตอมของคาร์บอนแบบโซ่เปิดและแบบวงก็สามารถทำให้เกิดไอโซเมอร์ได้ ตัวอย่างดังรูป 12.7



รูป 12.7 ตัวอย่างไอโซเมอร์ของสารที่มีสูตรโมเลกุล C_6H_{12}

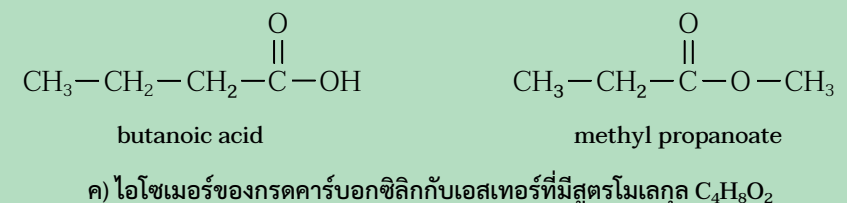
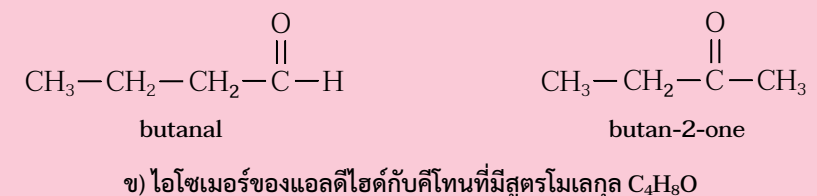
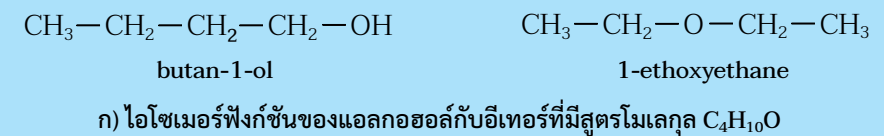


ตรวจสอบความเข้าใจ

เขียนไอโซเมอร์โครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุลดังต่อไปนี้ และระบุว่าไอโซเมอร์ที่เป็นแบบโซ่เปิดและแบบวงอย่างละกี่ไอโซเมอร์

1. C_4H_8
2. C_5H_{10}

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

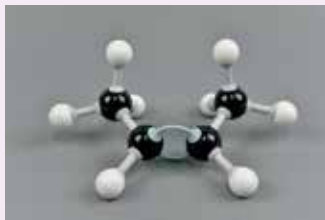
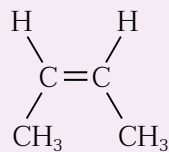


รูป 12.8 ตัวอย่างไอโซเมอร์ฟังก์ชันของสารบางชนิด

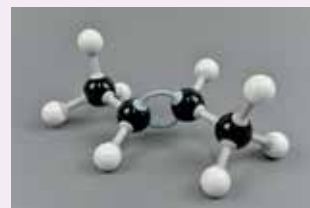
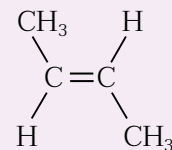


ความรู้เพิ่มเติม

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

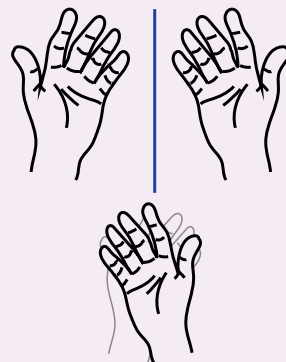
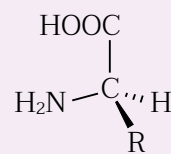
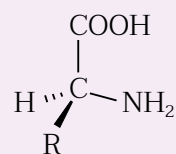


cis-but-2-ene



trans-but-2-ene

นอกจากนี้ ยังมีสเตอริโอไอโซเมอร์ที่เป็นภาพสะท้อนในกระจกซึ่งกันและกัน แต่ไม่สามารถซ้อนทับกันได้สนิท คล้ายกับมือซ้ายและมือขวา เรียกสเตอริโอไอโซเมอร์แบบนี้ว่า **เอนันทิโอเมอร์** (enantiomer) เช่น กรดแอมิโน มีเอนันทิโอเมอร์ แสดงได้ดังรูป



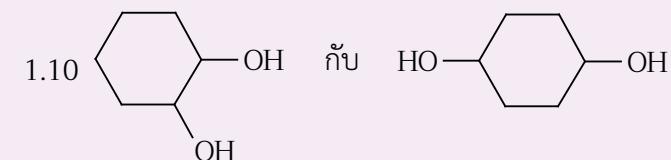
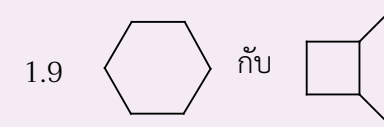
หมายเหตุ สัญลักษณ์ของพันธะ —— แทน พันธะที่เชื่อมจากกระนาบของกระดาษ
 $\cdots$ แทน พันธะที่เข้าไปในระนาบของกระดาษ



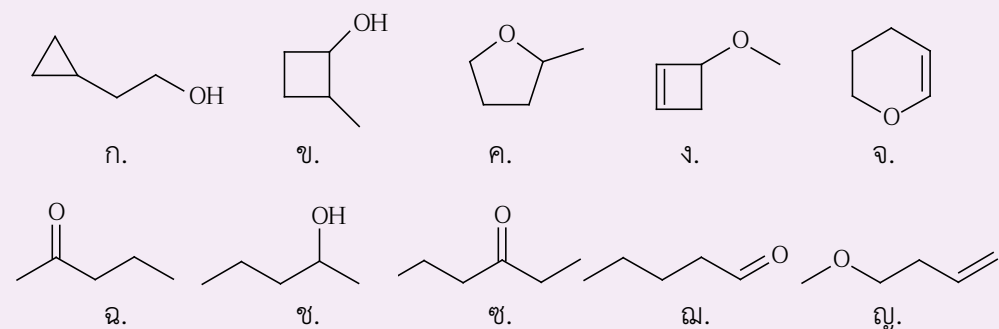
แบบฝึกหัด 12.4

1. สารประกอบอินทรีย์ในข้อใดเป็นไอโซเมอร์กัน

- 1.1 CH_3OCH_3 กับ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
- 1.2 $(\text{CH}_3)_2\text{CCl}_2$ กับ $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{Cl}$
- 1.3 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CHO}$ กับ $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{CO}$
- 1.4 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{CHCH}_3$ กับ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)_3$
- 1.5 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ กับ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NHCH}_3$
- 1.6 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_3$ กับ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$
- 1.7 $\text{CH}_2=\text{CHCH}(\text{CH}_3)_2$ กับ $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}=\text{CH}_2$
- 1.8 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ กับ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_2\text{CH}_3)\text{OH}$



2. สารประกอบอินทรีย์ในข้อใดบ้างที่เป็นไอโซเมอร์กัน



3. เขียนไอโซเมอร์โครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 6 อะตอม และมีโครงสร้างและพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนดังนี้

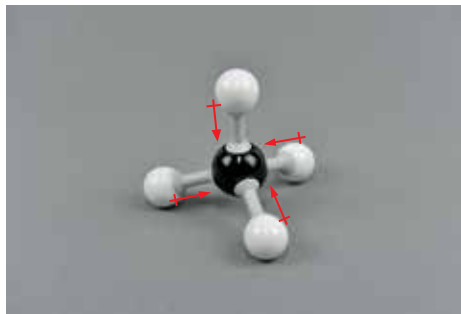
- 3.1 โซ่เปิดที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมด
- 3.2 แบบวงที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมด
- 3.3 โซ่เปิดที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ
- 3.4 โซ่เปิดที่มีพันธะสาม 1 พันธะ

12.6 สมบัติของสารประกอบอินทรีย์

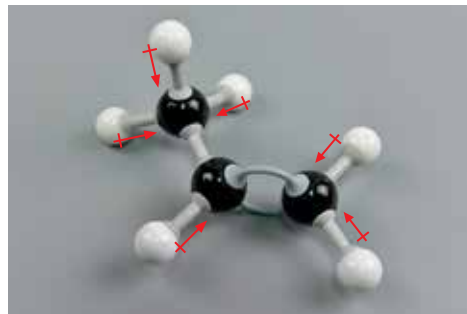
การทราบสมบัติของสารประกอบอินทรีย์มีความสำคัญต่อการนำสารไปใช้ประโยชน์ และช่วยให้สามารถหลีกเลี่ยงหรือป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ได้ ซึ่งสมบัติของสารประกอบอินทรีย์ขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชัน ขนาดโมเลกุล และโครงสร้างของสาร โดยมีแนวโน้มและความจำเพาะที่น่าสนใจดังจะได้ศึกษาต่อไป

12.6.1 สมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีพันธะโคเวเลนต์ของคาร์บอนกับคาร์บอน และคาร์บอนกับไฮโดรเจน ซึ่งไม่มีขั้วหรือมีขั้วน้อย และทิศทางการต่อกันของพันธะทำให้ขั้วของพันธะส่วนใหญ่หักล้างกัน เช่น โครงสร้างของมีเทนและโพรเพน แสดงสภาพขั้วของพันธะได้ดังรูป 12.9



ก) มีเทน



ข) โพรเพน

รูป 12.9 สภาพขั้วของพันธะในโมเลกุลมีเทนและโพรเพน

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



รู้หรือไม่

เมื่อมีอุบัติเหตุที่ทำให้น้ำมันเกิดการรั่วไหลระหว่างการขนส่งทางเรือ น้ำมันจะแผ่กระจายบนผิวน้ำเป็นพื้นที่กว้าง เนื่องจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันไม่ละลายในน้ำ และมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ดังนั้นการแก้ไขเบื้องต้นคือการใช้ทุ่นลอยน้ำจำกัดบริเวณไม่ให้น้ำมันที่รั่วไหลแผ่กระจายเป็นพื้นที่กว้างมากนักเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำที่ต้องการออกซิเจนในการหายใจ 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
 - ไฮโคแอลเคน
2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดเดือดกับจำนวนอะตอมของคาร์บอนของแอลเคนโซ่ตรงและไฮโคแอลเคน โดยใช้แกนร่วมกัน
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างจุดเดือดกับจำนวนอะตอมของคาร์บอนของแอลเคนโซ่ตรงและไฮโคแอลเคน
4. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดหลอมเหลวกับจำนวนอะตอมของคาร์บอนของแอลเคนโซ่ตรงและไฮโคแอลเคน โดยใช้แกนร่วมกัน
5. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างจุดหลอมเหลวของแอลเคนโซ่ตรงและไฮโคแอลเคนกับจำนวนอะตอมของคาร์บอน
6. เปรียบเทียบจุดเดือดของแอลเคนโซ่ตรงและไฮโคแอลเคนที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเท่ากัน

คำถามท้ายกิจกรรม

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

เมื่อแอลเคนโซ่ตรงมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น และมีแรงแผ่กระจายลอนดอนยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากขึ้น ดังนั้นจุดเดือดและจุดหลอมเหลวจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของจุดเดือดมีลักษณะต่อเนื่องมากกว่าจุดหลอมเหลว ดังนั้นการเปรียบเทียบสมบัติที่เกี่ยวข้องกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารจึงนิยมพิจารณาจากจุดเดือดมากกว่าจุดหลอมเหลว ในกรณีของไฮโคแอลเคนยังพบว่า มีจุดเดือดสูงกว่าแอลเคนโซ่ตรงที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเท่ากันแสดงว่า แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของไฮโคแอลเคนสูงกว่าของแอลเคนโซ่ตรง นอกจากจำนวนอะตอมของคาร์บอนแล้วโครงสร้างของสารมีผลต่อจุดเดือดและจุดหลอมเหลวเช่นกันและยังพบอีกว่าแอลเคนที่มีโครงสร้างแบบโซ่กิ่งมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและมีจุดเดือดต่ำกว่าแอลเคนแบบโซ่ตรงที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเท่ากันซึ่งแนวโน้มของจุดเดือดของสารกลุ่มแอลเคนดังกล่าว ยังพบได้ทั่วไปกับสารประกอบอินทรีย์ประเภทอื่นด้วย



ตรวจสอบความเข้าใจ

สารที่มีสูตรโมเลกุล C_5H_{12} มี 3 ไอโซเมอร์ เขียนไอโซเมอร์โครงสร้างทั้งสามและเรียงลำดับจุดเดือดของไอโซเมอร์เหล่านี้จากสูงไปต่ำ

แอลคีนและแอลไคน์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสมบัติทางกายภาพส่วนใหญ่คล้ายกับแอลเคน คือ มีจุดเดือดต่ำและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนหรือขนาดโมเลกุล ดังแสดงในตาราง 12.10 ทั้งนี้เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลยังคงเป็นแรงแผ่กระจายลอนดอนเป็นหลัก ถึงแม้ว่าโมเลกุลจะมีพันธะคู่และพันธะสามที่ทำให้สภาพขั้วของโมเลกุลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตาราง 12.10 จุดเดือดของแอลคีนและแอลไคน์ไซ่ตรงบางชนิด

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 ส่งผลให้สารบางชนิดในกลุ่มนี้ละลายน้ำได้ ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาการละลายของแอลกอฮอล์บางชนิดในน้ำจากกิจกรรมต่อไปนี้



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

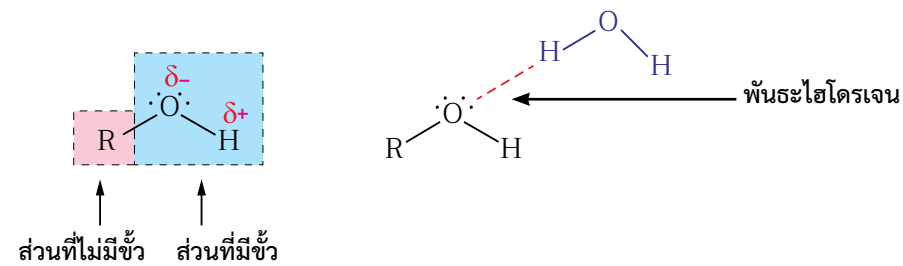
วิธีทดลอง

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

คำถามท้ายการทดลอง

1. ลำดับการละลายได้ในน้ำของแอลกอฮอล์ทั้ง 3 ชนิดเป็นอย่างไร
2. การละลายในน้ำของแอลกอฮอล์สัมพันธ์กับจำนวนอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลแอลกอฮอล์อย่างไร

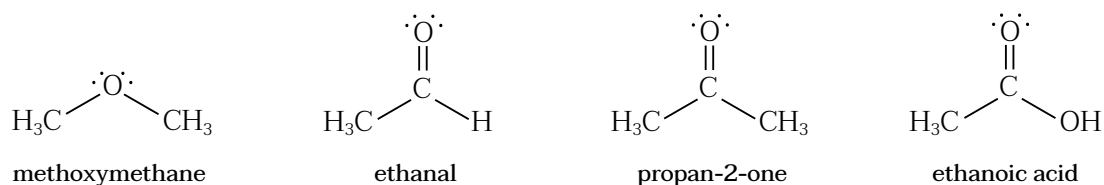
แอลกอฮอล์ ($R-OH$) ประกอบด้วยส่วนของสายไฮโดรคาร์บอนหรือหมู่แอลคิล ($-R$) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว และหมู่ $-OH$ ซึ่งเป็นส่วนที่มีขั้วคล้ายกับโมเลกุลน้ำ ($H-OH$) เนื่องจากหมู่ $-OH$ มีไฮโดรเจน ($EN = 2.20$) ต่อกับออกซิเจน ($EN = 3.44$) ซึ่งมีค่า EN สูง หมู่ $-OH$ นี้ จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน³ ได้ในทำนองเดียวกันกับโมเลกุลน้ำ ดังรูป 12.10



รูป 12.10 สภาพขั้วในโมเลกุลของแอลกอฮอล์ และพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแอลกอฮอล์กับน้ำ

การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแอลกอฮอล์กับโมเลกุลน้ำทำให้แอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น methanol ethanol propan-1-ol ละลายในน้ำได้ในปริมาณที่ไม่จำกัด ในขณะที่แอลกอฮอล์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น เช่น butan-1-ol ละลายน้ำได้ในปริมาณที่แตกต่างตามลักษณะโครงสร้าง โดยแอลกอฮอล์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นกิ่งก้านเกะกะมากขึ้นสามารถช่วยเพิ่มการละลายในน้ำได้ 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

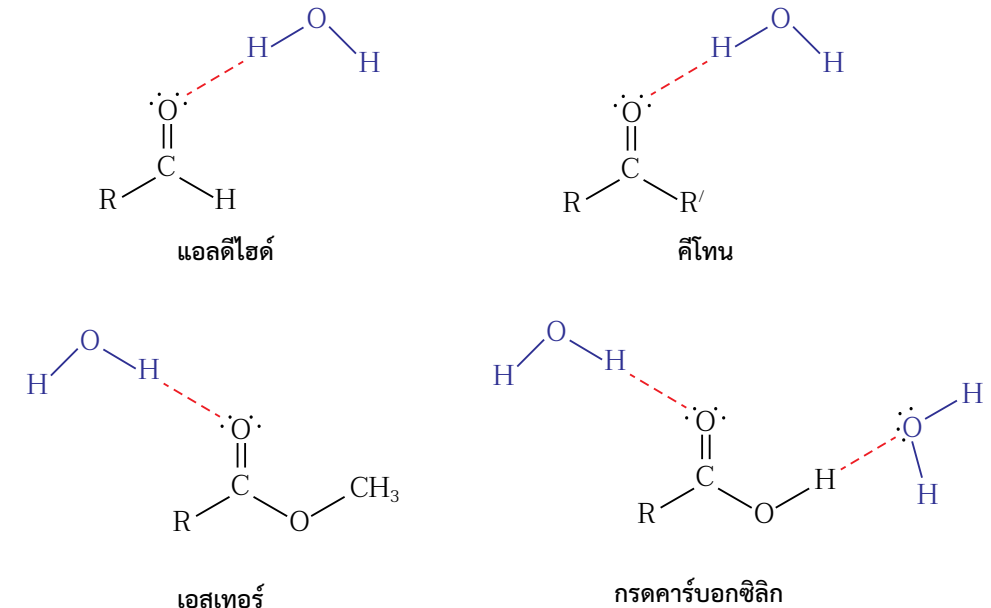
สำหรับอีเทอร์ แอลดีไฮด์ คีโตน และกรดคาร์บอกซิลิก ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กสามารถละลายน้ำได้ดีเช่นเดียวกับแอลกอฮอล์ ตัวอย่างดังรูป 12.11



รูป 12.11 ตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ดี

³ เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาการเกิดพันธะไฮโดรเจน ในเอกสารนี้จะแสดงอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเฉพาะตำแหน่งที่สนใจเท่านั้น

สารประกอบอินทรีย์กลุ่มนี้ละลายในน้ำได้ดีเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์กับโมเลกุลของน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจน ดังรูป 12.12 มีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ด้วยกันเอง



รูป 12.12 พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำกับสารประกอบอินทรีย์ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบบางชนิด

ความสามารถในการละลายในน้ำของสารเหล่านี้ลดลง เมื่อจำนวนอะตอมของคาร์บอนในหมู่แอลคิลซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขั้วเพิ่มขึ้น แต่สายแอลคิลที่มีลักษณะเป็นกิ่งก้านเกะกะมากขึ้นสามารถช่วยเพิ่มการละลายในน้ำได้เช่นเดียวกับแนวโน้มที่พบในสารประเภทแอลกอฮอล์

ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนนอกจากจะส่งผลอย่างมากต่อการละลายในน้ำของสารประเภทแอลกอฮอล์ อีเทอร์ แอลดีไฮด์ คีโตน กรดคาร์บอกซิลิก และเอสเทอร์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังส่งผลต่อจุดเดือดของสารเหล่านี้ด้วย ซึ่งจะได้ศึกษาจากกิจกรรม 12.5



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

จุดประสงค์การทดลอง

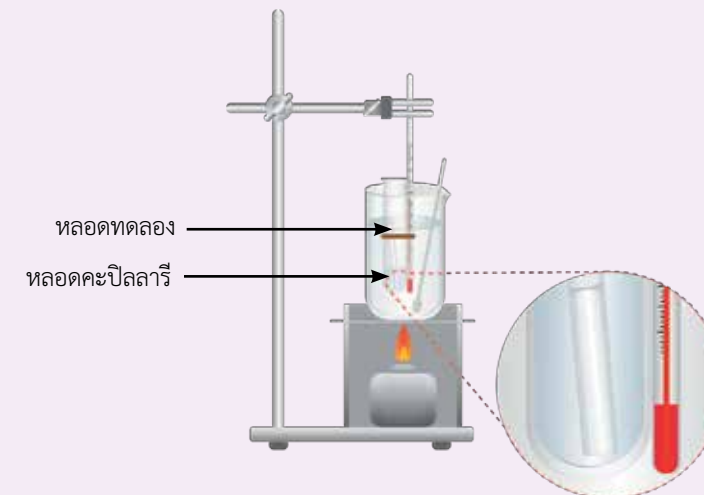
1. ทดลองหาจุดเดือดของ propan-2-one และ propan-2-ol
2. เปรียบเทียบจุดเดือดของ propan-2-one และ propan-2-ol

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. propan-2-one
2. propan-2-ol
3. หลอดทดลองขนาดเล็ก
4. หลอดคะปิลลารี
5. เทอร์มอมิเตอร์
6. ปีกเกอร์ ขนาด 100 mL
7. กระจกบอทดวง ขนาด 10 mL
8. แท่งแก้วคน
9. ขาตั้งพร้อมที่จับหลอดทดลอง
10. ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลมและตะแกรงลวด
11. ด้ายยาว 20 cm

วิธีทดลอง

1. เติม propan-2-one 1 mL ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก ใส่หลอดคะปิลลารีที่หลอมปิด บริเวณที่ห่างจากปลายด้านหนึ่งประมาณ 1.0 cm ลงไปในหลอดทดลองโดยให้ปลาย ส่วนที่เปิดอยู่ด้านล่างและจุ่มใน propan-2-one
2. ใช้ด้ายผูกหลอดทดลองข้อ 1 ติดกับเทอร์มอมิเตอร์โดยให้กันหลอดทดลองอยู่ระดับเดียวกัน กับกระเปาะของเทอร์มอมิเตอร์ แล้วนำไปจุ่มในปิกเกอร์ขนาด 100 mL ที่ใส่น้ำไว้ประมาณ สองในสามส่วน ระวังอย่าให้หลอดทดลองแตะกับปิกเกอร์
3. ให้ความร้อนกับน้ำในปิกเกอร์และใช้แท่งแก้วคนตลอดเวลา เมื่อสังเกตเห็นฟองแก๊ส ุดออกมาเป็นสายจากหลอดคะปิลลารี หยุดให้ความร้อนและสังเกตต่อไป บันทึกอุณหภูมิ เมื่อแก๊สฟองสุดท้ายุดออกมา และของเหลวไหลกลับเข้าไปในหลอดคะปิลลารี อุณหภูมินี้ เป็นจุดเดือดของสาร
4. ทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1–3 แต่ใช้ propan-2-ol แทน propan-2-one

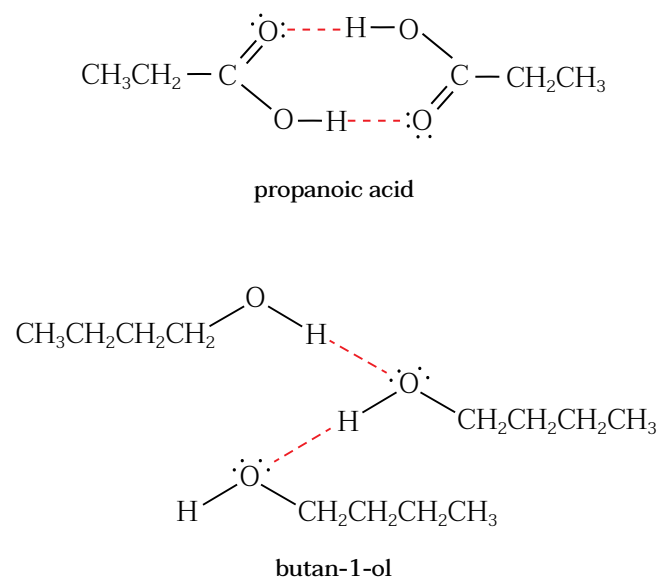


การทดลองหาจุดเดือดของสาร

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)



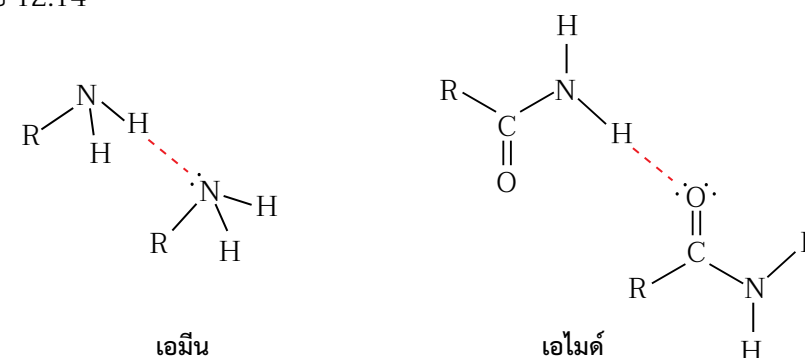
รูป 12.13 พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของ propanoic acid และ butan-1-ol

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



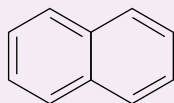
แบบฝึกหัด 12.5

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 (CH_3CH_2OH) และเมทอกซีมีเทน (CH_3OCH_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

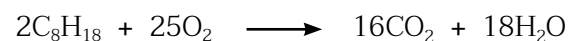
12.7 ปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบอินทรีย์

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 ดังนั้นแอรโธแมติกไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีอัตราส่วนของ C:H สูง จึงเผาไหม้ให้เขม่ามากกว่าแอลคีนที่มีอัตราส่วนของ C:H ต่ำกว่า ส่วนแอลเคนซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวเมื่อเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์โดยไม่ให้เขม่า แอลเคนจึงพบในเชื้อเพลิงที่ใช้โดยทั่วไป เช่น แก๊สหุงต้ม น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ ในขณะที่ถ่านหินซึ่งมีแอรโธแมติกไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง มักใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าหรืออุตสาหกรรมที่กระบวนการเผาไหม้ทำภายใต้ภาวะควบคุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และลดการปลดปล่อยเขม่าและแก๊สพิษออกสู่บรรยากาศ

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 ไอโซเมอร์ซึม สมบัติเกี่ยวกับจุดเดือดและการละลายในน้ำของสารประกอบอินทรีย์ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ ปฏิกิริยากับโบรมีนและปฏิกิริยากับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอไมด์ ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์และเอไมด์ ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน รวมทั้งการนำสารประกอบอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์

ศึกษาพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ที่เป็นสารตั้งต้น ศึกษาพอลิเมอร์ธรรมชาติและพอลิเมอร์สังเคราะห์ ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ความสัมพันธ์ของโครงสร้างของพอลิเมอร์กับสมบัติของพอลิเมอร์และการนำไปใช้ประโยชน์ พอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติกและพอลิเมอร์เทอร์โมเซต 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. ระบุประเภทของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและเขียนผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการเผาไหม้ ปฏิกิริยากับโบรมีน หรือปฏิกิริยากับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต
8. เขียนสมการเคมีและอธิบายการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอไมด์ ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส และปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน
9. ทดสอบปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส และปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน
10. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการนำสารประกอบอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรม
11. ระบุประเภทของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์จากโครงสร้างของมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์
12. วิเคราะห์และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ รวมทั้งการนำไปใช้ประโยชน์
13. ทดสอบและระบุประเภทของพลาสติกและผลิตภัณฑ์ยาง รวมทั้งการนำไปใช้ประโยชน์
14. อธิบายผลของการปรับเปลี่ยนโครงสร้าง และการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์
15. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างผลกระทบจากการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์และแนว ทางแก้ไข

รวมทั้งหมด ๑๕ ผลการเรียนรู้