



เอกสารประกอบการสอน  
รหัสวิชา ST2091101  
รายวิชา เคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย

จัดทำโดย  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ

สาขาวิชาเทคโนโลยีสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2569

## คำนำ

เอกสารประกอบการสอน รหัสวิชา ST2091101 เคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย (Chemistry for Health, Cosmetic and Anti-Aging) นี้ได้แบ่งเนื้อหาการเรียนการสอนเป็น 8 หน่วยเรียน แบ่งเป็น 15 บทเรียน ตลอดหลักสูตรใช้เวลาสอนรวม 15 สัปดาห์ รายวิชานี้มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีความรู้ความสามารถเข้าใจในหลักการพื้นฐานที่สำคัญของเคมี เช่น ปริมาณสัมพันธ์ สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย สมดุลกรด-เบสและสมดุลไอออน สารอินทรีย์และหมู่ฟังก์ชัน ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ แอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก แอโรแมติก และอนุพันธ์ ตลอดจนวิธีการคำนวณและประยุกต์ความรู้ ความเข้าใจเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา แสวงหาวิธีการแก้ไขที่ซับซ้อน และปัญหาทางวิชาชีพตามหลักความถูกต้องทางวิทยาศาสตร์

เอกสารประกอบการสอนนี้ได้เรียบเรียงขึ้นจากประสบการณ์ในการจัดการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรีที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางเคมีพื้นฐานหรือเคมีขั้นสูงขึ้นไป โดยเรียบเรียงเนื้อหาที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายไปยังเนื้อหาที่มีความซับซ้อนขึ้นตามลำดับ และได้อ้างอิงจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย เช่น หนังสือ วารสารวิจัย บทความ และเว็บไซต์ที่ถูกต้อง เหมาะสม เอกสารประกอบการสอนนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ระหว่างผู้สอนและผู้เรียนในระดับปริญญาตรี และจะเป็นส่วนหนึ่งสำหรับผู้เรียนและผู้สนใจในการศึกษาเพิ่มเติมและเรียนรู้ด้วยตนเอง เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาต่อในระดับสูงขึ้น หรือการทำโครงการวิจัย เป็นต้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวีทย์ จันทร์สุวรรณ  
มิถุนายน 2569

## สารบัญ

	หน้า
คำนำ.....	ก
บัญชีภาพ.....	ค
บัญชีตาราง.....	ฉ
ลักษณะรายวิชา.....	ช
การแบ่งหน่วย/บทเรียน/หัวข้อ.....	ฉ
จุดประสงค์การสอน.....	ฎ
การประเมินรายวิชา.....	ฏ
ตารางกำหนดน้ำหนักคะแนน.....	ท
กำหนดการสอน.....	ฒ
หน่วยที่ 1 ปริมาณสัมพันธ์.....	1
บทเรียนที่ 1.1 เคมีพื้นฐาน.....	1
บทเรียนที่ 1.2 ปริมาณสัมพันธ์.....	21
หน่วยที่ 2 สารละลายและความเข้มข้นสารละลาย.....	41
บทเรียนที่ 2.1 สารละลาย.....	41
บทเรียนที่ 2.2 ความเข้มข้นสารละลาย.....	57
หน่วยที่ 3 สมดุลกรด-เบสแลสมดุลไอออน.....	75
บทเรียนที่ 3.1 สมดุลกรด-เบส.....	75
บทเรียนที่ 3.2 สมดุลไอออน.....	95
หน่วยที่ 4 สารอินทรีย์และหมู่ฟังก์ชัน.....	107
บทเรียนที่ 4.1 สารอินทรีย์.....	107
บทเรียนที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชัน.....	123
หน่วยที่ 5 ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์.....	145
บทเรียนที่ 5.1 ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์เบื้องต้น.....	145
บทเรียนที่ 5.2 ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ขั้นสูง.....	161
หน่วยที่ 6 แอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน.....	169
บทเรียนที่ 6.1 แอลกอฮอล์ ฟีนอลและอีเทอร์.....	169
บทเรียนที่ 6.2 สารประกอบคาร์บอนิล.....	185
หน่วยที่ 7 แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก.....	197
บทเรียนที่ 7.1 สารประกอบคาร์บอนิลกลุ่ม 1.....	197
บทเรียนที่ 7.2 แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก.....	213
หน่วยที่ 8 แอโรแมติกและอนุพันธ์.....	219
บทเรียนที่ 8.1 แอโรแมติกและอนุพันธ์.....	219
บทเรียนที่ 8.2 สารแอโรแมติกในเครื่องสำอาง.....	235
บรรณานุกรม.....	241
ประวัติผู้เขียน.....	243

## บัญชีภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 สัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุคาร์บอน.....	2
ภาพที่ 1.2 ชนิดของไอโซโทปอะตอมไฮโดรเจน.....	3
ภาพที่ 1.3 เวเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมโซเดียมและโซเดียมไอออน.....	4
ภาพที่ 1.4 เวเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมฟลูออรีนและฟลูออไรด์ไอออน.....	5
ภาพที่ 1.5 รูปแบบตารางธาตุปัจจุบัน.....	6
ภาพที่ 1.6 กลุ่มธาตุตามการจัดเรียงอิเล็กตรอนในออร์บิทัล.....	9
ภาพที่ 1.7 ระยะเวลาอะตอม (ก) รัศมีโลหะ (ข) รัศมีโคเวเลนต์ และ (ค) รัศมีไอออน.....	11
ภาพที่ 1.8 แนวโน้มรัศมีอะตอมของธาตุในตารางธาตุ (หน่วยพิโกเมตร).....	11
ภาพที่ 1.9 แสดงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานของ (ก) อะตอมเบริลเลียม และ (ข) อะตอมโซเดียม.....	13
ภาพที่ 1.10 แนวโน้มพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1.....	14
ภาพที่ 1.11 ค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนของธาตุเรฟรีเซนเททีฟ.....	16
ภาพที่ 1.12 แนวโน้มค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีของพอลิง.....	17
ภาพที่ 1.13 สามเหลี่ยมโมลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับน้ำหนัก จำนวนอนุภาค และ ปริมาตรของแก๊ส.....	30
ภาพที่ 1.14 แนวคิดการคำนวณปริมาณสัมพันธ์โดยวิธีโมลสัมพันธ์.....	30
ภาพที่ 1.15 แสดงแนวคิดของสารกำหนดปริมาณ.....	34
ภาพที่ 1.16 แนวคิดการหาสารกำหนดปริมาณในกรณีที่สารตั้งต้นมีสัมประสิทธิ์จำนวนโมล ไม่เท่ากัน.....	35
ภาพที่ 2.1 การแทนที่ในสารละลายของแข็ง (ก) สารละลายของแข็งแบบแทนที่ และ (ข) สารละลายของแข็งแบบแทรกตัว.....	39
ภาพที่ 2.2 การล้อมรอบสารไอออนโดยโมเลกุลของน้ำ.....	41
ภาพที่ 2.3 กระบวนการละลายของเกลือไอออนในน้ำ (ก) ผลึกไอออนถูกห้อมล้อมโดยโมเลกุล ของน้ำ (ข) ของแข็งเริ่มละลาย ไอออนถูกไฮเดรต และ (ค) ของแข็งละลายเป็น สารละลาย.....	42
ภาพที่ 2.4 ความดันไอของสารบริสุทธิ์และสารละลาย.....	43
ภาพที่ 2.5 ภูมิภาคแสดงการเปลี่ยนแปลงของจุดเยือกแข็งและจุดเดือดของสารบริสุทธิ์และ สารละลาย.....	45
ภาพที่ 2.6 ความดันออสโมติก.....	46
ภาพที่ 2.7 การทดลองความดันออสโมติกของสารละลายกลูโคส.....	47
ภาพที่ 2.8 ประเภทสารละลายจำแนกตามแรงดันออสโมติก.....	48
ภาพที่ 2.9 การกระเจิงของแสงในคอลลอยด์.....	50
ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ของปริมาตรในหน่วยเอสไอ.....	54
ภาพที่ 2.11 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายจากสารสถานะของแข็ง.....	62

	หน้า
ภาพที่ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์การไทเทรต .....	88
ภาพที่ 4.1 วิธีเตรียมยูเรีย (urea).....	106
ภาพที่ 4.2 การจำแนกประเภทของสารประกอบอินทรีย์.....	107
ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างสารประกอบแอลิฟาติก .....	107
ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างสารประกอบแอลิไซคลิก.....	107
ภาพที่ 4.5 ตัวอย่างสารประกอบเอโรแมติก .....	108
ภาพที่ 4.6 สารประกอบเฮเทอโรไซคลิก .....	108
ภาพที่ 4.7 การจำแนกไฮโดรคาร์บอน.....	111
ภาพที่ 4.8 ไฮโคลแอลเคน .....	113
ภาพที่ 4.9 ไฮโคลแอลคีน.....	113
ภาพที่ 4.10 โครงสร้างเบนซีน.....	114
ภาพที่ 4.11 เอมีน.....	124
ภาพที่ 4.12 กลุ่มแอมริล .....	126
ภาพที่ 5.1 นิวคลีโอไฟล์.....	138
ภาพที่ 5.2 ลำดับความสามารถรับอิเล็กตรอนของอิเล็กโทรไฟล์ที่มีหมู่คาร์บอนิลเป็นองค์ประกอบ ..	138
ภาพที่ 5.3 คาร์โบแคตไอออน .....	139
ภาพที่ 5.4 ประเภทและลำดับความเสถียรของคาร์เบนไอออน .....	140
ภาพที่ 5.5 ประเภทและลำดับความเสถียรของแรดิคัล.....	140
ภาพที่ 5.6 การจำแนกปฏิกิริยาการแทนที่ .....	140
ภาพที่ 5.7 ตัวอย่างปฏิกิริยาการแทนที่.....	141
ภาพที่ 5.8 ปฏิกิริยาการจัดเรียงตัวใหม่.....	142
ภาพที่ 5.9 กลไก SN1.....	155
ภาพที่ 5.10 กลไก SN2 .....	155
ภาพที่ 5.11 กลไกปฏิกิริยาการเติมด้วยนิวคลีโอไฟล์.....	157
ภาพที่ 5.12 ปฏิกิริยาการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์ .....	157
ภาพที่ 5.13 กลไกปฏิกิริยาการจัด .....	158
ภาพที่ 6.1 โครงสร้างของน้ำและเมทานอล .....	164
ภาพที่ 6.2 ความเสถียรของแอลกอฮอล์.....	165
ภาพที่ 6.3 แผนผังปฏิกิริยาการเตรียมแอลกอฮอล์.....	168
ภาพที่ 6.4 ปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์ .....	170
ภาพที่ 6.5 แผนผังปฏิกิริยาฟีนอล.....	171
ภาพที่ 6.6 สรุบบปฏิกิริยาฟีนอล .....	172
ภาพที่ 7.1 โครงสร้างเอสเทอร์ที่มีกลิ่นเฉพาะ .....	194
ภาพที่ 7.2 กลไกปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเอไมด์.....	196
ภาพที่ 7.3 กลไกทั่วไปของการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของกรดคาร์บอกซิลิก .....	199

	หน้า
ภาพที่ 7.4 ความว่องไวของปฏิกิริยากรดคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิกต่อ ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ .....	201
ภาพที่ 7.5 ปฏิกิริยาของกรดคาร์บอกซิลิก.....	202
ภาพที่ 7.6 ปฏิกิริยาของเอไมด์.....	203
ภาพที่ 7.7 โครงสร้างของสารประกอบแอลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน.....	208
ภาพที่ 7.8 โครงสร้างของสารประกอบแอลิฟาทิกเฮเทอโรไซคลิก.....	208
ภาพที่ 7.9 โครงสร้างของสารประกอบแอโรแมติกเฮเทอโรไซคลิก .....	209
ภาพที่ 8.1 โครงสร้างเบนซีน .....	216
ภาพที่ 8.2 โครงสร้างแนพทาลีน .....	216
ภาพที่ 8.3 โครงสร้างแอนทราซีน.....	217
ภาพที่ 8.4 โครงสร้างฟิแนนทรีน .....	217
ภาพที่ 8.5 ชื่อสามัญของอนุพันธ์เบนซีน.....	217
ภาพที่ 8.6 อนุพันธ์ของเบนซีนที่สำคัญบางชนิด .....	218
ภาพที่ 8.7 อนุพันธ์ไซลีน .....	218
ภาพที่ 8.8 กลไกปฏิกิริยาการเติมแอลोजีน .....	220
ภาพที่ 8.9 กลไกปฏิกิริยาไนเตรชัน .....	223
ภาพที่ 8.10 กลไกปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน .....	223
ภาพที่ 8.11 หมูเอซิล .....	224
ภาพที่ 8.12 สรุปปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์ของเบนซีน .....	225

## บัญชีตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 มวลและประจุของอนุภาคมูลฐานในอะตอม .....	2
ตารางที่ 1.2 เลขอะตอมและมวลอะตอมของธาตุบางชนิด .....	3
ตารางที่ 1.3 ไอโซโทปของธาตุบางชนิดและร้อยละที่มีอยู่ในธรรมชาติ .....	4
ตารางที่ 1.4 จำนวนเลขอะตอมและมวลอะตอมของไอออนบางชนิด .....	6
ตารางที่ 1.5 แสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุคาบที่ 1, 2 และ 3 .....	9
ตารางที่ 1.6 แสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุหมู่ 1A, 2A, 7A และ 8A .....	10
ตารางที่ 1.7 สมบัติบางประการของ H เทียบกับธาตุหมู่ 1A กับหมู่ 7A .....	10
ตารางที่ 1.8 ค่าพลังงานไอออไนเซชันของอะตอมบางชนิด (kJ/mol) .....	14
ตารางที่ 1.9 ค่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของธาตุหมู่ 1A .....	15
ตารางที่ 1.10 ค่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของธาตุในคาบที่ 2 .....	15
ตารางที่ 1.11 น้ำหนักของธาตุจำนวน 1 โมล .....	26
ตารางที่ 1.12 น้ำหนักของสารประกอบหรือโมเลกุลจำนวน 1 โมล .....	26
ตารางที่ 1.13 น้ำหนักของไอออนจำนวน 1 โมล .....	27
ตารางที่ 1.14 การทดลองหาปริมาตรของแก๊สต่อจำนวนโมลของแก๊สบางชนิดที่ STP .....	28
ตารางที่ 1.15 จำนวนอนุภาค น้ำหนัก และปริมาตรของสารบางชนิดจำนวน 1 โมล .....	30
ตารางที่ 2.1 ประเภทและชนิดของสารละลาย .....	38
ตารางที่ 2.2 ปริมาณตัวละลายและค่าการละลายของเกลือบางชนิดในน้ำ .....	40
ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่โมแลลของจุดเดือดที่เพิ่มสูงขึ้นและจุดเยือกแข็งที่ลดต่ำลงของตัวทำละลาย สามัญ .....	46
ตารางที่ 2.4 ประเภทของคอลลอยด์ .....	48
ตารางที่ 2.5 น้ำหนักสมมูลของสารออกซิไดส์หรือสารรีดิวซ์ .....	57
ตารางที่ 2.6 ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักและความเข้มข้นหน่วยโมลาร์ (โดยประมาณ) ของ สารละลายบางประเภท .....	63
ตารางที่ 3.1 คู่กรด-คู่เบสและความแรงของคู่กรด-คู่เบส .....	75
ตารางที่ 3.2 ค่า $K_a$ และ $K_b$ ของกรด-เบส บางชนิด .....	78
ตารางที่ 3.3 การแตกตัวของกรดโพลีโปรติกบางชนิดที่ 25°C .....	82
ตารางที่ 3.4 ค่าคงที่สมดุลของการละลาย ( $K_{sp}$ ) ของเกลือบางชนิดที่ 25°C .....	99
ตารางที่ 4.1 การจำแนกประเภทสารประกอบอินทรีย์ตามหมู่ฟังก์ชัน .....	109
ตารางที่ 4.2 โครงสร้างหลักอะตอมคาร์บอนที่ต่อกันเป็นสายยาวที่สุด .....	110
ตารางที่ 4.3 ชื่อเรียกสารประกอบแอลเคนที่เป็นโซ่ตรง .....	112
ตารางที่ 4.4 พาราฟินไฮโดรคาร์บอนที่พบในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ( $C_1-C_{12}$ ) .....	112
ตารางที่ 4.5 ชื่อเรียกสารประกอบแอลคีนที่เป็นโซ่ตรง .....	113
ตารางที่ 4.6 ชื่อเรียกสารประกอบแอลคีนที่เป็นโซ่ตรง .....	114
ตารางที่ 4.7 หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ .....	120
ตารางที่ 4.8 กรดคาร์บอกซิลิกที่พบในธรรมชาติ .....	122

	หน้า
ตารางที่ 4.9 หมู่แอลคอกซี.....	132
ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบจุดเดือดระหว่างโมเลกุลที่มีพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลที่ไม่มีพันธะไฮโดรเจน.....	166
ตารางที่ 6.2 ค่าการละลาย น้ำและแอลกอฮอล์ที่ 25°C.....	167
ตารางที่ 6.3 ปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์ .....	170
ตารางที่ 6.4 จุดเดือดแอลดีไฮด์และคีโตนเทียบกับสารไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลใกล้เคียงกัน.....	181
ตารางที่ 6.5 สมบัติทางกายภาพของแอลดีไฮด์และคีโตนบางชนิด.....	181
ตารางที่ 7.1 สภาพละลายได้ของกรดคาร์บอกซิลิก .....	192
ตารางที่ 7.2 โครงสร้างและอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิก .....	193
ตารางที่ 7.3 สมบัติกายภาพของเอไมด์บางชนิด.....	195
ตารางที่ 8.1 โครงสร้างและชื่ออนุพันธ์ของเบนซีนตามระบบ IUPAC .....	219

## ลักษณะรายวิชา

- รหัสและชื่อวิชา ST2091101 เคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย (Chemistry for Health, Cosmetic and Anti-Aging)
- สภาพรายวิชา หมวดวิชาเฉพาะ กลุ่มวิชาชีบบังคับ หลักสูตรปริญญาตรี
- ระดับรายวิชา ภาคการศึกษาที่ 1 ชั้นปีที่ 1
- พื้นฐาน -
- เวลาศึกษา 45 ชั่วโมง ตลอด 15 สัปดาห์ เป็นทฤษฎี 3 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ และศึกษาค้นคว้านอกเวลา 6 ชั่วโมงต่อสัปดาห์
- จำนวนหน่วยกิต 3 หน่วยกิต
- จุดมุ่งหมายรายวิชา
  - มีความรู้ ความเข้าใจพื้นฐานทางเคมีเกี่ยวกับปริมาณสัมพันธ์ สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย สมดุลกรด-เบสและสมดุลไอออน สารอินทรีย์และหมู่ฟังก์ชัน ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ แอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก แอโรแมติกและอนุพันธ์
  - คำนวณเกี่ยวกับปริมาณสัมพันธ์ สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย สมดุลกรด-เบสและสมดุลไอออนได้อย่างถูกต้อง
  - ประยุกต์ใช้ความรู้ ความเข้าใจในการแสวงหาวิธีการแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อน และปัญหาทางวิชาชีฟได้อย่างเหมาะสม
  - มีเจตคติที่ดีทางวิทยาศาสตร์
  - มีจรรยาบรรณทางวิชาการและวิชาชีพ
- คำอธิบายรายวิชา ปริมาณสัมพันธ์ สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย สมดุลกรด-เบสและสมดุลไอออน สารอินทรีย์และหมู่ฟังก์ชัน ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ แอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก แอโรแมติกและอนุพันธ์  
Stoichiometry; solution and concentration; acid-base and ion equilibria; organic compounds and functional groups; reaction of organic chemistry; aliphatic hydrocarbon; alicyclic and heterocyclic; aromatic and their derivative

## การแบ่งหน่วย/บทเรียน/หัวข้อ

หน่วยที่	รายการ	ชั่วโมง
1	หน่วยที่ 1 ปริมาณสัมพันธ์	6 ชั่วโมง
	1.1 เคมีพื้นฐาน	180 นาที
	1.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเคมี	
	1.1.2 ตารางธาตุและการประยุกต์ใช้	
	1.1.3 สมบัติฟิสิกส์	
	1.1.4 พันธะเคมีเบื้องต้น	
	1.2 ปริมาณสัมพันธ์	180 นาที
	1.2.1 สมการเคมี	
	1.2.2 โมล	
	1.2.3 ความสัมพันธ์เชิงโมล	
	1.2.4 ผลผลิตร้อยละ	
2	หน่วยที่ 2 สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย	6 ชั่วโมง
	2.1 สารละลาย	180 นาที
	2.1.1 ประเภทสารละลาย	
	2.1.2 สมบัติคอลลอยด์	
	2.1.3 คอลลอยด์	
	2.2 ความเข้มข้นสารละลาย	180 นาที
	2.2.1 ความหมายความเข้มข้นสารละลาย	
	2.2.2 หน่วยความเข้มข้นสารละลาย	
	2.2.3 การเตรียมสารละลาย	
3	หน่วยที่ 3 สมดุลกรด-เบสและสมดุลไอออน	6 ชั่วโมง
	3.1 สมดุลกรด-เบส	180 นาที
	3.1.1 ทฤษฎีกรด-เบส	
	3.1.2 การแตกตัวของกรด-เบส	
	3.1.3 ค่า pH	
	3.2 สมดุลไอออน	180 นาที
	3.2.1 สมดุลเกลือ	
	3.2.2 สมดุลการละลาย	
	3.2.3 สารละลายบัฟเฟอร์	
4	หน่วยที่ 4 สารอินทรีย์และหมู่ฟังก์ชัน	3 ชั่วโมง
	4.1 สารอินทรีย์	90 นาที
	4.1.1 ประเภทสารอินทรีย์	
	4.1.2 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน	
	4.2 หมู่ฟังก์ชัน	90 นาที
	4.2.1 หมู่ฟังก์ชัน	

หน่วยที่	รายการ	ชั่วโมง
	4.2.2 ชื่อสารอินทรีย์	
5	หน่วยที่ 5 ปฏิบัติเคมีอินทรีย์เบื้องต้น	6 ชั่วโมง
	5.1 ปฏิบัติเคมีอินทรีย์เบื้องต้น	180 นาที
	5.1.1 ประเภทปฏิบัติเคมีอินทรีย์	
	5.1.2 ปฏิบัติของแอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน	
	5.1.3 ปฏิบัติของแอโรแมติก	
	5.2 กลไกปฏิบัติเคมีอินทรีย์อย่างง่าย	180 นาที
	5.2.1 กลไกปฏิบัติการแทนที่	
	5.2.2 กลไกปฏิบัติการเติม	
	5.2.3 กลไกปฏิบัติการกำจัด	
6	หน่วยที่ 6 แอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน	6 ชั่วโมง
	6.1 แอลิฟาติกและสารประกอบไฮดรอกซี	180 นาที
	6.1.1 สารประกอบแอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน	
	6.1.2 แอลกอฮอล์และฟีนอล	
	6.1.3 อีเทอร์	
	6.2 สารประกอบคาร์บอนิล	180 นาที
	6.2.1 แอลดีไฮด์	
	6.2.2 คีโตน	
7	หน่วยที่ 7 แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก	6 ชั่วโมง
	7.1 สารประกอบคาร์บอนิลกลุ่ม 1 และเอมีน	180 นาที
	7.1.1 คาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์คาร์บอกซิลิก	
	7.1.2 เอมีน	
	7.2 แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก	180 นาที
	7.2.1 แอลิไซคลิก	
	7.2.2 เฮเทอโรไซคลิก	
8	หน่วยที่ 8 แอโรแมติกและอนุพันธ์	6 ชั่วโมง
	8.1 แอโรแมติกและอนุพันธ์	180 นาที
	8.1.1 ประเภทแอโรแมติกและอนุพันธ์	
	8.1.2 ปฏิบัติแอโรแมติก	
	8.2 สารแอโรแมติกในเครื่องสำอาง	180 นาที
	8.2.1 สารกันบูด	
	8.2.2 น้ำหอม	
	รวมจำนวนชั่วโมง	45

**หมายเหตุ**

สัปดาห์เรียน 15 สัปดาห์

สอบปลายภาค 1 สัปดาห์

## จุดประสงค์การสอน

หน่วยที่	รายการ	ชั่วโมง
1	หน่วยที่ 1 ปริมาณสัมพันธ์	6 ชั่วโมง
	1.1 เคมีพื้นฐาน	180 นาที
	1.1.1 บอกความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเคมี	
	1.1.2 บอกตารางธาตุและการประยุกต์ใช้	
	1.1.3 อธิบายสมบัติฟิสิกส์	
	1.1.4 อธิบายพันธะเคมีเบื้องต้น	
	1.2 ปริมาณสัมพันธ์	180 นาที
	1.2.1 อธิบายสมการเคมี	
	1.2.2 คำนวณโมล	
	1.2.3 อธิบายความสัมพันธ์เชิงโมล	
	1.2.4 คำนวณผลผลิตร้อยละ	
2	หน่วยที่ 2 สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย	6 ชั่วโมง
	2.1 สารละลาย	180 นาที
	2.1.1 บอกประเภทสารละลาย	
	2.1.2 บอกสมบัติคอลลีเกทิวฟ	
	2.1.3 บอกคอลลอยด์	
	2.2 ความเข้มข้นสารละลาย	180 นาที
	2.2.1 บอกความหมายความเข้มข้นสารละลาย	
	2.2.2 คำนวณหน่วยความเข้มข้นสารละลาย	
	2.2.3 อธิบายการเตรียมสารละลาย	
3	หน่วยที่ 3 สมดุลกรด-เบสและสมดุลไอออน	6 ชั่วโมง
	3.1 สมดุลกรด-เบส	180 นาที
	3.1.1 บอกทฤษฎีกรด-เบส	
	3.1.2 บอกการแตกตัวของกรด-เบส	
	3.1.3 คำนวณค่า pH	
	3.2 สมดุลไอออน	180 นาที
	3.2.1 อธิบายสมดุลเกลือ	
	3.2.2 คำนวณเกี่ยวกับสมดุลการละลาย	
	3.2.3 อธิบายสารละลายบัฟเฟอร์	
4	หน่วยที่ 4 สารอินทรีย์และหมู่ฟังก์ชัน	3 ชั่วโมง
	4.1 สารอินทรีย์	90 นาที
	4.1.1 บอกประเภทสารอินทรีย์	
	4.1.2 บอกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน	
	4.2 หมู่ฟังก์ชัน	90 นาที
	4.2.1 บอกหมู่ฟังก์ชัน	

หน่วยที่	รายการ	ชั่วโมง
	4.2.2 บกข้อสารอินทรีย์	
5	หน่วยที่ 5 ปฏิบัติเคมีอินทรีย์เบื้องต้น	6 ชั่วโมง
	5.1 ปฏิบัติเคมีอินทรีย์เบื้องต้น	180 นาที
	5.1.1 บกประเภทปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์	
	5.1.2 บกปฏิกิริยาของแอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน	
	5.1.3 บกปฏิกิริยาของแอโรแมติก	
	5.2 กลไกปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์อย่างง่าย	180 นาที
	5.2.1 อธิบายกลไกปฏิกิริยาการแทนที่	
	5.2.2 อธิบายกลไกปฏิกิริยาการเติม	
	5.2.3 อธิบายกลไกปฏิกิริยาการจัด	
6	หน่วยที่ 6 แอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน	6 ชั่วโมง
	6.1 แอลิฟาติกและสารประกอบไฮดรอกซี	180 นาที
	6.1.1 บกสารประกอบแอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน	
	6.1.2 อธิบายแอลกอฮอล์และฟีนอล	
	6.1.3 อธิบายอีเทอร์	
	6.2 สารประกอบคาร์บอนิล	180 นาที
	6.2.1 อธิบายแอลดีไฮด์	
	6.2.2 อธิบายคีโตน	
7	หน่วยที่ 7 แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก	6 ชั่วโมง
	7.1 สารประกอบคาร์บอนิลกลุ่ม 1 และเอมีน	180 นาที
	7.1.1 อธิบายคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์คาร์บอกซิลิก	
	7.1.2 อธิบายเอมีน	
	7.2 แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก	180 นาที
	7.2.1 บกแอลิไซคลิก	
	7.2.2 บกเฮเทอโรไซคลิก	
8	หน่วยที่ 8 แอโรแมติกและอนุพันธ์	6 ชั่วโมง
	8.1 แอโรแมติกและอนุพันธ์	180 นาที
	8.1.1 บกประเภทแอโรแมติกและอนุพันธ์	
	8.1.2 อธิบายปฏิกิริยาแอโรแมติก	
	8.2 สารแอโรแมติกในเครื่องสำอาง	180 นาที
	8.2.1 บกสารกันบูด	
	8.2.2 บกน้ำหอม	
	รวมจำนวนชั่วโมง	45

## การประเมินรายวิชา

รายวิชานี้แบ่งเป็น 8 หน่วยเรียน แยกได้ 15 บทเรียน การวัดและประเมินผลรายวิชา ดำเนินการดังนี้

1. วิธีการ ดำเนินการรวบรวมข้อมูลเพื่อการประเมินผล แยกเป็น 3 ส่วน โดยกำหนดคะแนนเต็มของวิชาไว้ 100 คะแนน

1.1 การทดสอบ (สอบย่อยและสอบปลายภาค) 50 คะแนน หรือร้อยละ 50

1.2 ผลงานที่มอบหมาย 20 คะแนน หรือร้อยละ 20

1.3 พิจารณาจิตพิสัย (กิจนิสัย ความตั้งใจและการร่วมกิจกรรม) 30 คะแนน หรือ ร้อยละ 30

โดยจัดแบ่งน้ำหนักคะแนนในแต่ละหน่วยเรียนตามตารางน้ำหนักคะแนนหน้าถัดไป

2. เกณฑ์ผ่านรายวิชา ผู้ที่จะผ่านรายวิชานี้จะต้อง

2.1 มีเวลาเข้าชั้นเรียนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ของเวลาเรียน

2.2 ได้คะแนนรวมทั้งรายวิชาไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนรวม

3. เกณฑ์ค่าระดับคะแนน กำหนดค่าระดับคะแนนร้อยละตามเกณฑ์ ดังนี้

3.1 พิจารณาตามเกณฑ์ผ่านข้อ 2 ผู้ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ข้อ 2 จะได้รับคะแนน F

3.2 ผู้ที่สอบผ่านเกณฑ์ข้อ 2 จะได้รับค่าระดับคะแนน ตามเกณฑ์ดังนี้

คะแนนร้อยละ	80	ขึ้นไป	ได้	A
คะแนนร้อยละ	75-79		ได้	B <sup>+</sup>
คะแนนร้อยละ	70-74		ได้	B
คะแนนร้อยละ	65-69		ได้	C <sup>+</sup>
คะแนนร้อยละ	60-64		ได้	C
คะแนนร้อยละ	55-59		ได้	D <sup>+</sup>
คะแนนร้อยละ	50-54		ได้	D

### ตารางกำหนดน้ำหนักคะแนน

เลขที่หน่วย	คะแนนรายหน่วย และน้ำหนักคะแนน	คะแนนรายหน่วย	น้ำหนักคะแนน				
			พุทธิพิสัย				ทักษะพิสัย
			ความรู้ความจำ	ความเข้าใจ	การนำไปใช้	สูงกว่า	
ชื่อหน่วยเรียน							
1	ปริมาณสัมพันธ์	10	2	5	3	-	-
2	สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย	9	4	2	3	-	-
3	สมดุลกรด-เบสและสมดุลไอออน	10	3	5	2	-	-
4	สารอินทรีย์และหมู่ฟังก์ชัน	5	5	-	-	-	-
5	ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์	9	5	4	-	-	-
6	แอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน	9	2	7	-	-	-
7	แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก	9	4	5	-	-	-
8	แอโรแมติกและอนุพันธ์	9	6	3	-	-	-
ก	คะแนนภาควิชาการ	70	31	31	8	-	-
ข	คะแนนภาคผลงาน	20					
ค	คะแนนภาคจิตพิสัย	10					
	รวมทั้งสิ้น	100					

## กำหนดการสอน

รายวิชา เคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย

(ST2091101)

อาจารย์ผู้สอน ผศ.ดร.ววิทย์ จันทร์สุวรรณ

สัปดาห์ที่	ชั่วโมงที่	รหัสและชื่อบทเรียน	หมายเหตุ
1	1-3	หน่วยที่ 1 ปริมาณสัมพันธ์ 1.1 เคมีพื้นฐาน	
2	4-6	หน่วยที่ 1 ปริมาณสัมพันธ์ 1.2 ปริมาณสัมพันธ์	
3	7-9	หน่วยที่ 2 สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย 2.1 สารละลาย	
4	10-12	หน่วยที่ 2 สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย 2.2 ความเข้มข้นสารละลาย	
5	13-15	หน่วยที่ 3 สมดุลกรด-เบสและสมดุลไอออน 3.1 สมดุลกรด-เบส	
6	16-18	หน่วยที่ 3 สมดุลกรด-เบสและสมดุลไอออน 3.2 สมดุลไอออน	
7	19-21	หน่วยที่ 4 สารอินทรีย์และหมู่ฟังก์ชัน 4.1 สารอินทรีย์ 4.2 หมู่ฟังก์ชัน	
8	22-24	หน่วยที่ 5 ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์เบื้องต้น 5.1 ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์เบื้องต้น	
9	25-27	หน่วยที่ 5 ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์เบื้องต้น 5.2 กลไกปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์อย่างง่าย	
10	28-30	หน่วยที่ 6 แอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน 6.1 แอลิฟาติกและสารประกอบไฮดรอกซี	
11	31-33	หน่วยที่ 6 แอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน 6.2 สารประกอบคาร์บอนิล	
12	34-36	หน่วยที่ 7 แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก 7.1 สารประกอบคาร์บอนิลกลุ่ม 1 และเอมีน	
13	37-39	หน่วยที่ 7 แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก 7.2 แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก	
14	40-42	หน่วยที่ 8 แอโรแมติกและอนุพันธ์ 8.1 แอโรแมติกและอนุพันธ์	
15	43-45	หน่วยที่ 8 แอโรแมติกและอนุพันธ์ 8.2 สารแอโรแมติกในเครื่องสำอาง	
16		สอบปลายภาคการศึกษา	



# หน่วยที่ 1 ปริมาณสัมพันธ์

## บทเรียนที่ 1.1 เคมีพื้นฐาน

### จุดประสงค์

- บอกความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเคมี
- บอกตารางธาตุและการประยุกต์ใช้
- อธิบายสมบัติฟิสิกส์
- อธิบายพันธะเคมีเบื้องต้น

### 1.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเคมี

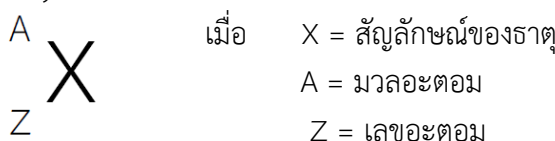
#### 1) อะตอม

อะตอมประกอบด้วยอนุภาคมูลฐาน 3 ชนิดประกอบด้วย อิเล็กตรอน (e) โปรตอน (p) และ นิวตรอน (n) โดยอะตอมมีมวลน้อยมาก เนื่องจากอนุภาคมูลฐานที่อยู่ในอะตอมมีขนาดเล็กและมีมวลน้อยมาก ดังแสดงในตารางที่ 1.1 โดยบริเวณใจกลางเป็นนิวเคลียสที่มีความหนาแน่นสูง เนื่องจากภายในมีโปรตอนและนิวตรอนมีมวลเกือบเท่ามวลของอะตอม ส่วนรอบ ๆ นิวเคลียส จะมีอิเล็กตรอนโคจรรอบ ๆ โดยนิวเคลียสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ  $10^{-13}$  เซนติเมตร ขณะที่อะตอมมีเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาด  $10^{-8}$  เซนติเมตร ในเวลาต่อมาได้มีการกำหนดหน่วยมวลอะตอม (atomic mass unit, amu) ขึ้นมาใช้ โดยกำหนดให้  $1.66054 \times 10^{-24}$  กรัม เท่ากับ 1 amu หรือ 1 Dalton (D) เพื่อเป็นเกียรติแก่ดอลตัน

### ตารางที่ 1.1 มวลและประจุของอนุภาคมูลฐานในอะตอม

อนุภาค	มวล (กรัม)	มวล (amu)	ประจุ (คูลอมบ์)	ประจุ
อิเล็กตรอน	$9.10 \times 10^{-28}$	0.0005486	$1.60 \times 10^{-19}$	-1
โปรตอน	$1.67 \times 10^{-24}$	1.007276	$1.60 \times 10^{-19}$	+1
นิวตรอน	$1.67 \times 10^{-24}$	1.008665	0	0

อะตอมของธาตุต่าง ๆ ประกอบด้วยอนุภาคมูลฐาน 3 ชนิด คืออิเล็กตรอน โปรตอนและนิวตรอน จำนวนของอนุภาคมูลฐานของอะตอมสามารถบอกถึงสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ (nuclear symbol) ดังนี้



เลขเชิงอะตอม (atomic number, Z) คือตัวเลขที่แสดงจำนวนโปรตอนในนิวเคลียส เลขอะตอมจึงเป็นค่าเฉพาะของธาตุใดธาตุหนึ่งเท่านั้น สภาวะที่อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้าจะมีจำนวนโปรตอนเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน ดังนั้นเลขอะตอมจึงสามารถบอกจำนวนของอิเล็กตรอนของธาตุได้ ธาตุชนิดเดียวกันจะมีเลขอะตอมเท่ากันเสมอ เลขอะตอมจึงเป็นสมบัติเบื้องต้นของอะตอมและเป็นสิ่งกำหนดสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพอีกหลายประการของอะตอมนั้น ๆ

มวลเชิงอะตอม (atomic mass, A) หรือ เลขมวล (mass number) คือตัวเลขที่แสดงจำนวนผลรวมระหว่างจำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอน โดยทั่วไปแล้วมวลอะตอมหาได้ดังนี้

$$\text{มวลอะตอม (A)} = \text{จำนวนโปรตอน (p)} + \text{จำนวนนิวตรอน (n)}$$

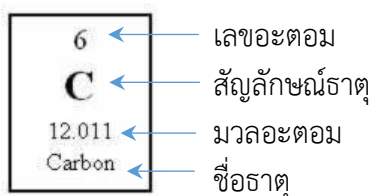
จำนวนนิวตรอนในอะตอมจึงเท่ากับผลต่างระหว่างมวลอะตอมกับเลขอะตอม

สัญลักษณ์นิวเคลียร์บอกจำนวนอนุภาคมูลฐานของอะตอมได้ และสามารถบอกจำนวนเลขอะตอมและมวลอะตอม ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 เลขอะตอมและมวลอะตอมของธาตุบางชนิด

สัญลักษณ์ธาตุ	ชื่อธาตุ	เลขอะตอม	มวลอะตอม	นิวตรอน	อิเล็กตรอน
${}^{12}_6\text{C}$	คาร์บอน	6	12	6	6
${}^{16}_8\text{O}$	ออกซิเจน	8	16	8	8
${}^{14}_7\text{N}$	ไนโตรเจน	7	14	7	7
${}^{35}_{17}\text{Cl}$	คลอรีน	17	35	18	17
${}^{59}_{27}\text{Co}$	โคบอลต์	27	59	32	27
${}^{60}_{27}\text{Co}$	โคบอลต์	27	60	33	27

แต่การเขียนสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ เลขอะตอมและมวลอะตอมอาจสลับกันตำแหน่งดังภาพที่ 1.1 ดังนั้นการพิจารณาว่าเลขใดเป็นเลขอะตอมและมวลอะตอม ให้ดูจากตารางธาตุว่า เลขอะตอมจะมีค่าน้อยกว่ามวลอะตอมเสมอ



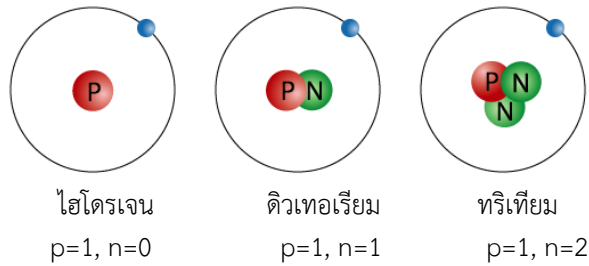
ภาพที่ 1.1 สัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุคาร์บอน

ไอโซโทป (isotope) คือธาตุชนิดเดียวกัน แต่มีมวลอะตอมไม่เท่ากัน เช่นอะตอม H มี 3 ไอโซโทป (ภาพที่ 1.2) คือ

${}^1_1\text{H}$  มีโปรตอน 1 ตัวและไม่มีนิวตรอน เรียกว่า ไฮโดรเจน (hydrogen) หรือโปรตอน (proton)

${}^2_1\text{H}$  มีโปรตอน 1 ตัวและมีนิวตรอน 1 ตัว เรียกว่า ดิวเทอเรียม (deuterium)

${}^3_1\text{H}$  มีโปรตอน 1 และนิวตรอน 2 ตัว เรียกว่า ทริเทียม (tritium)



ภาพที่ 1.2 ชนิดของไอโซโทปอะตอมไฮโดรเจน

สมบัติทางเคมีของธาตุถูกกำหนดด้วยจำนวนโปรตอนและอิเล็กตรอนในอะตอม ส่วนนิวตรอนไม่มีส่วนเกี่ยวข้องในการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ดังนั้น ไอโซโทปของธาตุเดียวกันจึงมีสมบัติทางเคมีเหมือนกันเกิดสารประกอบประเภทเดียวกันและมีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีทำนองเดียวกัน ไอโซโทปของธาตุแต่ละชนิดปรากฏในธรรมชาติที่ไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 ไอโซโทปของธาตุบางชนิดและร้อยละที่มีอยู่ในธรรมชาติ

ธาตุ	ไอโซโทป	ร้อยละที่มีอยู่ในธรรมชาติ
คาร์บอน	${}^{12}\text{C}$	98.892
	${}^{13}\text{C}$	1.108
	${}^{14}\text{C}$	น้อยมาก
ไฮโดรเจน	${}^1\text{H}$	99.985
	${}^2\text{H}$	0.015
	${}^3\text{H}$	$< 10^{-16}$
ออกซิเจน	${}^{16}\text{O}$	99.763
	${}^{17}\text{O}$	0.037
	${}^{18}\text{O}$	0.02

ไอโซโทน (isotone) คือธาตุต่างชนิดกันที่มีจำนวนนิวตรอนเท่ากันแต่มีมวลอะตอมไม่เท่ากัน เช่น  ${}^{18}\text{O}$  กับ  ${}^{19}\text{F}$  เป็นไอโซโทนกัน มีนิวตรอนเท่ากันคือ 10 จะเห็นได้ว่าเฉพาะนิวตรอนเท่านั้นที่เท่ากัน แต่มวลอะตอมไม่เท่ากัน

ไอโซบาร์ (isobar) คือธาตุต่างชนิดกันที่มีมวลอะตอมเท่ากันแต่มีจำนวนนิวตรอนไม่เท่ากัน เช่น  ${}^{30}\text{P}$  กับ  ${}^{30}\text{S}$  มีเลขมวลเท่ากันคือ 30 จะเห็นได้ว่าเฉพาะมวลอะตอมเท่านั้นที่เท่ากัน แต่นิวตรอนไม่เท่ากัน

## 2) โมเลกุล

โมเลกุล (molecule) คือการรวมตัวของอะตอมอย่างน้อยสองอะตอมด้วยแรงดึงดูดทางเคมี โดยทั่วไปโมเลกุลอาจเป็นการรวมตัวของอะตอมของธาตุชนิดเดียวกัน หรืออะตอมของธาตุต่างชนิด

กันมารวมกันด้วยอัตราส่วนที่แน่นอนตามกฎสัดส่วนคงตัว โมเลกุลแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามการรวมตัวกันของอะตอม ดังนี้

1) โมเลกุลอะตอมเดี่ยว (monoatomic molecule) หมายถึง สารประกอบที่ 1 โมเลกุลประกอบด้วย 1 อะตอมเท่านั้น ซึ่งมีแต่แก๊สมีสกุล (noble gas) เท่านั้น เช่น He, Ne, Ar, Kr, Xe และ Rn

2) โมเลกุลอะตอมคู่ (diatomic molecule) หมายถึง โมเลกุลที่ประกอบด้วยสองอะตอม โมเลกุลอะตอมคู่แบ่งออกได้ 2 ชนิดคือ

2.1) โมเลกุลแบบโฮโมนิวเคลียร์ (homonuclear molecule) เป็นโมเลกุลอะตอมคู่ที่ทั้งสองอะตอมเป็นอะตอมของธาตุชนิดเดียวกัน เช่น  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $Cl_2$  และ  $Br_2$

2.2) โมเลกุลแบบเฮเทอโรนิวเคลียร์ (heteronuclear molecule) เป็นโมเลกุลอะตอมคู่ที่ทั้งสองอะตอมเป็นอะตอมของธาตุต่างชนิดกัน เช่น HCl, HBr, HF และ CO

3) โมเลกุลหลายอะตอม (polyatomic molecule) หมายถึงโมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอมตั้งแต่ 3 อะตอมขึ้นไป ซึ่งอาจเป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน เช่น  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$  และ  $C_6H_{12}O_6$

### 3) ไอออน

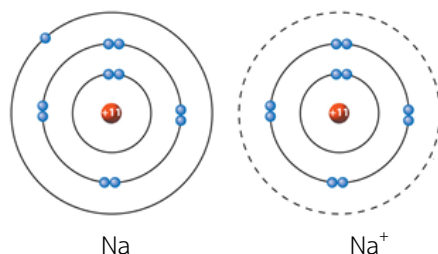
ไอออน (ion) คืออะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่มีประจุ ที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน (electron transfer) โดยการให้ (electron donor) หรือการรับอิเล็กตรอน (electron acceptor) แบ่งไอออนเป็น 2 ชนิด คือ

3.1) แคตไอออน (cation) เกิดจากอะตอมสูญเสียเวเลนซ์อิเล็กตรอนไป ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่เหลืออยู่มีจำนวนน้อยกว่าจำนวนโปรตอน อะตอมจึงแสดงอำนาจไฟฟ้าบวกตามจำนวนของโปรตอนที่มีมากกว่า จะเขียนโดยใช้เครื่องหมายบวกอยู่บนขวาของอะตอม เช่น  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  และ  $Al^{3+}$  เช่น อะตอมโซเดียม (Na) เมื่อถูกดึงอิเล็กตรอนออกจากระดับพลังงานสุดท้าย 1 อิเล็กตรอนทำให้เกิดเป็นโซเดียมไอออน ( $Na^+$ ) ดังภาพที่ 1.3 สมมติ M คืออะตอมที่เกิดจากสูญเสียอิเล็กตรอน

ถ้าอะตอม M สูญเสียอิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอน จะเขียนได้เป็น  $M^+$

ถ้าอะตอม M สูญเสียอิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน จะเขียนได้เป็น  $M^{2+}$

ถ้าอะตอม M สูญเสียอิเล็กตรอน 3 อิเล็กตรอน จะเขียนได้เป็น  $M^{3+}$

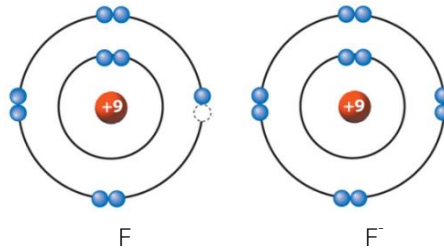


ภาพที่ 1.3 เวเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมโซเดียมและโซเดียมไอออน

3.2) แอนไอออน (anion) เกิดจากอะตอมรับอิเล็กตรอนเข้ามาเพิ่ม ทำให้มีจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าจำนวนโปรตอน อะตอมจึงแสดงอำนาจไฟฟ้าลบตามจำนวนของอิเล็กตรอนที่มี

มากกว่า จะเขียนโดยใช้เครื่องหมายลบบนขวาของอะตอม เช่น  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{O}^{2-}$  และ  $\text{N}^{3-}$  เช่นอะตอมฟลูออรีน (F) รับอิเล็กตรอนเข้ามา 1 อิเล็กตรอนทำให้เกิดเป็นฟลูออไรด์ไอออน ( $\text{F}^-$ ) ดังภาพที่ 1.4 สมมติ X คืออะตอมที่รับอิเล็กตรอน

- ถ้าอะตอม X รับอิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอน จะเขียนได้เป็น  $\text{X}^-$
- ถ้าอะตอม X รับอิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน จะเขียนได้เป็น  $\text{X}^{2-}$
- ถ้าอะตอม X รับอิเล็กตรอน 3 อิเล็กตรอน จะเขียนได้เป็น  $\text{X}^{3-}$



ภาพที่ 1.4 เวเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมฟลูออรีนและฟลูออไรด์ไอออน

การเขียนสัญลักษณ์ไอออนแตกต่างสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุตรงที่ต้องระบุประจุไฟฟ้าบวกหรือลบ ประจุไฟฟ้าสุทธิของไอออนจะสามารถบอกจำนวนอิเล็กตรอน ส่วนเลขอะตอมและมวลอะตอม พิจารณาเช่นเดียวกับสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ ดังแสดงในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 จำนวนเลขอะตอมและมวลอะตอมของไอออนบางชนิด

สัญลักษณ์ไอออน	ชื่อไอออน	เลขอะตอม	มวลอะตอม	นิวตรอน	อิเล็กตรอน
${}^6_3\text{Li}^+$	ลิเทียมไอออน	3	3	3	2
${}^{24}_{12}\text{Mg}^{2+}$	แมกนีเซียมไอออน	12	24	12	10
${}^{52}_{24}\text{Cr}^{3+}$	โครเมียมไอออน	24	52	28	21
${}^{16}_8\text{O}^{2-}$	ออกไซด์ไอออน	8	16	8	10
${}^{35}_{17}\text{Cl}^-$	คลอไรด์ไอออน	17	35	18	18
${}^{14}_7\text{N}^{3-}$	ไนไตรต์ไอออน	7	14	7	10

ตัวอย่าง 1.1 จำนวนเลขอะตอม มวลอะตอม และอนุภาคของธาตุและไอออนบางชนิด

สัญลักษณ์ธาตุ/ไอออน	ชื่อธาตุ/ไอออน	เลขอะตอม	มวลอะตอม	นิวตรอน	อิเล็กตรอน
<sup>40</sup> <sub>20</sub> Ca	แคลเซียม	20	40	20	20
<sup>32</sup> <sub>16</sub> S <sup>2-</sup>	ซัลไฟด์ไอออน	16	32	16	18
<sup>137</sup> <sub>56</sub> Ba	แบเรียม	56	137	81	56
<sup>137</sup> <sub>56</sub> Ba <sup>2+</sup>	แบเรียมไอออน	56	137	81	54
<sup>35</sup> <sub>17</sub> Cl <sup>-</sup>	คลอไรด์ไอออน	17	35	18	18

### 1.1.2 ตารางธาตุและการประยุกต์ใช้

ตารางธาตุปัจจุบันดังภาพที่ 1.5 แบ่งธาตุออกเป็นแถวแนวตั้ง (column) 18 แถว เรียกว่า หมู่ (group) และแถวแนวนอน (horizontal row) 7 แถว เรียกว่า คาบ (period) ธาตุที่อยู่ใน 2 หมู่ทางซ้ายมือและธาตุที่อยู่ใน 6 หมู่ทางขวามือของตารางธาตุจะเป็นธาตุหมู่หลัก (main group) เรียกว่า ธาตุหมู่ A ส่วนธาตุที่อยู่ใน 10 หมู่ตรงกลางตารางจะเป็นธาตุแทรนซิชัน (transition) เรียกว่า ธาตุหมู่ B และธาตุที่อยู่ตอนล่าง 2 แถวเป็นพวกโลหะแทรนซิชันแทรก หรือเรียกว่า อินเนอร์แทรนซิชัน (inner transition)

The periodic table shows elements arranged by atomic number. Groups are labeled IA through VIIIA. The inner transition series (Lanthanide and Actinide series) are shown at the bottom. Each element cell contains its symbol, atomic number, and name.

ภาพที่ 1.5 รูปแบบตารางธาตุปัจจุบัน

#### 1) ธาตุหมู่หลัก

หมู่ของธาตุในแนวตั้งทั้ง 18 หมู่ นิยมเขียนเลขโรมันและมีตัวอักษร A และ B กำกับอยู่ เรียกว่าธาตุหมู่ A และหมู่ B ตามลำดับ ถ้าเป็นธาตุในหมู่ A เริ่มตั้งแต่ 1A ถึง 8A (IA-VIIIA) จะเป็นธาตุหมู่หลัก เรียกว่าธาตุเรพรีเซนเททีฟ (representative) ธาตุเหล่านี้แต่ละหมู่มีสมบัติเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอจากข้างล่างขึ้นข้างบนหรือจากข้างบนลงล่าง ปฏิบัติการของธาตุใดธาตุหนึ่งในแต่ละหมู่สามารถใช้เป็นตัวแทนธาตุอื่นในหมู่เดียวกันได้

แต่ถ้าเป็นธาตุในหมู่ B เริ่มตั้งแต่ 3B ถึง 2B (IIIB-IIB) เรียกว่าธาตุแทรนซิชัน ซึ่งจะมีสมบัติคล้ายกันในคาบเดียวกันมากกว่าในหมู่เดียวกัน

การกำหนดเลขหมู่อาจใช้เลขอารบิก 1–8 แทนเลขโรมันก็ได้ ธาตุเรฟรีเซนเททีฟ (ธาตุหมู่ A) ที่อยู่ในหมู่เดียวกันบางหมู่มีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้

- ธาตุในหมู่ 1A เรียก โลหะแอลคาไล (alkaline metal) ประกอบด้วย Li, Na, K, Rb, Cs และ Fr
- ธาตุในหมู่ 2A เรียก โลหะแอลคาไลน์เอิร์ท (alkaline earth metal) ประกอบด้วย Be, Mg, Ca, Sr, Ba และ Ra
- ธาตุในหมู่ 6A เรียก ซัลโคเจน (chalcogen) มีสมบัติเป็นอโลหะ ประกอบด้วย O, S, Se, Te และ Po
- ธาตุในหมู่ 7A เรียก แฮโลเจน (halogen) มีสมบัติเป็นอโลหะ ประกอบด้วย F, Cl, Br, I และ At
- ธาตุในหมู่ 8A เรียก แก๊สมีสกุล (noble gas) ธาตุในหมู่นี้ประกอบด้วย He, Ne, Ar, Kr, Xe และ Rn เดิมเรียกธาตุในหมู่นี้ว่าแก๊สเฉื่อย (inert gas) เพราะไม่ทำปฏิกิริยากับธาตุใด ๆ เนื่องจากโครงสร้างอิเล็กตรอนเป็นแบบเต็ม แต่ในปัจจุบันพบว่าธาตุหมู่นี้บางธาตุเกิดปฏิกิริยาได้บ้าง

ธาตุแต่ละหมู่จะมีการจัดเรียงตัวของเวเลนซ์อิเล็กตรอนเหมือนกันแต่จะต่างกันที่ระดับพลังงานหลัก ดังนั้นธาตุในหมู่เดียวกันจะมีสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตาม ธาตุในแถวแนวตั้งหนึ่งอาจมีสมบัติบางประการคล้ายคลึงกับธาตุในอีกแถวหนึ่งก็ได้ ซึ่งมีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากันแต่การจัดเรียงตัวของเวเลนซ์อิเล็กตรอนแตกต่างกัน เช่น ธาตุในแถวแนวตั้งที่ 3 (หมู่ 3B) เรียกว่า กลุ่มสแกนเดียม มีการจัดเรียงตัวอิเล็กตรอนเป็น  $(n-1)d^1ns^2$  จะมีสมบัติบางอย่างคล้ายกับธาตุในแถวแนวตั้งที่ 13 (หมู่ 3A) ที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น  $ns^2np^1$  จึงนิยมเรียกธาตุกลุ่มสแกนเดียมว่าเป็นธาตุหมู่ย่อยของหมู่ 3A จึงเรียกว่าหมู่ 3B ดังนั้นจะเห็นเลขหมู่กำกับธาตุกลุ่มสแกนเดียมเป็น 3B

ตามแนวนอนของตารางธาตุแบ่งออกเป็น 7 คาบ โดยแต่ละคาบมีตัวเลขอารบิกกำกับข้างหน้าคาบ และยังมีอีก 2 คาบที่เขียนแยกไว้ด้านล่าง เรียกว่าอนุกรมแลนทาไนด์ (lanthanide series) และอนุกรมแอกทิไนด์ (actinide series) เมื่อพิจารณาแต่ละคาบเป็นดังนี้

คาบที่ 1 มี H และ He เท่านั้น

คาบที่ 2 ประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 3 คือ Li ถึง 10 คือ Ne

คาบที่ 3 ประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 11 คือ Na ถึง 18 คือ Ar (คาบที่ 2 และที่ 3 นี้มีเฉพาะธาตุในหมู่ A เท่านั้น ไม่มีธาตุในหมู่ B)

คาบที่ 4 ประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 19 คือ K ถึง 36 คือ Kr

คาบที่ 5 ประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 37 คือ Rb ถึง 54 คือ Xe

คาบที่ 6 ประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 55 คือ Cs ถึง 86 คือ Rn

คาบที่ 7 ประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 87 คือ Fr ถึง 116 คือ Lv

## 2) โครแบบอิเล็กตรอนของอะตอมกับตำแหน่งในตารางธาตุ

ธาตุที่อยู่ในคาบเดียวกันในตารางธาตุจะมีจำนวนระดับพลังงานหลัก ( $n$ ) สูงที่สุดเท่ากัน คือ คาบที่ 1 มีระดับพลังงานเท่ากับ 1 ( $n=1$ ) คาบที่ 2 มีระดับพลังงานเท่ากับ 2 ( $n=2$ ) และจะเพิ่มขึ้นตามลำดับคาบละหนึ่งระดับพลังงาน จนถึงคาบที่ 7 ซึ่งจะมีระดับพลังงานสูงสุดเท่ากับ 7 ( $n=7$ )

จำนวนอิเล็กตรอนของธาตุที่อยู่ในคาบเดียวกันจะมีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งหน่วยอิเล็กตรอนจากซ้ายไปขวาของตารางธาตุ ซึ่งทำให้ธาตุที่อยู่ในคาบเดียวกันมีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่แตกต่างกัน ในแต่ละคาบจะเริ่มด้วยธาตุที่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 1 ที่บรรจุในออร์บิทัล- $s$  ในคาบที่ 1 ซึ่งตรงกับระดับพลังงานที่ 1 จึงมีธาตุเพียง 2 ธาตุเท่านั้นคือ H ( $Z=1$ ) และ He ( $Z=2$ ) เพราะออร์บิทัล- $1s$  บรรจุอิเล็กตรอนได้เพียง 2 อิเล็กตรอน ดังแสดงในตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 แสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุคาบที่ 1, 2 และ 3

คาบ	สัญลักษณ์ธาตุ	การจัดเรียงอิเล็กตรอน
1	${}_1\text{H}$	$1s^1$
	${}_2\text{He}$	$1s^2$
2	${}_3\text{Li}$	$1s^2 2s^1$
	${}_4\text{Be}$	$1s^2 2s^2$
	${}_5\text{B}$	$1s^2 2s^2 2p^1$
	${}_6\text{C}$	$1s^2 2s^2 2p^2$
	${}_7\text{N}$	$1s^2 2s^2 2p^3$
	${}_8\text{O}$	$1s^2 2s^2 2p^4$
	${}_9\text{F}$	$1s^2 2s^2 2p^5$
	${}_{10}\text{Ne}$	$1s^2 2s^2 2p^6$
3	${}_{11}\text{Na}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
	${}_{12}\text{Mg}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
	${}_{13}\text{Al}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$
	${}_{14}\text{Si}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
	${}_{15}\text{P}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$
	${}_{16}\text{S}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
	${}_{17}\text{Cl}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$
	${}_{18}\text{Ar}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

คาบที่ 2 มี 8 ธาตุ เริ่มจาก Li ( $Z=3$ ) ถึง Ne ( $Z=10$ ) การจัดเรียงอิเล็กตรอนแสดงในตารางที่ 1.5 โดย Li มี 3 อิเล็กตรอนซึ่งบรรจุในระดับพลังงานที่ 1 (ออร์บิทัล- $1s$ ) แล้ว 2 อิเล็กตรอน ส่วนอีก 1 อิเล็กตรอนต้องเข้าไปอยู่ในระดับพลังงานที่ 2 คือออร์บิทัล- $2s$  ในคาบที่ 2 มีระดับพลังงานสองระดับพลังงานย่อย (ออร์บิทัล- $2s$  หนึ่งออร์บิทัล และออร์บิทัล- $2p$  อีกสามออร์บิทัล) ซึ่งในระดับพลังงานที่ 2 นี้จะบรรจุอิเล็กตรอนได้รวมไม่เกิน 8 อิเล็กตรอนเท่านั้น

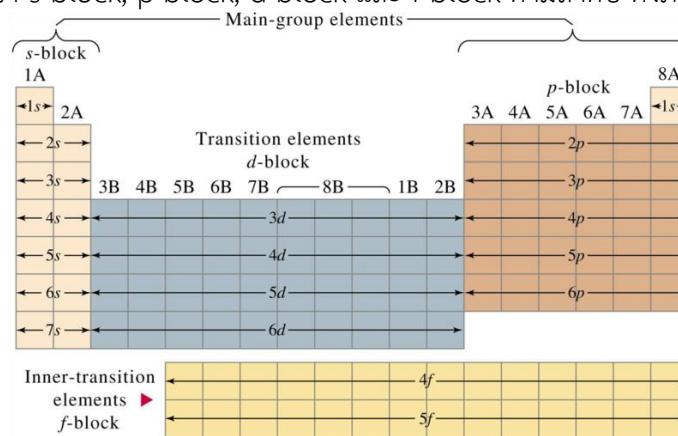
คาบที่ 3 มีทั้งหมด 8 ธาตุ เริ่มจาก Na ( $Z=11$ ) ถึง Ar ( $Z=18$ ) การจัดเรียงอิเล็กตรอนแสดงในตารางที่ 1.5 ในคาบที่ 3 มีระดับพลังงานสามระดับพลังงานย่อย (ออร์บิทัล- $3s$  หนึ่งออร์บิทัล ออร์บิทัล- $3p$  อีกสามออร์บิทัล และออร์บิทัล- $3d$  อีกห้าออร์บิทัล)

คาบที่ 4 เริ่มจาก K ( $Z=19$ ) การจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานนี้จะเริ่มที่ออร์บิทัล- $4s$  เนื่องจากออร์บิทัล- $4s$  มีระดับพลังงานต่ำกว่าออร์บิทัล- $3d$  ดังนั้น และเมื่อออร์บิทัล- $4s$  บรรจุเต็ม

หมด แล้วจึงบรรจุอิเล็กตรอนในออร์บิทัล-3d โดยออร์บิทัล-3d มีทั้งหมด 5 ออร์บิทัลย่อย จึงมีธาตุแทรกมาในคาบที่ 4 จำนวน 10 ธาตุ (Sc ถึง Zn) เมื่อออร์บิทัล-3d เต็มแล้วจึงตามด้วยการบรรจุอิเล็กตรอนในออร์บิทัล-4p อีก 6 ธาตุ (Ga ถึง Kr)

คาบที่ 5 จะมีการบรรจุอิเล็กตรอนในออร์บิทัล-5s, ออร์บิทัล-4d และออร์บิทัล-5p ตามลำดับ ทำนองเดียวกันคาบที่ 4 จึงมีธาตุ 18 ธาตุเช่นเดียวกับธาตุคาบที่ 4 เมื่อถึงคาบที่ 6 จะมีการบรรจุอิเล็กตรอนในออร์บิทัล-4f หลังจากที่บรรจุออร์บิทัล-6s จนเต็ม และออร์บิทัล-5d อีก 1 อิเล็กตรอนอีกต่อไป และไปสิ้นสุดเมื่อออร์บิทัล-6p บรรจุเต็มคาบที่ 7 จะมีการบรรจุอิเล็กตรอนในออร์บิทัล-5f

เมื่อพิจารณาการจัดเรียงอิเล็กตรอนของอะตอมในตารางธาตุ แบ่งธาตุออกเป็นกลุ่มตามการจัดเรียงอิเล็กตรอนในออร์บิทัลเชิงอะตอม คือ ออร์บิทัล-s, ออร์บิทัล-p, ออร์บิทัล-d และออร์บิทัล-f ได้เป็นกลุ่มที่เรียกว่า s-block, p-block, d-block และ f-block ตามลำดับ ดังภาพที่ 1.6



ภาพที่ 1.6 กลุ่มธาตุตามการจัดเรียงอิเล็กตรอนในออร์บิทัล

ธาตุที่อยู่ในหมู่เดียวกันจะมีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากัน ดังตารางที่ 1.6 มีสมบัติเคมีและทางกายภาพคล้ายคลึงกัน เช่น ธาตุในหมู่ 1A จะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอน ( $ns^1$ ) มีสมบัติเป็นโลหะทั้งหมดและเมื่อสูญเสียอิเล็กตรอนไป 1 อิเล็กตรอน ธาตุทุกตัวในหมู่ 1A จะเป็นไอออนบวกที่มีประจุเป็น +1 หรือธาตุในหมู่ 2A จะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน ( $ns^2$ ) และเมื่อสูญเสียอิเล็กตรอนไป 2 อิเล็กตรอน ธาตุทุกตัวในหมู่ 2A จะเป็นไอออนบวกที่มีประจุเป็น +2

ตารางที่ 1.6 แสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุหมู่ 1A, 2A, 7A และ 8A

หมู่	สัญลักษณ์ธาตุ	การจัดเรียงอิเล็กตรอน
1A	<sup>3</sup> Li	1s <sup>2</sup> 2s <sup>1</sup>
	<sup>11</sup> Na	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>1</sup>
	<sup>19</sup> K	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup>
	<sup>37</sup> Rb	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> 4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup>
	<sup>55</sup> Cs	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup> 6s <sup>1</sup>
2A	<sup>4</sup> Be	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup>
	<sup>12</sup> Mg	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup>
	<sup>20</sup> Ca	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>
	<sup>38</sup> Sr	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>
	<sup>56</sup> Ba	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>
7A	<sup>9</sup> F	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup>
	<sup>17</sup> Cl	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup>
	<sup>35</sup> Br	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup>
	<sup>53</sup> I	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup>
8A	<sup>2</sup> He	1s <sup>2</sup>
	<sup>10</sup> Ne	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>
	<sup>18</sup> Ar	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>
	<sup>36</sup> Kr	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>
	<sup>54</sup> Xe	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup>

### 3) การจัดตำแหน่งอะตอมไฮโดรเจนในตารางธาตุ

การจัดธาตุให้อยู่ในหมู่ใดของตารางธาตุจะใช้สมบัติที่คล้ายคลึงกันเป็นเกณฑ์ ในตารางธาตุปัจจุบันได้จัดให้ H อยู่ในคาบที่ 1 ระหว่างหมู่ 1A กับหมู่ 7A สมบัติบางประการของ H เปรียบเทียบกับสมบัติธาตุหมู่ 1A และหมู่ 7A แสดงในตารางที่ 1.7

ตารางที่ 1.7 สมบัติบางประการของ H เทียบกับธาตุหมู่ 1A กับหมู่ 7A

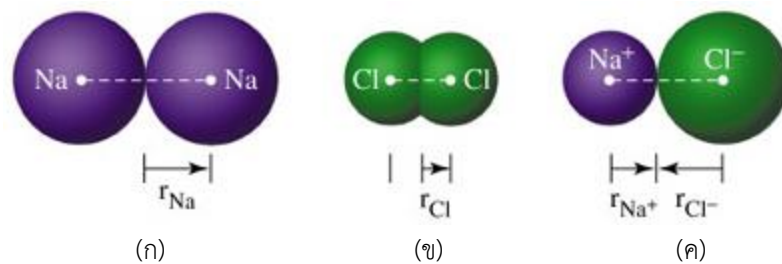
สมบัติ	ธาตุหมู่ 1A	H	ธาตุหมู่ 7A
เวเลนซ์อิเล็กตรอน	1	1	7
เลขออกซิเดชัน	+1	+1 และ -1	+1, +3, +5, +7, -1
พลังงานไอออไนเซชัน	382 - 526	1,318	1,015 - 1,687
อิเล็กโตรเนกาติวิตี	1.0 - 0.7	2.1	2.2 - 4.0
สถานะ	ของแข็ง	แก๊ส	แก๊ส/ของเหลว/ของแข็ง
การนำไฟฟ้า	นำ	ไม่นำ	ไม่นำ

เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 1.7 พบว่า H มีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอนและมีเลขออกซิเดชัน +1 ดังนั้น H จึงเหมือนธาตุหมู่ 1A แต่ H มีสมบัติคล้ายธาตุหมู่ 7A หลายประการคือ มีเลขออกซิเดชันได้มากกว่าหนึ่งค่า มีค่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 และมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีค่อนข้างสูง มีสถานะเป็นแก๊ส ไม่นำไฟฟ้า เมื่อเกิดเป็นสารประกอบต้องการเพียง 1 อิเล็กตรอนเช่นเดียวกับธาตุหมู่ 7A ดังนั้นในตารางธาตุอาจจัดวางตำแหน่ง H ไว้ในหมู่ 1A หรืออาจวางอยู่ระหว่างหมู่ 1A กับ 7A

### 1.1.3 สมบัติฟิร็อดิก

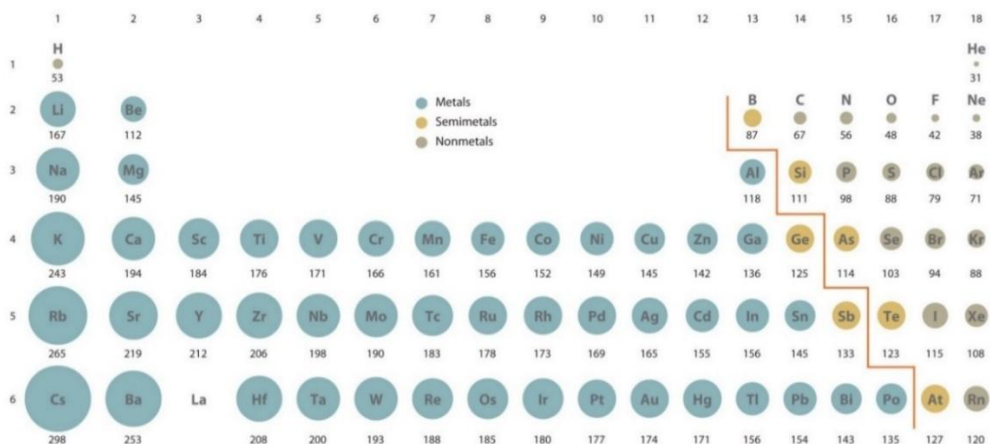
#### 1) ขนาดอะตอมกับฟังก์ชันฟิร็อดิก

การหาขนาดของอะตอมที่แน่นอนทำได้ยากมาก เนื่องจากไม่สามารถกำหนดขอบเขตที่แน่นอนของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียส ดังนั้นในการวัดขนาดอะตอมจะกำหนดให้อะตอมมีรูปร่างเป็นทรงกลมและบอกขนาดเป็นรัศมีอะตอมตามแรงที่เกิดขึ้นของพันธะคือ รัศมีโคเวเลนต์ (covalent radius) รัศมีแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals radius) รัศมีไอออน (ionic radius) และรัศมีโลหะ (metallic radius) ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงขนาดอะตอมควรระบุด้วยว่าใช้รูปแบบใด การวัดระยะระหว่างอะตอมหรือความยาวพันธะในโมเลกุลหรือในผลึกจะวัดจากรัศมีอะตอมที่เกิดโมเลกุลหรือสารประกอบ ดังแสดงในภาพที่ 1.7



ภาพที่ 1.7 ระยะรัศมีอะตอม (ก) รัศมีโลหะ (ข) รัศมีโคเวเลนต์ และ (ค) รัศมีไอออน

สมบัติฟิร็อดิกของขนาดอะตอมจะแปรไปตามเลขอะตอม การพิจารณาแนวโน้มขนาดอะตอมต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีส่วนกำหนดขนาดอะตอมคือ ระยะระหว่างนิวเคลียสกับเวเลนซ์อิเล็กตรอน เพราะอาจถูกบดบังจากอิเล็กตรอนวงใน หรือการผลักกันเองระหว่างอิเล็กตรอนในระดับพลังงานเดียวกันหรือต่างระดับพลังงานจะไปหักล้างแรงดึงดูดของนิวเคลียสที่มีต่ออิเล็กตรอนวงนอก ๆ ทำให้อำนาจประจุนกที่นิวเคลียสน้อยกว่าที่ควรจะเป็น แนวโน้มขนาดอะตอมตามหมู่และตามคาบ แสดงในภาพที่ 1.8



ภาพที่ 1.8 แนวโน้มรัศมีอะตอมของธาตุในตารางธาตุ (หน่วยพิโกเมตร).

ที่มา: Averill. Principles of General Chemistry. 2012. (Online).

ธาตุในหมู่เดียวกัน ขนาดอะตอมจะเพิ่มขึ้นจากบนลงมาข้างล่าง เช่นธาตุหมู่ 1A ขนาดอะตอม Na ใหญ่กว่าอะตอม Li หรือธาตุหมู่ 7A ขนาดอะตอม Cl ใหญ่กว่าอะตอม F การที่ขนาดอะตอมใหญ่ขึ้น เพราะจำนวนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น (n เพิ่ม) เมื่อขึ้นคาบใหม่เท่ากับเพิ่มระดับพลังงานหลักเข้ามาอีกหนึ่งระดับ การเพิ่มจำนวนระดับพลังงาน (n) เป็นปัจจัยที่สำคัญกว่าการเพิ่มประจุบวกที่นิวเคลียส

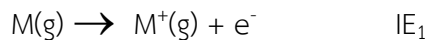
ธาตุในคาบเดียวกัน (มีระดับพลังงานหลักเท่ากัน) ขนาดอะตอมลดลงจากซ้ายไปขวา เนื่องจากธาตุทางขวามีเลอะตอมมากกว่าทำให้นิวเคลียสมีแรงดึงดูดอิเล็กตรอนมากกว่าจึงทำให้รัศมีมีวงโคจรของอิเล็กตรอนลดลง (ยกเว้น อะตอมของแก๊สมีสกุลเพราะอิเล็กตรอนในวงนอกสุดครบ 8 อิเล็กตรอนซึ่งมีความเสถียรสูงมาก)

## 2) พลังงานไอออไนเซชันกับฟังก์ชันพีริออดิก

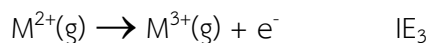
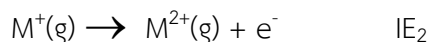
พลังงานไอออไนเซชัน (ionization energy, IE) หรือพลังงานการแตกตัวเป็นไอออน คือพลังงานน้อยที่สุดที่ใช้ในการดึงอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานสุดท้ายออกจากอะตอมในสถานะแก๊สให้กลายเป็นไอออนบวก

ค่าพลังงานไอออไนเซชันใช้บอกถึงปริมาณพลังงานอย่างน้อยที่สุดที่ต้องใช้เพื่อบังคับให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม หรืออาจกล่าวอีกทางหนึ่งของค่า IE จะเป็นค่าที่ใช้บอกแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนที่ถูกยึดไว้ในอะตอม ถ้าอะตอมมีค่า IE สูง แสดงว่าแรงยึดเหนี่ยวที่นิวเคลียสมีต่ออิเล็กตรอนมีค่ามาก อิเล็กตรอนจะหลุดออกได้ยาก

พลังงานที่ใช้ในการดึงอิเล็กตรอนตัวที่หนึ่ง (ที่อยู่ในพลังงานสุดท้าย) เรียกว่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 เขียนย่อเป็น  $IE_1$  กล่าวคือ เมื่อ M แทนอะตอมธาตุโลหะเกิดแตกตัวเป็นไอออน ดังสมการ



เนื่องจากอะตอมสามารถถูกดึงเวเลนซ์อิเล็กตรอนได้มากกว่า 1 อิเล็กตรอน (ยกเว้น H) ดังนั้น ค่า IE จึงมีได้มากกว่า 1 ค่า เช่นถ้าดึงอิเล็กตรอนตัวที่ 2 และ 3 ออกจากอะตอมจะเรียกว่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 2 และ 3 เขียนแทนได้ด้วย  $IE_2$  และ  $IE_3$  ตามลำดับ



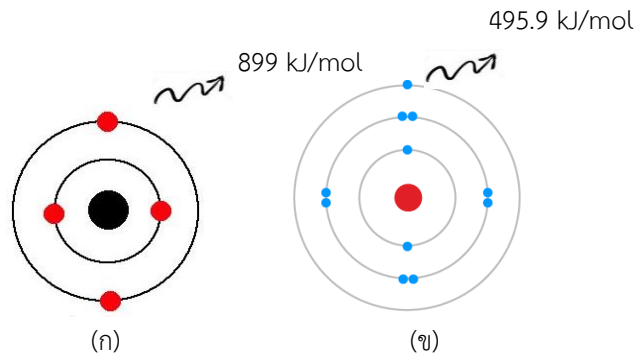
ค่า IE มีหน่วยเป็น กิโลจูลต่อโมล (kJ/mol)

ตัวอย่าง พลังงานที่ใช้ในการดึงอิเล็กตรอนตัวที่ 1, 2 และ 3 ของอะตอมเบริลเลียม (Be)



พิจารณาการจัดเรียงอิเล็กตรอนของ Be เป็น  $1s^2 2s^2$  ดังภาพที่ 1.9(ก) จะเห็นว่าถ้าต้องการดึงอิเล็กตรอนตัวที่ 2 ออกจาก  $Be^+$  จะต้องใช้พลังงานมากกว่าตัวแรกประมาณ 2 เท่า เนื่องจากอิทธิพลแรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนที่เหลือในระดับพลังงานสุดท้ายมีมากขึ้น แต่ถ้า

ต้องการดึงอิเล็กตรอนตัวที่ 3 ออกอีก จะเห็นว่าจะต้องดึงอิเล็กตรอนในออร์บิทัล-1s ซึ่งอยู่ใกล้นิวเคลียสมากที่สุด จึงมีแรงดึงดูดมาก ดังนั้นต้องใช้พลังงานเกือบ 10 เท่าของการดึงอิเล็กตรอนตัวที่ 2 ออก ค่า IE ของอะตอมบางชนิดแสดงในตารางที่ 1.8



ภาพที่ 1.9 แสดงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานของ (ก) อะตอมเบริลเลียม และ (ข) อะตอมซิลิคียม

ในการทำงานเดียวกัน การดึงอิเล็กตรอน 1 ตัวออกจากอะตอม Na ( $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ ) จะใช้พลังงานไม่สูงนัก เนื่องจากการดึงอิเล็กตรอนออกจากออร์บิทัล-3s ที่มีอิเล็กตรอนเพียงตัวเดียว ดังภาพที่ 1.9(ข) แต่หากมีการดึงอิเล็กตรอนตัวที่ 2 จะต้องใช้พลังงานมากถึง 10 เท่าของพลังงานในการดึงอิเล็กตรอนตัวแรก ดังนั้น Na จึงเกิดปฏิกิริยาเคมีกับอะตอมอื่น ๆ ได้ในรูปสารประกอบที่มีประจุบวก 1 เท่านั้น ( $Na^+$ ) โดยจะไม่พบสารประกอบในรูป  $Na^{2+}$  หรือ  $Na^{3+}$

ค่า IE ใช้บอกแนวโน้มการเกิดเป็นไอออนบวกของอะตอม คืออะตอมที่มีค่า IE ต่ำจะแตกตัวเป็นไอออนบวกได้ง่ายกว่าอะตอมที่มีค่า IE สูง เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนมีน้อย และบอกความไวของอะตอมต่อปฏิกิริยาเคมี อะตอมที่มีค่า IE ต่ำจะมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีมาก เช่น

- โลหะแอลคาไล (หมู่ 1A) มีค่า IE ต่ำ ดังนั้น ธาตุหมู่นี้จึงว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีมาก ระหว่างโลหะแอลคาไลด้วยกัน ธาตุด้านล่างจะแตกตัวเป็นไอออนบวกได้ง่ายกว่าธาตุที่อยู่เหนือขึ้นไป ในหมู่เดียวกัน ดังนั้นถ้าเรียงความว่องไวทางเคมีจากมากไปน้อยจะได้คือ  $Cs > Rb > K > Na > Li$

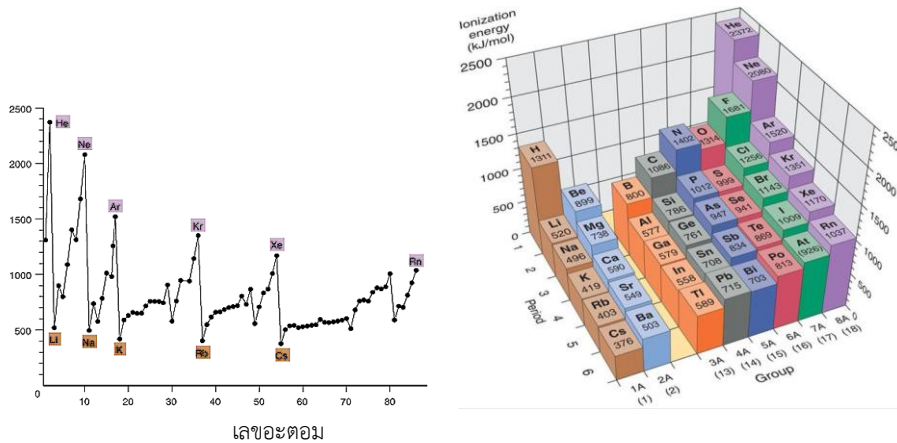
- โลหะแอลคาไลน์เอิร์ท (หมู่ 2A) มีค่า IE สูงกว่าหมู่ 1A ดังนั้นมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาจะน้อยกว่าธาตุหมู่ 1A

ตารางที่ 1.8 ค่าพลังงานไอออไนเซชันของอะตอมบางชนิด (kJ/mol)

เลขอะตอม	ธาตุ	IE <sub>1</sub>	IE <sub>2</sub>	IE <sub>3</sub>	IE <sub>4</sub>	IE <sub>5</sub>	IE <sub>6</sub>
1	H	1,311					
2	He	2,372	5,251				
3	Li	520	7,300	11,815			
4	Be	899	1,757	14,850	21,005		
5	B	801	2,430	3,660	25,000	32,820	
6	C	1,086	2,350	4,620	6,220	38,000	47,261
7	N	1,400	2,860	4,580	7,500	9,400	53,000
8	O	1,314	3,390	5,300	7,470	11,000	13,000
9	F	1,680	3,370	6,050	8,400	11,000	15,200
10	Ne	2,080	3,950	6,120	9,370	12,200	15,000
11	Na	496	4,560	6,900	9,540	13,400	16,600
12	Mg	738	1,450	7,730	10,500	13,600	18,000
13	Al	577	1,820	2,750	11,600	14,800	18,400
14	Si	786	1,580	3,230	4,360	16,000	20,000
15	P	1,012	1,904	2,910	4,960	6,240	21,000
16	S	999	2,250	3,360	4,660	6,990	8,500
17	Cl	1,256	2,297	3,820	5,160	6,540	9,300
18	Ar	1,520	2,666	3,900	5,770	7,240	8,800
19	K	419	3,052	4,410	5,900	8,000	9,600
20	Ca	590	1,145	4,900	6,500	8,100	11,000

ที่มา: ดัดแปลงจาก Chang and Goldsby. Chemistry. 2013. p344

ค่า IE เป็นฟังก์ชันพีริออดิกเมื่อเรียงตามเลขอะตอม แนวโน้มค่า IE<sub>1</sub> แสดงในภาพที่ 1.10



ภาพที่ 1.10 แนวโน้มพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1

ที่มา: ดัดแปลงจาก Silberberg. Principle of General Chemistry. 2013. p.261-262

ธาตุในหมู่เดียวกัน ค่า IE ลดลงจากบนลงล่าง เนื่องจากปัจจัยหลัก 2 ประการคือ

(1) เมื่อขนาดอะตอมใหญ่ขึ้น ระยะห่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนวงนอกสุดจะอยู่ห่างกันมากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้แรงดึงดูดที่นิวเคลียสมีต่ออิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานสุดท้ายน้อยลง ดังนั้น พลังงานที่ใช้ในการดึงเวเลนซ์อิเล็กตรอนให้หลุดออกอะตอมจึงไม่สูงมากนัก (ตารางที่ 1.9)

(2) จำนวนชั้นระดับพลังงานของอิเล็กตรอนที่เพิ่มขึ้นตามคาบเสมือนเป็นกำแพงกันแรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสกับเวเลนซ์อิเล็กตรอน ทำให้แรงยึดเหนี่ยวมีค่าน้อยลง

**ตารางที่ 1.9** ค่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของธาตุหมู่ 1A

ธาตุ	เลขอะตอม	การจัดเรียงอิเล็กตรอน	รัศมีอะตอม (pm)	IE <sub>1</sub> (kJ/mol)
Li	3	1s <sup>2</sup> 2s <sup>1</sup>	167	520
Na	11	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>1</sup>	190	496
K	19	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 4s <sup>1</sup>	243	419
Rb	37	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup> 3d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup>	265	403
Cs	55	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup> 3d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup> 6s <sup>1</sup>	298	376

ธาตุในคาบเดียวกัน ค่า IE จะเพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา เนื่องจากธาตุทางขวาของตารางธาตุมีเลขอะตอม (จำนวนโปรตอน) เพิ่มขึ้นธาตุละ 1 โปรตอน ทำให้นิวเคลียสมีแรงดึงดูดอิเล็กตรอนได้มากขึ้น ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากอะตอมได้ยาก แต่อะตอมที่มีโครงสร้างอิเล็กตรอนแบบครึ่ง (half-filled) จะมีค่า IE สูงกว่าแนวโน้มปกติเล็กน้อย เช่น เบริลเลียม (Be) และไนโตรเจน (N)

ยกตัวอย่างธาตุในคาบที่ 2 จาก Li ถึง Ne เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น ประจุบวกในนิวเคลียสเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งหน่วยและอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นทีละ 1 อิเล็กตรอนในระดับพลังงานเดียวกัน ประจุบวกในนิวเคลียสยิ่งมากขึ้น แรงดึงดูดที่นิวเคลียสมีต่ออิเล็กตรอนตัวนอกจะมีมากขึ้น

**ตารางที่ 1.10** ค่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของธาตุในคาบที่ 2

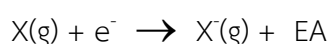
	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
จำนวนโปรตอน	3	4	5	6	7	8	9	10
รัศมีโคเวเลนต์ (pm)	167	112	87	67	56	48	42	38
พลังงานไอออไนเซชัน	520	899	801	1,086	1,402	1,314	1,681	2,081

แก๊สมีสกุลมีค่า IE สูงมากเมื่อเทียบกับธาตุในคาบเดียวกัน เนื่องจากโครงสร้างอิเล็กตรอนเป็นการบรรจุแบบเต็ม (full-field)

### 3) สัมพรรคภาพอิเล็กตรอนกับฟังก์ชันฟิร็อดิก

สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน (electron affinity, EA) เรียกว่า ค่า EA คือพลังงานที่คายออกมาเมื่ออะตอมในสถานะแก๊สรับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้าไปในอะตอม แล้วกลายเป็นไอออนลบ

เมื่อสมมติ X คืออะตอมของธาตุโลหะ เขียนสมการทั่วไปคือ

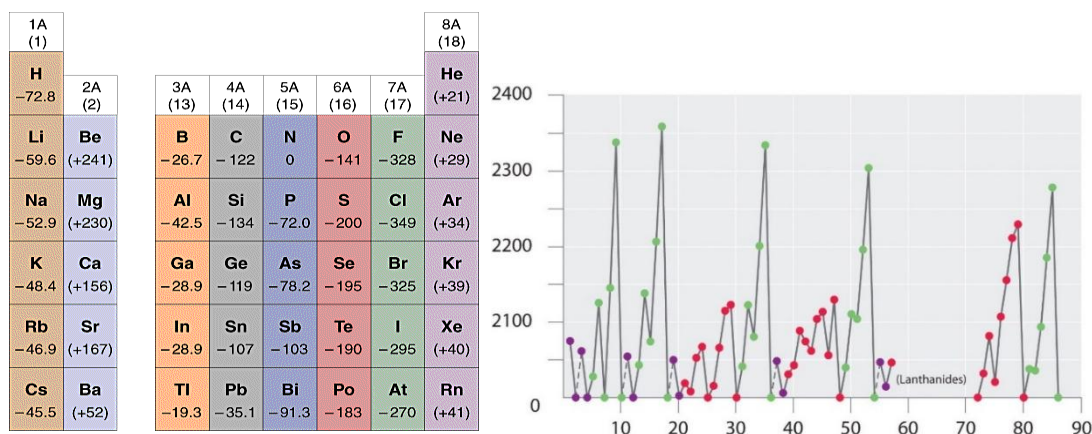


ค่า EA บอกให้ทราบความยากง่ายที่อะตอมจะรับอิเล็กตรอนเข้ามาเพิ่ม กำหนดให้ค่า EA มีเครื่องหมายเป็นลบ (เนื่องจากการคายพลังงาน) ถ้าค่า EA เป็นลบค่ามาก แสดงว่าอะตอมนั้นสามารถรับอิเล็กตรอนได้ดีหรือชอบรับอิเล็กตรอน เกิดเป็นไอออนลบได้ง่าย เช่น Cl และ O



ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่า EA เป็นลบค่าน้อย ๆ หรือค่าเป็นบวก แสดงว่าอะตอมนั้นจะเกิดเป็นไอออนลบได้ยาก อะตอมนั้นไม่ชอบรับอิเล็กตรอน เช่น Be, B และ N เป็นต้น

ค่า EA ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น ขนาดอะตอม ระดับพลังงานของอิเล็กตรอน และโครงสร้างอิเล็กตรอน ซึ่งการวัดค่า EA ทำได้ยากมาก ทำให้ทราบค่าแน่นอนเพียงไม่กี่ธาตุ ดังแสดงในภาพที่ 1.11



ภาพที่ 1.11 ค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนของธาตุเรพรีเซนเททีฟ  
ที่มา: Silberberg. Principle of General Chemistry. 2013. p264

(1) ธาตุในหมู่เดียวกัน ค่า EA จะต่างกันไม่มากนัก แต่พอสรุปได้ว่า ค่า EA ลดลงจากข้างบนลงข้างล่าง (ตัวเลขลบน้อยกว่า) เพราะขนาดของอะตอมใหญ่ขึ้นตามจำนวนระดับพลังงาน ถึงแม้ประจุบวกที่นิวเคลียสเพิ่มขึ้นคาบละ 8 หน่วย แต่เมื่อคำนึงถึงจำนวนอิเล็กตรอนที่กั้นระหว่างนิวเคลียสกับเวเลนซ์อิเล็กตรอนแล้วทำให้อำนาจแรงดึงดูดของประจุน้อยลงไปมาก ส่วนแก๊สมีสกุลไม่มีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอน

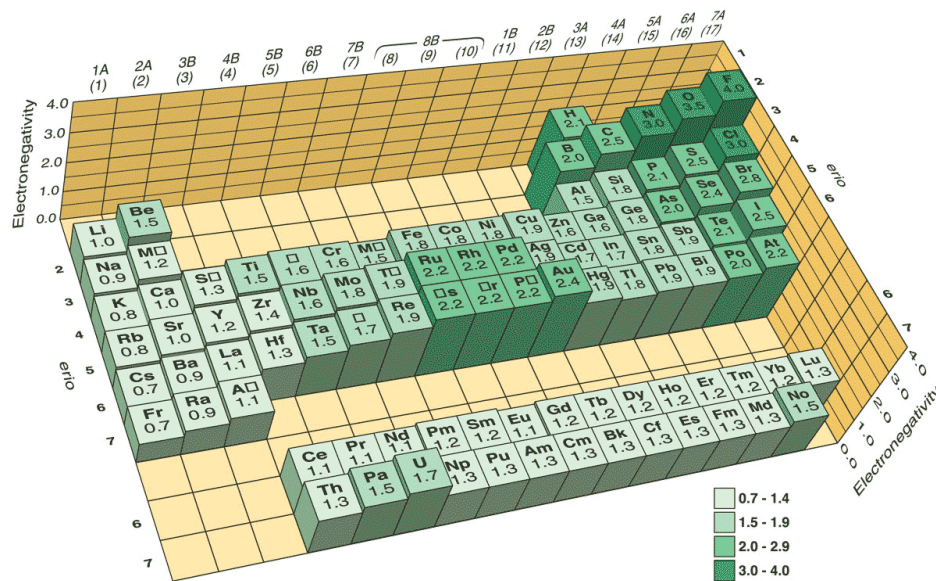
(2) ธาตุในคาบเดียวกัน ค่า EA จะเพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา กล่าวคือธาตุอโลหะมีแนวโน้มจะรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่าธาตุโลหะ โดยทั่วไป ค่า EA ของโลหะมีค่าเป็นบวกมาก (หรือเป็นลบน้อยกว่า) กว่าของอโลหะ เมื่อพิจารณาจากขนาดอะตอม อะตอมที่มีขนาดเล็กจะรับอิเล็กตรอนง่ายกว่าอะตอมขนาดใหญ่ เพราะประจุบวกที่นิวเคลียสส่งแรงดึงดูดอิเล็กตรอนไว้ได้ดีกว่า เนื่องจากระยะห่างระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนน้อย ดังนั้นในการเกิดไอออนลบ อะตอมขนาดเล็กจะคายพลังงานออกมามากกว่าอะตอมใหญ่ ธาตุแฮโลเจน (หมู่ 7A) มีค่า EA เป็นลบมากที่สุดเพราะการรับ 1 อิเล็กตรอนเข้ามาจะทำให้อะตอมของธาตุแฮโลเจนมีการจัดอิเล็กตรอนแบบเต็มเหมือนกับแก๊สมีสกุล เช่นโครงสร้างอิเล็กตรอนของ F เป็น  $1s^2 2s^2 2p^6$  ซึ่งเหมือนกับ Ne

#### 4) สภาพไฟฟ้าลกับฟังก์ชันพีริออดิก

ค่าสภาพไฟฟ้าล หรือค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตี (electronegativity) เรียกว่า “ค่า EN” คือ ค่าแสดงความสามารถของอะตอมในการดึงอิเล็กตรอนเข้าหาตัวเอง อำนาจในการดึงอิเล็กตรอนอาจเป็นได้ทั้งแบบสมบูรณ์ (complete transfer) คืออิเล็กตรอนถูกดึงไปยังอะตอมที่มีค่า EN สูงกว่าอย่างสิ้นเชิง (พันธะไอออนิก) หรือเป็นการดึงแบบบางส่วน (partial transfer) ซึ่งความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจะอยู่บริเวณอะตอมที่มีค่า EN สูงกว่า (พันธะโคเวเลนต์)

อะตอมที่มีค่า EN สูง แสดงว่าอะตอมนั้นดึงอิเล็กตรอนเข้าหาตัวเองได้ดี เรียกว่า พวกที่ชอบอิเล็กตรอน (อิเล็กโทรไฟล์, electrophile) ส่วนอะตอมที่มีค่า EN ต่ำ แสดงว่าความสามารถในการดึงอิเล็กตรอนน้อย อาจเรียกได้ว่า พวกชอบให้อิเล็กตรอน (นิวคลีโอไฟล์, nucleophile)

ตารางเปรียบเทียบค่า EN ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ตารางของพอลิง (Linus Carl Pauling) นักเคมีรางวัลโนเบลสาขาเคมี ในปี ค.ศ.1954 โดยคำนวณค่า EN จากพลังงานพันธะ แล้วได้กำหนดมาตราส่วนเปรียบเทียบค่า EN ของอะตอมต่าง ๆ เพื่อแสดงแนวโน้มในการรับอิเล็กตรอนของธาตุ โดยกำหนดให้ F มีค่า EN สูงที่สุดคือเท่ากับ 4.0 และ Fr มีค่า EN ต่ำสุดคือเท่ากับ 0.7 แสดงในภาพที่ 1.12



ภาพที่ 1.12 แนวโน้มค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีของพอลิง

ที่มา: Silberberg. Principle of General Chemistry. 2013. p294

#### แนวโน้มของค่า EN

1) ธาตุในหมู่เดียวกัน แนวโน้มของค่า EN ลดจากข้างบนลงมาข้างล่าง เนื่องจากอะตอมมีขนาดใหญ่ขึ้น ความสามารถในการดึงคู่อิเล็กตรอนลดน้อยลงไป

2) ธาตุในคาบเดียวกัน ค่า EN เพิ่มขึ้นจากทางซ้ายไปทางขวา เนื่องจากรัศมีของอะตอมลดลง ประจวบกับที่นิวเคลียสเพิ่มขึ้นตามเลขอะตอม นิวเคลียสของอะตอมเล็กดึงดูดอิเล็กตรอนได้ดีกว่าอะตอมใหญ่ ประกอบกับประจวบกับที่นิวเคลียสเพิ่มขึ้นด้วย

3) ธาตุหมู่ 7A (แฮโลเจน) มีค่า EN สูง ส่วนธาตุหมู่ 1A และ 2A มีค่า EN ต่ำ โดยที่ Cs และ Fr ซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสีหายาก มีค่าต่ำที่สุด

- 4) พวกธาตุแทรนซิชันมีค่า EN ใกล้เคียงกัน
- 5) พวกแก๊สมีสกุลมีค่า EN ไม่นั่นอน

### สรุปท้ายบทเรียน

อะตอมประกอบด้วยอนุภาคมูลฐาน 3 ชนิดประกอบด้วย อิเล็กตรอน (e) โปรตอน (p) และ นิวตรอน (n) เลขเชิงอะตอมคือตัวเลขที่แสดงจำนวนโปรตอนในนิวเคลียส อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า จะมีจำนวนโปรตอนเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน มวลเชิงอะตอม หรือเลขมวล คือตัวเลขที่แสดงจำนวนผลรวมระหว่างจำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอน โมเลกุล คือการรวมตัวของอะตอมอย่างน้อยสองอะตอมด้วยแรงดึงดูดทางเคมี โดยทั่วไปโมเลกุลอาจเป็นการรวมตัวของอะตอมของธาตุชนิดเดียวกัน หรืออะตอมของธาตุต่างชนิดกันมารวมกันด้วยอัตราส่วนที่แน่นอนตามกฎสัดส่วนคงตัว ไอออน คืออะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่มีประจุ ที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนโดยการให้หรือการรับอิเล็กตรอน แบ่งเป็นแคตไอออนและแอนไอออน

### วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

### สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

### กิจกรรมที่มอบหมาย

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 1.1
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

### การวัดผล

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

### แบบฝึกหัด

1. แบบฝึกหัด 1.1

### เอกสารอ้างอิง

- โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอน. (2557). *เคมี 3 (แก๊ส เทอร์โมไดนามิกส์ สมดุลเคมี ไฟฟ้าเคมี จลนศาสตร์เคมี)*. บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.
- รานี สุวรรณพฤกษ์. (2553). *เคมีทั่วไป สำหรับสาขาวิศวกรรมศาสตร์ เล่ม 1 (พิมพ์ครั้งที่ 3)*. บริษัทวิทย์พัฒน์ จำกัด.
- อภิสิษฐ์ สงเสสน, สรณนรินทร์ บังเกิดผล และอาทิตย์ สุกุลตันติเมธา. (2554). *เคมีทั่วไปสำหรับวิศวกร*. บริษัททริฟเพิ้ลกรุ๊ป จำกัด.
- อินทิตรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโกคา. (2554). *เคมีทั่วไป สำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง) (พิมพ์ครั้งที่ 9)*. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online ed.).  
<https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>
- Brown, L.S., & Holme, T.A. (2018). *Chemistry for Engineering Students* (4<sup>th</sup> ed.). Thomson Brook Cole.
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

# หน่วยที่ 1

## ปริมาณสัมพันธ์

### บทเรียนที่ 1.2 ปริมาณสัมพันธ์

#### จุดประสงค์

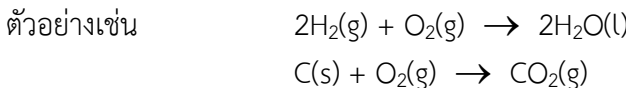
- อธิบายสมการเคมี
- คำนวณเกี่ยวกับโมล
- คำนวณผลผลิตร้อยละ

#### 1.2.1 สมการเคมี

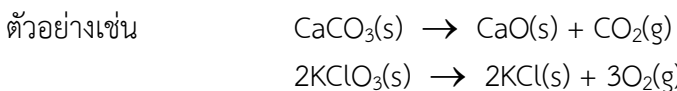
##### 1) ประเภทสมการเคมี

ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นเป็นสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจเกิดกลไกที่แตกต่างกัน

1.1) ปฏิกิริยาการรวมตัว (combination reaction) เป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากสารตั้งต้นสองชนิดมารวมตัวกันได้เป็นสารผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว รูปแบบทั่วไป คือ  $A + B \rightarrow AB$

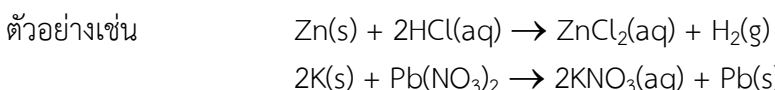


1.2) ปฏิกิริยาการสลายตัว (decomposition reaction) เป็นปฏิกิริยาที่สารตั้งต้นชนิดเดียวสลายตัวเป็นสารผลิตภัณฑ์สองชนิดขึ้นไป รูปแบบทั่วไป คือ  $AB \rightarrow A + B$



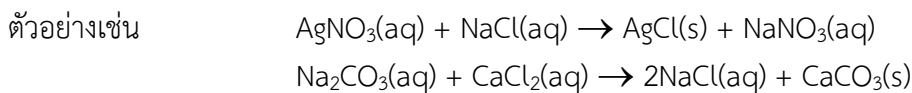
1.3) ปฏิกิริยาการแทนที่ (substitution reaction หรือ replacement reaction) เป็นปฏิกิริยาที่ธาตุชนิดหนึ่งเข้าไปแทนที่ธาตุหนึ่งในสารประกอบ ทำให้เปลี่ยนเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1.3.1) ปฏิกิริยาการแทนที่ครั้งเดียว (single replacement reaction) รูปแบบทั่วไป คือ  $AB + Y \rightarrow AY + B$

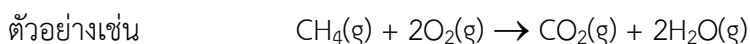
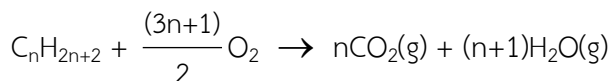


1.3.2) ปฏิกิริยาการแทนที่สองครั้ง (double replacement reaction) หรือปฏิกิริยาแลกเปลี่ยน (exchange reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากสารประกอบสองชนิดมาทำปฏิกิริยากัน แล้วเกิดการแลกเปลี่ยนอะตอมหรือกลุ่มอะตอมซึ่งกันและกัน ได้เป็นสารประกอบใหม่เกิดขึ้น รูปแบบทั่วไปคือ  $AX + BY \rightarrow AY + BX$

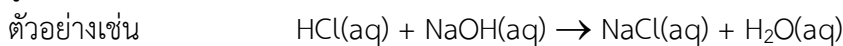
ปฏิกิริยาการแทนที่สองครั้งที่เกิดตะกอน เรียกว่า ปฏิกิริยาการตกตะกอน (precipitation reaction) เมื่อเกิดการแทนที่แล้วทำให้เกิดสารที่ไม่ละลายน้ำ



1.4) ปฏิกิริยาสันดาปหรือการเผาไหม้ (combustion reaction) เป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างสารประกอบกับออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) โดยจะการคายความร้อนหรือให้แสงสว่าง รูปแบบทั่วไปคือ

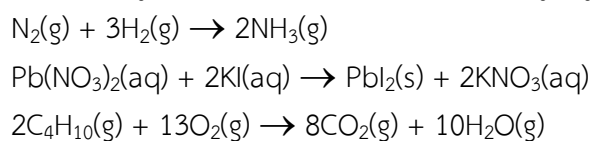


1.5) ปฏิกิริยาสะเทิน (neutralization reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากที่กรดทำปฏิกิริยากับเบสแล้วได้เป็นเกลือกับน้ำ เช่น กรด HCl ทำปฏิกิริยากับ NaOH ได้เกลือ NaCl กับ  $\text{H}_2\text{O}$  รูปแบบทั่วไปคือ กรด + เบส  $\rightarrow$  เกลือ + น้ำ



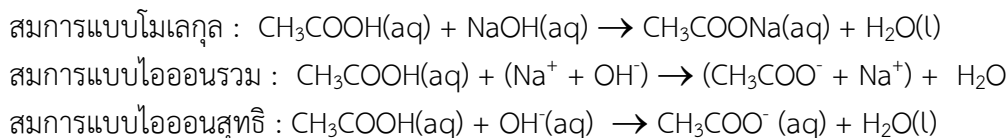
การเขียนสมการเคมีสามารถเขียนได้ 2 แบบ คือ

1) สมการแบบโมเลกุล (molecular equation) คือสมการเคมีที่แสดงสูตรเคมีของสารที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมีเป็นสูตรโมเลกุล โดยต้องเขียนทุกธาตุที่อยู่ในสูตรเคมีไว้ในสมการเคมี เช่น



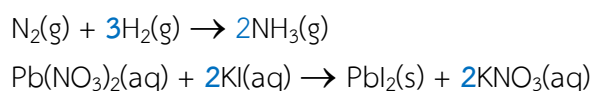
สมการแบบโมเลกุลที่สมบูรณ์จะต้องดุลให้จำนวนอะตอมทางซ้ายและทางขวาเท่ากัน

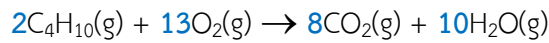
2) สมการแบบไอออน (ionic equation) คือสมการเคมีที่แสดงเป็นไอออน (แคตไอออนและแอนไอออน) เฉพาะที่เกี่ยวข้องหรือที่เกิดปฏิกิริยาเคมีเท่านั้น แต่ถ้าเขียนไอออนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมี เรียกว่า สมการไอออนรวม (total ionic equation) แต่ถ้าเขียนเฉพาะไอออนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเรียกว่า สมการไอออนสุทธิ (net ionic equation) เช่น



## 2) การดุลสมการเคมี

สมการเคมีนอกจากจะบอกชนิดของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์แล้ว ส่วนที่สำคัญของสมการเคมีคือเลขสัมประสิทธิ์จำนวนโมล (mole coefficient) ที่แสดงหน้าสูตรเคมีเพื่อบอกความสัมพันธ์เชิงโมลระหว่างสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ เช่น





เลขสัมประสิทธิ์จำนวนโมลของแต่ละปฏิกิริยาจะเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่ได้มาจากการดุลสมการเคมี มีความหมายเป็นจำนวนเท่าของสารนั้น

การดุลสมการเคมี (chemical balance) คือการเติมตัวเลขสัมประสิทธิ์จำนวนโมลหน้าสูตรเคมี เพื่อให้จำนวนอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันทั้งสองข้างสมการเท่ากัน

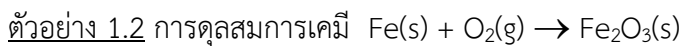
ขั้นตอนการดุลสมการเคมีไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัว ส่วนใหญ่ต้องอาศัยการสังเกตและทดลองเติมตัวเลขสัมประสิทธิ์จำนวนโมล อย่างไรก็ตาม แนวทางในการดุลสมการเคมี พอสรุปดังนี้

1) เขียนปฏิกิริยา (เขียนสูตรเคมีที่ถูกต้อง) โดยระบุสารตั้งต้นทั้งหมดไว้ด้านซ้ายและสารผลิตภัณฑ์ทั้งหมดไว้ทางขวาของลูกศร

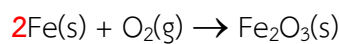
2) ดุลสมการเคมีโดยลองเติมตัวเลขสัมประสิทธิ์หน้าสูตรเคมีที่จะทำให้จำนวนอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันทั้งสองข้างของสมการเท่ากัน โดยเริ่มจาก

- ดุลอะตอมที่ไม่ใช่ H หรือ O ก่อน
- ดุลอะตอมธาตุที่เป็นโลหะแล้วตามด้วยอะตอมธาตุที่เป็นอโลหะ
- ดุลอะตอมธาตุ H หรือ O

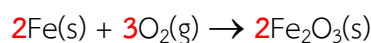
3) ตรวจสอบการเคมีที่ได้ดุลแล้ว จำนวนของอะตอมชนิดเดียวกันเท่ากันทั้งสองข้างสมการ



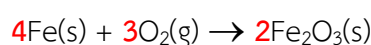
วิธีคิด ดุลที่อะตอมที่ไม่ใช่ H และ O ก่อน คือ Fe ซึ่งด้านซ้ายมี 1 อะตอม ด้านขวามี 2 อะตอม ดังนั้นต้องใส่เลขสัมประสิทธิ์ด้านซ้ายเป็น 2



ดุล O ซึ่งด้านซ้ายมี 2 ส่วนด้านขวามี 3 ให้เติม 3 หน้า  $\text{O}_2$  และเติม 2 หน้า  $\text{Fe}_2\text{O}_3$



แต่จะพบว่า Fe ไม่เท่ากัน ให้เพิ่ม Fe ให้เป็น 4 อะตอม



วิธีคิด ดุลที่อะตอมที่ไม่ใช่ H และ O ก่อน นั่นคือ Na  $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{O}_2$

ดุลอะตอม H (กรณีอะตอมถูกดุลแล้ว)  $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{O}_2$

ดุลอะตอม O  $\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{O}_2$

พบว่า H ทั้งสองข้างไม่เท่ากัน ดุลอีกครั้ง  $2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{NaOH} + \text{O}_2$



วิธีคิด ดุลอะตอม Al  $\text{Al}_4\text{C}_3 + \text{F}_2 \rightarrow 4\text{AlF}_3 + \text{CF}_4$

ดุลอะตอม F  $\text{Al}_4\text{C}_3 + 2\text{F}_2 \rightarrow 4\text{AlF}_3 + \text{CF}_4$

ดุลอะตอม C  $\text{Al}_4\text{C}_3 + 6\text{F}_2 \rightarrow 4\text{AlF}_3 + 3\text{CF}_4$

### 1.2.2 โมล

#### 1) นิยามของโมล

เนื่องจากอะตอมมีน้ำหนักเบามาก (1 amu เท่ากับ  $1.66 \times 10^{-24}$  กรัม) ซึ่งยากในทางปฏิบัติ ในปี ค.ศ.1896 ออสท์วาลด์ (Friedrich Wilhelm Ostwald) นักเคมีชาวเยอรมัน (ได้รับรางวัลโนเบล สาขาเคมี ในปี ค.ศ.1909) ได้เสนอคำว่า โมล (mole) ซึ่งมีรากศัพท์มาจากภาษาละตินแปลว่า “กอง” เพื่อใช้เป็นหน่วยในการบอกปริมาณสาร โดยให้คำจำกัดความว่า โมล คือ “ปริมาณสารที่มีจำนวนอนุภาคเท่ากับจำนวนอะตอม  $^{12}\text{C}$  ที่หนัก 12.0 กรัม” จากคำจำกัดความดังกล่าวถ้ารู้ว่า  $^{12}\text{C}$  ที่หนัก 12.0 กรัมมีจำนวนอะตอม  $^{12}\text{C}$  เท่าใดแล้ว สารใด ๆ ก็ตามที่มีจำนวนอะตอมเท่ากับ  $^{12}\text{C}$  ที่หนัก 12.0 กรัม จะมีปริมาณเท่ากับ 1 โมล

เมื่อ  $^{12}\text{C}$  1 อะตอม มีน้ำหนักเท่ากับ  $12.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$  กรัม ซึ่งสามารถคำนวณจำนวนอะตอมของ  $^{12}\text{C}$  ที่หนัก 12.0 กรัมได้ โดยสมมติให้  $^{12}\text{C}$  หนัก 12.0 กรัม มีจำนวนอะตอมเท่ากับ  $y$  อะตอม เมื่อเขียนในรูปอัตราส่วนระหว่างจำนวนอะตอมกับน้ำหนักเป็นกรัม จะได้

$$\frac{\text{C 1 atom}}{12.0 \text{ g} \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}} = \frac{\text{C } y \text{ atoms}}{12.0 \text{ g}}$$
$$\text{C } y \text{ atoms} = \frac{\text{C 1 atom} \times 12.0 \text{ g}}{12.0 \text{ g} \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}}$$
$$= 6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}$$

ดังนั้น  $^{12}\text{C}$  หนัก 12.0 กรัมมีจำนวนอะตอมเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม หรือในทำนองเดียวกัน  $^{16}\text{O}$  ที่หนักเท่ากับ 16.0 กรัม

$$\text{O } y \text{ atoms} = \frac{\text{O 1 atom} \times 16.0 \text{ g}}{16.0 \text{ g} \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}}$$
$$= 6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}$$

ดังนั้น  $^{16}\text{O}$  หนัก 16.0 กรัม มีจำนวนอะตอมเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม

ดังนั้น แสดงว่า  $^{12}\text{C}$  ที่หนัก 12.0 กรัม จะประกอบด้วยอะตอมเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม หรือ  $^{16}\text{O}$  ที่หนัก 16.0 กรัม จะประกอบด้วยอะตอมเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอมเช่นกัน เมื่อพิจารณาอะตอมของธาตุชนิดอื่น ๆ จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน

สรุปได้ว่า ธาตุใด ๆ ที่มีน้ำหนักเท่ากับมวลอะตอมของธาตุนั้น จะมีจำนวนอะตอมเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม ดังนั้นจึงได้กำหนดนิยามของโมลที่เกี่ยวข้องกับจำนวนอะตอมคือ

“1 โมลของธาตุใด ๆ ประกอบด้วยปริมาณของธาตุนั้นจำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม”

แต่เพื่อให้ใช้ได้อย่างกว้างขวางกับอนุภาคทั้งหมดของสาร จึงใช้จำนวนอนุภาคแทนจำนวนอะตอม ดังนั้น นิยามของโมลโดยรวมจะให้คำจำกัดความได้เป็น

“สารใด ๆ 1 โมลประกอบด้วยปริมาณของสารที่มีจำนวนอนุภาคเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อนุภาค”

ตัวเลข  $6.02 \times 10^{23}$  เรียกว่า “เลขอาโวกาโดร” (Avogadro’s number) เพื่อเป็นเกียรติแก่นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลีที่ชื่อ อาโวกาโดร (Amedeo Avogadro, ค.ศ.1776-1856) เลขอาโวกาโดรที่ถูกต้องและยอมรับกันในปัจจุบันคือ  $6.0221367 \times 10^{23}$  แต่อนุโลมให้ใช้  $6.02 \times 10^{23}$  แทนได้

## 2) ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับน้ำหนักสาร

จากนิยามโมลจะพบว่า สารใด ๆ 1 โมลประกอบด้วยปริมาณของสารที่มีจำนวนอนุภาคเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อนุภาค (อะตอม โมเลกุล หรือไอออน) ดังนั้นในการบอกปริมาณของสารเป็นโมลจึงต้องระบุชนิดของอนุภาคด้วย เช่น

ถ้าอนุภาค คือ อะตอม เรียกว่า โมลอะตอม เช่น C 1 โมลอะตอม มีจำนวนอะตอม C เท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม

ถ้าอนุภาค คือ โมเลกุล เรียกว่า โมลโมเลกุล เช่น  $O_2$  1 โมลโมเลกุล มีจำนวนโมเลกุล  $O_2$  เท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล

ถ้าอนุภาค คือ ไอออน เรียกว่า โมลไอออน เช่น  $Ca^{2+}$  1 โมลไอออน มีจำนวนไอออน  $Ca^{2+}$  เท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  ไอออน

แต่โดยทั่วไปการบอกหน่วยปริมาณสารเป็นโมล มักไม่ได้บอกถึงชนิดอนุภาคสารนั้น ดังนั้นจำเป็นต้องรู้ว่าสารนั้นเป็นอะตอม โมเลกุล หรือไอออน เช่น ถ้าเป็นสารประกอบหรือโมเลกุลจะหมายถึง โมลโมเลกุล แต่ถ้าเป็นธาตุอิสระจะหมายถึงโมลอะตอม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การเรียกหน่วยปริมาณสารจะเรียก โมล เท่านั้น

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับน้ำหนักของอนุภาคสารที่เป็นอะตอม โมเลกุล หรือไอออน แสดงในตารางที่ 1.11, 1.12 และ 1.13 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าน้ำหนักของอนุภาคจำนวน 1 โมลจะเท่ากับมวลอะตอม มวลโมเลกุล หรือมวลไอออน แล้วแต่กรณี

ตารางที่ 1.11 น้ำหนักของธาตุจำนวน 1 โมล

ธาตุ	มวลอะตอม	น้ำหนักของธาตุ 1 อะตอม (กรัม)	น้ำหนักของธาตุ จำนวน 1 โมล (กรัม)
Na	23.0	$23.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (23.0 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 23.0$
He	4.00	$4.00 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (4.00 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 4.00$
N	14.0	$14.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (14.0 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 14.0$
Fe	55.8	$55.8 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (55.8 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 55.8$
S	32.0	$32.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (32.0 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 32.0$
P	31.0	$31.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (31.0 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 31.0$

ตารางที่ 1.12 น้ำหนักของสารประกอบหรือโมเลกุลจำนวน 1 โมล

โมเลกุล	มวลโมเลกุล	น้ำหนักของสาร 1 โมเลกุล (กรัม)	น้ำหนักของโมเลกุลสาร จำนวน 1 โมล (กรัม)
$N_2$	28.0	$28.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (28.0 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 28.0$
$CO_2$	44.0	$44.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (44.0 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 44.0$
$SO_2$	64.0	$64.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (64.0 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 64.0$
$H_2O$	18.0	$18.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (18.0 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 18.0$
$HNO_3$	63.0	$63.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (63.0 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 63.0$

ตารางที่ 1.13 น้ำหนักของไอออนจำนวน 1 โมล

ไอออน	มวลไอออน	น้ำหนักของไอออน 1 ไอออน (กรัม)	น้ำหนักของไอออน จำนวน 1 โมล (กรัม)
Na <sup>+</sup>	23.0	$23.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (23.0 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 23.0$
Fe <sup>3+</sup>	55.8	$55.8 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (55.8 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 55.8$
F <sup>-</sup>	19.0	$19.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (19.0 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 19.0$
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	96.0	$96.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (96.0 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 96.0$
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	97.0	$97.0 \times 1.66 \times 10^{-24}$	$(6.02 \times 10^{23}) \times (97.0 \times 1.66 \times 10^{-24}) = 97.0$

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับน้ำหนักสาร (อะตอม โมเลกุล หรือไอออน) สรุปได้ดังนี้

- ธาตุใด ๆ จำนวน 1 โมล มีน้ำหนัก (กรัม) เท่ากับมวลอะตอมของธาตุนั้น เช่น
  - ธาตุแมกนีเซียม (Mg) 1 โมล (หรือ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม) มีน้ำหนักเท่ากับ 24.3 กรัม
  - ธาตุออกซิเจน (O) 1 โมล (หรือ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม) มีน้ำหนักเท่ากับ 16.0 กรัม
- สารประกอบใด ๆ จำนวน 1 โมล มีน้ำหนัก (กรัม) เท่ากับมวลโมเลกุลของสารประกอบนั้น

เช่น

- แก๊สคลอรีน (Cl<sub>2</sub>) 1 โมล (หรือ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม) มีน้ำหนักเท่ากับ 71.0 กรัม
- แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) 1 โมล (หรือ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม) มีน้ำหนักเท่ากับ

44.0 กรัม

- ไอออนใด ๆ จำนวน 1 โมล จะมีน้ำหนัก (กรัม) เท่ากับมวลไอออนของไอออนนั้น เช่น
    - ซัลเฟตไอออน (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 1 โมล (หรือ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม) มีน้ำหนักเท่ากับ 96.0 กรัม
    - คลอไรด์ไอออน (Cl<sup>-</sup>) 1 โมล (หรือ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม) มีน้ำหนักเท่ากับ 35.5 กรัม
- การคำนวณหาจำนวนโมลของสารใด ๆ จากน้ำหนักสาร หาได้โดยใช้สูตรทั่วไปดังนี้

$$n = \frac{g}{MM} \quad \dots(1.1)$$

เมื่อ  $n$  = จำนวนโมล (mol)

$g$  = น้ำหนักของสาร (g)

$MM$  = มวลต่อโมล (g/mol)

ตัวอย่าง 1.5 การคำนวณจำนวนโมลของปริมาณสารต่อไปนี้

ก) สังกะสี (Zn)หนัก 22.5 กรัม

$$\text{mol Zn} = \frac{22.5 \text{ g}}{65.4 \text{ g/mol}} = 0.344 \text{ mol}$$

ข) แก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl)หนัก 10.0 กรัม

$$\text{mol HCl} = \frac{10.0 \text{ g}}{36.5 \text{ g/mol}} = 0.274 \text{ mol}$$

ค) ซัลเฟตไอออน (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)หนัก 40.2 กรัม

$$\text{mol SO}_4^{2-} = \frac{40.2 \text{ g}}{96.0 \text{ g/mol}} = 0.42 \text{ mol}$$

**ตัวอย่าง 1.6** การคำนวณจำนวนอนุภาคของปริมาณสารต่อไปนี้

ก) สังกะสี (Zn) น้ก 22.5 กรัม

คำนวณจำนวนโมล = 0.344 โมล (จากตัวอย่าง 1.5 ก)

จาก Zn 1 โมล จะมี Zn =  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม

$$\text{ถ้า Zn } 0.344 \text{ โมล จะมี Zn} = \frac{(0.344 \text{ mol})(6.20 \times 10^{23})}{1} = 2.07 \times 10^{23} \text{ อะตอม}$$

ข) แก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) น้ก 10.0 กรัม

คำนวณจำนวนโมล = 0.274 โมล (จากตัวอย่าง 1.5 ข)

จาก HCl 1 โมล จะมี HCl =  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล

$$\text{ถ้า HCl } 0.274 \text{ โมล จะมี HCl} = \frac{(0.274 \text{ mol})(6.20 \times 10^{23})}{1} = 1.65 \times 10^{23} \text{ โมเลกุล}$$

ค) ซัลเฟตไอออน ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) น้ก 40.2 กรัม

คำนวณจำนวนโมล = 0.42 โมล (จากตัวอย่าง 1.5 ค)

จาก  $\text{SO}_4^{2-}$  1 โมล จะมี  $\text{SO}_4^{2-}$  =  $6.02 \times 10^{23}$  ไอออน

$$\text{ถ้า } \text{SO}_4^{2-} \text{ } 0.42 \text{ โมล จะมี } \text{SO}_4^{2-} = \frac{(0.42 \text{ mol})(6.20 \times 10^{23})}{1} = 2.53 \times 10^{23} \text{ ไอออน}$$

**3) ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับปริมาตรของแก๊ส**

ความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับปริมาตรจะคิดเฉพาะสารที่มีสถานะแก๊สเท่านั้น ปริมาตรของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความดัน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบปริมาตรของแก๊สต่าง ๆ จึงต้องมีการกำหนดอุณหภูมิและความดันเพื่อเป็นมาตรฐาน นักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดอุณหภูมิที่  $0^\circ\text{C}$  และความดัน 1 บรรยากาศ (atm) เป็นสภาวะมาตรฐาน (Standard Temperature and Pressure) เรียกว่า STP

จากสมมติฐานของอโวกาโดรที่ว่า “ภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกัน แก๊สที่มีจำนวนโมเลกุลเท่ากันจะมีปริมาตรเท่ากัน” ซึ่งจากความสัมพันธ์ของโมลกับจำนวนโมเลกุลที่ว่า “สารประกอบใด ๆ จำนวน 1 โมล จะประกอบด้วยจำนวนโมเลกุลของสารนั้นเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล” ดังนั้น ปริมาตรของแก๊สจึงควรมีความสัมพันธ์กับจำนวนโมลด้วย นักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊สกับจำนวนโมลของแก๊สที่ STP ได้ผลดังข้อมูลในตารางที่ 1.14

**ตารางที่ 1.14** การทดลองหาปริมาตรของแก๊สต่อจำนวนโมลของแก๊สบางชนิดที่ STP

แก๊ส	น้ำหนักของแก๊สที่ใช้ (กรัม/ลิตร)	น้ำหนักของแก๊สจำนวน 1 โมล (กรัม)	ปริมาตรต่อโมล ของแก๊ส (ลิตร)
O <sub>2</sub>	1.43	32.0	22.4
N <sub>2</sub>	1.25	28.0	22.4
CO	1.24	28.0	22.5
CO <sub>2</sub>	1.97	44.0	22.3
		เฉลี่ย	22.4

จากผลการทดลองสรุปเป็นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลและปริมาตรของแก๊ส คือ “แก๊สใด ๆ จำนวน 1 โมล จะมีปริมาตร 22.4 ลิตร ที่ STP”

ดังนั้น สารใด ๆ ในสถานะแก๊ส ไม่ว่าโมเลกุลขนาดใหญ่ (มวลโมเลกุลมาก) หรือขนาดเล็ก (มวลโมเลกุลน้อย) เมื่อมีจำนวนเท่ากับ 1 โมล จะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลิตร ที่ STP เสมอ เช่น แก๊ส  $O_2$  1 โมล (มีน้ำหนัก 32.0 กรัม) จะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลิตร ที่ STP แก๊ส  $CO_2$  1 โมล (มีน้ำหนัก 44.0 กรัม) จะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลิตร ที่ STP ไออน้ำ ( $H_2O$ ) 1 โมล (มีน้ำหนัก 18.0 กรัม) จะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลิตร ที่ STP การคำนวณหาจำนวนโมลของแก๊ส จากปริมาตรของแก๊สที่ STP โดยใช้สมการทั่วไปดังนี้

$$n = \frac{V}{22.4} \quad \dots(1.2)$$

เมื่อ  $n$  = จำนวนโมล (mol)  
 $V$  = ปริมาตรของแก๊สที่ STP (L)

**ตัวอย่าง 1.7** การคำนวณหาจำนวนโมลของแก๊สต่อไปนี้อยู่ที่ STP

ก) แก๊ส  $O_2$  100 ลิตร

$$\text{mol } O_2 = \frac{100 \text{ L}}{22.4 \text{ L}} = 4.46 \text{ mol}$$

ดังนั้น แก๊ส  $O_2$  ปริมาตร 100 ลิตร เท่ากับ 4.46 โมล

ข) แก๊ส  $NO_2$  1 ลิตร

$$\text{mol } NO_2 = \frac{1 \text{ L}}{22.4 \text{ L}} = 0.045 \text{ mol}$$

ดังนั้น แก๊ส  $NO_2$  ปริมาตร 1 ลิตร เท่ากับ 0.045 โมล

**ตัวอย่าง 1.8** แก๊ส  $O_2$  100 กรัม มีปริมาตรกี่ลิตรที่ STP

**วิธีคิด** คำนวณหาจำนวนโมลของ  $O_2$  แล้วจึงหาปริมาตรจากจำนวนโมล

$$\text{mol } O_2 = \frac{100 \text{ g}}{32.0 \text{ g/mol}} = 3.12 \text{ mol}$$

ดังนั้น แก๊ส  $O_2$  100 g คิดเป็น 3.12 mol

จาก  $O_2$  1 mol มีปริมาตร = 22.4 L ที่ STP

$$\text{ถ้ามี } O_2 \text{ 3.125 mol จะมีปริมาตร} = \frac{(3.125 \text{ mol})(22.4 \text{ L})}{1 \text{ mol}} = 69.9 \text{ L}$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับน้ำหนัก อนุภาคสาร (อะตอม โมเลกุล หรือไอออน) และปริมาตรของแก๊ส สรุปได้ว่า

1 โมลของสารใด ๆ จะมีจำนวนอนุภาค เท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อนุภาค (อะตอม โมเลกุล หรือไอออน)

1 โมลของสารใด ๆ จะมีน้ำหนัก (เป็นกรัม) เท่ากับ มวลต่อโมล (มวลอะตอม มวลโมเลกุล หรือมวลไอออน)

1 โมลของแก๊สใด ๆ จะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลิตร ที่ STP

ตัวอย่างเช่น โมเลกุลของ  $H_2O$  1 โมลในสถานะแก๊ส ที่ STP

จำนวนอนุภาค (โมเลกุล) ของ $H_2O$	=	$6.02 \times 10^{23}$ โมเลกุล
น้ำหนักของ $H_2O$	=	18.0 กรัม
ปริมาตรของไอน้ำ	=	22.4 ลิตร

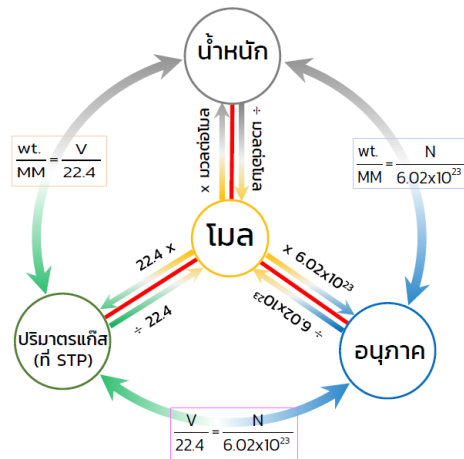
จากความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ จะพบว่า  $H_2O$   $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล จะหนัก 18.0 กรัม และถ้าวัดปริมาตรของไอน้ำจะได้ 22.4 ลิตร ที่ STP

ตารางที่ 1.15 จำนวนอนุภาค น้ำหนัก และปริมาตรของสารบางชนิดจำนวน 1 โมล

สาร	สถานะ	จำนวนอนุภาค	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาตร (ที่ STP)
$O_2$	แก๊ส	$6.02 \times 10^{23}$	32.0	22.4 L
CO	แก๊ส	$6.02 \times 10^{23}$	28.0	22.4 L
$C_2H_2$	แก๊ส	$6.02 \times 10^{23}$	28.0	22.4 L
$CH_3OH$	ของเหลว	$6.02 \times 10^{23}$	32.0	-
$H_2O$	ของเหลว	$6.02 \times 10^{23}$	18.0	-
Hg	ของเหลว	$6.02 \times 10^{23}$	200.6	-
$C_6H_{12}O_6$	ของแข็ง	$6.02 \times 10^{23}$	180.0	-
Na	ของแข็ง	$6.02 \times 10^{23}$	23.0	-
$C_{10}H_8$	ของแข็ง	$6.02 \times 10^{23}$	128.0	-

จากตารางที่ 1.15 สรุปได้ว่าสารต่างชนิดกันเมื่อจำนวนโมลเท่ากันจะมีจำนวนอนุภาคเท่ากัน และมีปริมาตรในกรณีแก๊ส แต่จะมีน้ำหนักไม่เท่ากัน (ยกเว้นกรณีที่สารเหล่านั้นมีมวลโมเลกุลเท่ากัน เช่น  $O_2$  กับ  $CH_3OH$  หรือ CO กับ  $C_2H_2$  จะมีน้ำหนักเท่ากันด้วย)

การคำนวณปริมาณสัมพันธ์ของสารโดยความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับน้ำหนัก จำนวนอนุภาค และปริมาตรของแก๊ส สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ที่เรียกว่า สามเหลี่ยมโมล (triangle mole) ดังภาพที่ 1.13



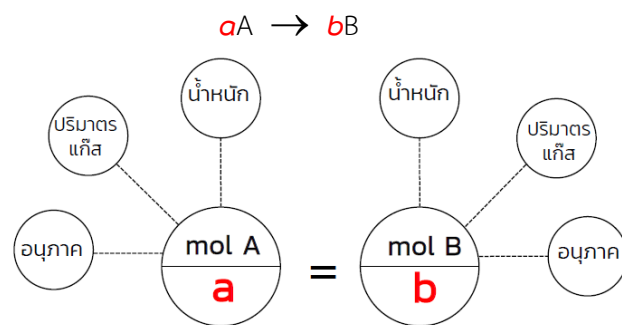
ภาพที่ 1.13 สามเหลี่ยมโมลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับน้ำหนัก จำนวนอนุภาค และปริมาตรของแก๊ส

#### 4) การคำนวณปริมาณสัมพันธ์

สมการเคมีที่ดุลแล้วแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารต่าง ๆ ในปฏิกิริยาเคมี โดยจะพิจารณาอัตราส่วนจำนวนโมลของสารทั้งหมดในปฏิกิริยาเคมีเป็นสำคัญ ส่วนจะเปลี่ยนเป็นปริมาณใด ไม่ว่าจะเป็นน้ำหนัก จำนวนอนุภาค หรือปริมาตรแก๊สที่ STP นั้น สามารถคำนวณโดยอาศัยสามเหลี่ยมโมล

การคำนวณที่เกี่ยวกับปริมาณอาจทำได้หลายวิธี และแต่ละวิธีอาจมีขั้นตอนแตกต่างกันออกไปบ้าง แต่หลักสำคัญที่เหมือนกันคืออัตราส่วนจำนวนโมลของสารในปฏิกิริยาเคมี เป็นตัวที่ใช้ในการคำนวณปริมาณต่าง ๆ ในสมการเคมี วิธีการคำนวณอย่างง่ายโดยตัดแปลงจากความสัมพันธ์เชิงโมลโดยอาศัยสามเหลี่ยมโมล ดังนี้

สมมติ พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสาร A และ B ที่มีสัมประสิทธิ์จำนวนโมลเป็น a และ b ตามลำดับ



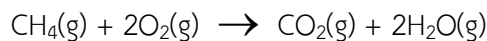
ภาพที่ 1.14 แนวคิดการคำนวณปริมาณสัมพันธ์โดยวิธีโมลสัมพันธ์

จากสมการเคมี และภาพที่ 1.14 สรุปเป็นวิธีการคำนวณปริมาณสัมพันธ์ได้ดังนี้

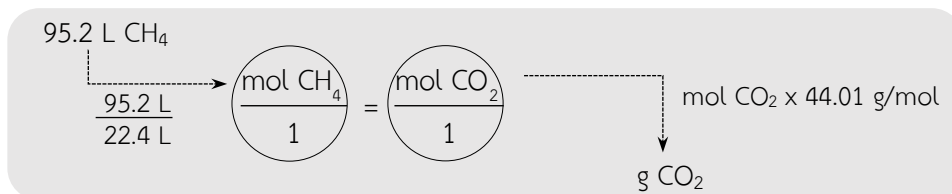
- 1) เขียนสมการเคมีที่ดุลแล้ว พิจารณาข้อมูลจากโจทย์ สารตัวใดเป็นข้อมูลที่โจทย์กำหนด และที่โจทย์ต้องการถาม ในที่นี้ยกตัวอย่าง A เป็นสารที่โจทย์กำหนดปริมาณอย่างหนึ่งอย่างใด (น้ำหนัก หรือปริมาตรแก๊สที่ STP หรือ อนุภาค) มาให้ ส่วนสาร B โจทย์ต้องการหาปริมาณอย่างหนึ่งอย่างใด (น้ำหนัก หรือปริมาตรแก๊สที่ STP หรือ อนุภาค)

- 2) ให้เขียนโมลของสาร A ส่วนด้วยสัมประสิทธิ์จำนวนโมลของสาร A ไว้ในวงกลมซ้าย และเขียนโมลของสาร B ส่วนด้วยสัมประสิทธิ์จำนวนโมลของสาร B ไว้ในวงกลมขวา (ดังภาพที่ 1.14)
- 3) คำนวณโมลของสาร A จากปริมาณอย่างหนึ่งอย่างใด โดยอาศัยสามเหลี่ยมโมล
- 4) ย้ายสมการ เพื่อหาโมลของสาร B โดยย้ายสัมประสิทธิ์จำนวนโมล (b) ไปคูณด้านตรงข้าม ซึ่ง อัตราส่วน  $b/a$  ก็คือ อัตราส่วนจำนวนโมลนั่นเอง
- 5) คำนวณปริมาณอย่างหนึ่งอย่างใด (น้ำหนัก หรือปริมาตรแก๊สที่ STP หรือ อนุภาค) ของสาร B ตามที่โจทย์ต้องการทราบโดยอาศัยสามเหลี่ยมโมล

**ตัวอย่าง 1.9** เมื่อต้องการเผาไหม้แก๊ส  $\text{CH}_4$  ปริมาตร 95.2 ลิตร ให้สมบูรณ์ ที่ STP ถ้าใช้  $\text{O}_2$  มากเกินไป จะเกิดแก๊ส  $\text{CO}_2$  กี่กรัม ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นดังนี้



**วิธีคิด** จากโจทย์กำหนดปริมาตรของแก๊ส  $\text{CH}_4$  มาให้ และต้องการทราบน้ำหนักของ  $\text{CO}_2$  เมื่อนำแนวคิดภาพที่ 1.14 มาใช้จะได้ดังนี้



$$\frac{95.2 \text{ L CH}_4}{22.4 \text{ L}} \times \frac{\text{mol CH}_4}{1} = \frac{\text{mol CO}_2}{1}$$

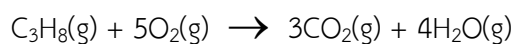
$$4.25 \text{ mol CH}_4 = \text{mol CO}_2$$

$$\text{mol CO}_2 = 4.25 \text{ mol}$$

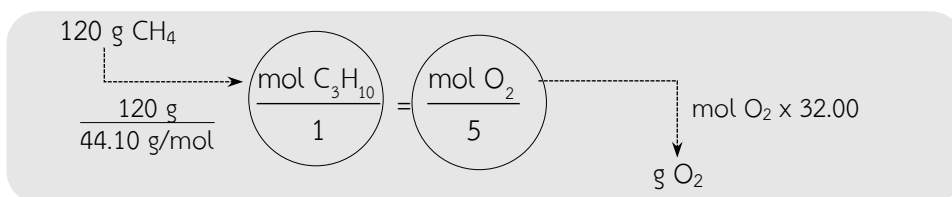
$$\text{g CO}_2 = 4.25 \text{ mol} \times 44.01 \text{ g/mol} = 187.0 \text{ g}$$

ดังนั้น จะเกิดแก๊ส  $\text{CO}_2$  เท่ากับ 187.0 กรัม

**ตัวอย่าง 1.10** จงคำนวณน้ำหนักเป็นกรัมของแก๊ส  $\text{O}_2$  อย่างน้อยที่สุดที่ใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊ส  $\text{C}_3\text{H}_8$  จำนวน 120 กรัม จนสมบูรณ์ ดังปฏิกิริยา



**วิธีคิด** จากโจทย์กำหนดน้ำหนักของแก๊ส  $\text{C}_3\text{H}_8$  มาให้ และต้องการทราบน้ำหนักของ  $\text{O}_2$  เมื่อนำแนวคิดภาพที่ 1.14 มาใช้จะได้ดังนี้



$$\frac{2.72 \text{ mol C}_3\text{H}_{10}}{1} = \frac{\text{mol O}_2}{5}$$

$$\text{mol O}_2 = 5 \times 2.72 \text{ mol} = 13.6 \text{ mol}$$

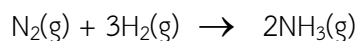
$$\begin{aligned} \text{g O}_2 &= 13.6 \text{ mol} \times 32.00 \text{ g/mol} \\ &= 435.2 \text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น จะต้องใช้แก๊ส O<sub>2</sub> อย่างน้อย 435.2 กรัม

จากตัวอย่าง 1.9 และ 1.10 เมื่อกำหนดอัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์จำนวนโมลของสารทั้งสองสารที่จะพิจารณาปริมาณสัมพันธ์ และคำนวณจำนวนโมลของสารใดสารหนึ่งได้จากสามเหลี่ยมโมล จะสามารถคำนวณจำนวนโมลของอีกสารหนึ่งได้โดยการย้ายข้างสมการของเลขสัมประสิทธิ์จำนวนโมล แล้วจึงคำนวณปริมาณสารโดยอาศัยสามเหลี่ยมโมล ซึ่งวิธีนี้จะค่อนข้างคำนวณง่าย

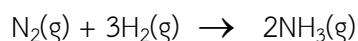
จะเห็นว่าวิธีคำนวณปริมาณสัมพันธ์ที่กล่าวมาข้างต้น เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับปริมาณสารต่าง ๆ ในปฏิกิริยาเคมี ซึ่งอาจพิจารณาได้ดังนี้

1) ความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับโมล เป็นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของสารใดสารหนึ่งกับจำนวนโมลของสารอีกสารหนึ่ง เรียกว่า อัตราส่วนจำนวนโมล (mole ratio) โดยต้องพิจารณาจากสมการเคมีที่ดุลแล้ว เช่นปฏิกิริยา



อัตราส่วนจำนวนโมลของ N<sub>2</sub> ทำปฏิกิริยาพอดีกับ H<sub>2</sub> เท่ากับ 1:3 หมายความว่าในปฏิกิริยาดังกล่าว N<sub>2</sub> จำนวน 1 โมลทำปฏิกิริยาพอดีกับ H<sub>2</sub> จำนวน 3 โมล เกิดผลิตภัณฑ์ NH<sub>3</sub> จำนวน 2 โมล โดย

2) ความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับปริมาณสาร เป็นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับน้ำหนักปริมาตรแก๊สที่ STP และ จำนวนอนุภาค วิธีเปลี่ยนความสัมพันธ์แสดงดังตารางที่ 1.16 เช่นปฏิกิริยา



ถ้าสมมติ ใช้ N<sub>2</sub> 50.0 กรัม ทำปฏิกิริยากับ H<sub>2</sub> ที่มากเกินไป เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้โดยอาศัยอัตราส่วนจำนวนโมลและความสัมพันธ์โมลกับน้ำหนักดังนี้

$$n_{\text{N}_2} = \frac{50.0 \text{ g N}_2}{28.02 \text{ g/mol}} = 1.78 \text{ mol N}_2$$

$$\text{อัตราส่วนจำนวนโมล NH}_3 \text{ ต่อ N}_2 = \frac{2 \text{ mol NH}_3}{1 \text{ mol N}_2}$$

$$\text{g NH}_3 = \text{mol NH}_3 \times 17.03 \text{ g/mol}$$

ดังนั้น การคำนวณน้ำหนัก NH<sub>3</sub> ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะสัมพันธ์กับอัตราส่วนจำนวนโมล NH<sub>3</sub> ต่อ N<sub>2</sub> และจำนวนโมลของ N<sub>2</sub> ที่ใช้

$$\text{g NH}_3 = 50.0 \text{ g N}_2 \times \left( \frac{1 \text{ mol N}_2}{28.02 \text{ g/mol N}_2} \right) \left( \frac{2 \text{ mol NH}_3}{1 \text{ mol N}_2} \right) \left( \frac{17.03 \text{ g NH}_3}{1 \text{ mol NH}_3} \right) = 60.78 \text{ g}$$

การคำนวณวิธีนี้เรียกว่า วิธีแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย (conversion factor) เป็นการคำนวณโดยอาศัยแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับน้ำหนัก จำนวนอนุภาค และปริมาตรของแก๊สที่ STP ดังตารางที่ 1.16

ตารางที่ 1.16 แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยเกี่ยวกับการคำนวณที่สัมพันธ์กับจำนวนโมล

ความสัมพันธ์	แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย
โมลกับน้ำหนัก	$\frac{1 \text{ mol}}{\text{MM (g)}}$ หรือ $\frac{\text{MM (g)}}{1 \text{ mol}}$
โมลกับจำนวนอนุภาค	$\frac{1 \text{ mol}}{6.02 \times 10^{23} \text{ อนุภาค}}$ หรือ $\frac{6.02 \times 10^{23} \text{ อนุภาค}}{1 \text{ mol}}$
โมลกับปริมาตรของแก๊ส (ที่ STP)	$\frac{1 \text{ mol}}{22.4 \text{ L}}$ หรือ $\frac{22.4 \text{ L}}{1 \text{ mol}}$

วิธีการเทียบหน่วยจะอาศัยแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยของแต่ละความสัมพันธ์เทียบหน่วยที่ต้องการหา เช่น ถ้าต้องการทราบว่า เหล็ก (Fe) 10.0 กรัมมีกี่โมล แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย คือ โมลกับน้ำหนัก จากตารางที่ 1.16 จะมีแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย  $\frac{1 \text{ mol}}{\text{MM}}$  และ  $\frac{\text{MM}}{1 \text{ mol}}$  ดังนั้น การเลือกแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยในการคำนวณจะต้องเลือกแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่มีตัวส่วนเหมือนกับหน่วยของตัวแปรที่โจทย์กำหนด กรณีนี้การคำนวณจะได้

$$n_{\text{Fe}} = 10.0 \text{ g Fe} \times \left( \frac{1 \text{ mol Fe}}{55.84 \text{ g Fe}} \right) = 0.179 \text{ mol}$$

แต่ถ้าต้องการทราบว่า เหล็ก 10.0 กรัม มีอะตอมเหล็กกี่อะตอม จากตารางที่ 1.16 จะไม่มีแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยระหว่างน้ำหนักกับอนุภาค (อะตอม) โดยตรง ดังนั้น จึงต้องใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย 2 ส่วนผสมกัน คือ แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยโมลกับน้ำหนัก และโมลกับจำนวนอนุภาค ต่อเนื่องกัน คือ

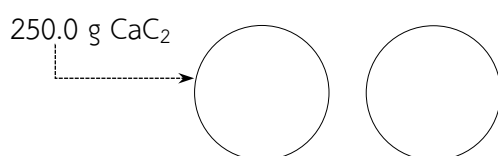
$$\begin{aligned} \text{อะตอมของ Fe} &= 10.0 \text{ g Fe} \times \left( \frac{1 \text{ mol Fe}}{55.84 \text{ g Fe}} \right) \left( \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms Fe}}{1 \text{ mol Fe}} \right) \\ &= 3.34 \times 10^{24} \text{ อะตอม} \end{aligned}$$

**ตัวอย่าง 1.11** ปฏิกิริยา  $\text{CaC}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) + \text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$  ถ้าใช้  $\text{CaC}_2$  250.0 กรัม ทำปฏิกิริยากับน้ำที่มีปริมาณมากเกินพอ จงคำนวณหา  $\text{C}_2\text{H}_2$  เกิดขึ้นได้มากที่สุดกี่กรัม

**วิธีคิด**

**วิธีโมลสัมพันธ์**

โจทย์กำหนดน้ำหนัก  $\text{CaC}_2$  มาให้ และต้องการทราบน้ำหนักของ  $\text{C}_2\text{H}_2$  เมื่อนำแนวคิดภาพที่ 1.14 มาใช้จะได้ดังนี้



$$\frac{250.0 \text{ g}}{64.10 \text{ g/mol}} \frac{\text{mol CaC}_2}{1} = \frac{\text{mol C}_2\text{H}_2}{1}$$

$\swarrow$   
 $\text{mol C}_2\text{H}_2 \times 26.04$   
 $\downarrow$   
 $\text{g C}_2\text{H}_2$

$$\frac{3.90 \text{ mol CaC}_2}{1} = \frac{\text{mol C}_2\text{H}_2}{1}$$

$$\text{mol C}_2\text{H}_2 = 3.90 \text{ mol}$$

$$\text{g C}_2\text{H}_2 = 3.90 \text{ mol} \times 26.04 \text{ g/mol} = 101.6 \text{ g}$$

### วิธีแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย

$$\text{g C}_2\text{H}_2 = 250.0 \text{ g CaC}_2 \times \left( \frac{1 \text{ mol CaC}_2}{64.10 \text{ g CaC}_2} \right) \left( \frac{1 \text{ mol C}_2\text{H}_2}{1 \text{ mol CaC}_2} \right) \left( \frac{26.04 \text{ g C}_2\text{H}_2}{1 \text{ mol C}_2\text{H}_2} \right)$$

$$= 101.6 \text{ g}$$

ดังนั้น จะเกิดแก๊ส C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> เท่ากับ 101.56 กรัม

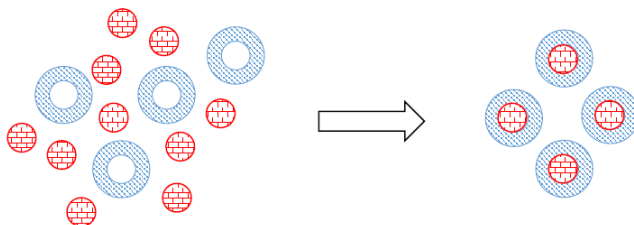
### 1.2.3 ผลผลิตร้อยละ

#### 1) สารกำหนดปริมาณ

การเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีสารตั้งต้นตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ถ้าสารตั้งต้นแต่ละชนิดมีปริมาณเท่ากัน จะทำปฏิกิริยากันหมดพอดี การคำนวณหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะสามารถคำนวณจากสารตั้งต้นตัวใดก็ได้ แต่ถ้าสารตั้งต้นที่ใช้ทำปฏิกิริยากันมีปริมาณไม่เท่ากัน สารที่มีปริมาณน้อยกว่าจะถูกใช้หมดก่อนในการทำปฏิกิริยา สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดเท่ากับปริมาณสารตั้งต้นที่ถูกใช้หมดก่อน เรียกว่า สารตั้งต้นที่ถูกใช้หมดก่อน ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นตามสมการเคมีว่า สารกำหนดปริมาณ (limiting agent)

แนวคิดเกี่ยวกับสารกำหนดปริมาณแสดงดังภาพที่ 1.15 เมื่อสัญลักษณ์รูปวงกลมกลวง และวงกลมทึบ เป็นสารตั้งต้นที่มีปริมาณไม่เท่ากัน โดยให้เกิดผลิตภัณฑ์ (อัตราส่วนโดยโมลเป็น 1:1) จะเห็นว่าในระบบมีวงกลมกลวงน้อยกว่า และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมากที่สุดเท่ากับปริมาณวงกลมกลวงที่อยู่ในระบบ ส่วนวงกลมทึบจะเหลือในระบบหลังเกิดปฏิกิริยา

ปริมาณสารของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเปรียบเทียบหาสารกำหนดปริมาณจะต้องพิจารณาจากจำนวนโมลของสารเท่านั้น



ภาพที่ 1.15 แสดงแนวคิดของสารกำหนดปริมาณ

ในการพิจารณาสารกำหนดปริมาณในสมการเคมี อาจจำแนกเป็น 2 แบบคือ

- 1) อัตราส่วนจำนวนโมลของสารตั้งต้นเท่ากัน

ในกรณีที่อัตราส่วนจำนวนโมลของสารตั้งต้นเท่ากัน เช่น 1:1, 2:2 หรือ 3:3 เป็นต้น เมื่อคำนวณหาจำนวนโมลของสารตั้งต้นแต่ละตัวจากน้ำหนัก จำนวนอนุภาค หรือปริมาตรของแก๊สได้แล้ว สามารถเทียบจากจำนวนโมล สารตั้งต้นตัวใดมีจำนวนโมลน้อยกว่า สารนั้นเป็นสารกำหนดปริมาณ

ตัวอย่าง 1.12 สังกะสี (Zn) และกำมะถัน (S) ทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสังกะสีซัลไฟด์ (ZnS) ซึ่งเป็นสารเรืองแสงในการเคลือบผิวด้านในของหลอดโทรทัศน์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



ถ้าใช้ Zn 20.0 กรัม และ S 10.0 กรัม จงหาว่า ก) สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ ข) สารใดเหลือเหลือเท่าใดกี่กรัม และ ค) เกิด ZnS หนักกี่กรัม

วิธีคิด จำนวนจำนวนโมลของ Zn 20.0 กรัม  $\text{mol Zn} = \frac{20.0 \text{ g}}{65.4 \text{ g/mol}} = 0.306 \text{ mol}$

จำนวนจำนวนโมลของ S 10.0 กรัม  $\text{mol S} = \frac{10.0 \text{ g}}{32.0 \text{ g/mol}} = 0.311 \text{ mol}$

ก) จากสมการ Zn 1 โมล ทำปฏิกิริยากับ S 1 โมล (อัตราส่วนจำนวนโมลของสารตั้งต้นเท่ากัน คือ 1:1) ดังนั้น Zn มีจำนวนโมลน้อยกว่า จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ

ข) สารที่เหลือคือ S เนื่องจากมีปริมาณจำนวนโมลมากกว่า

$$\text{S จะเหลือ} = 0.311 - 0.306 = 0.005 \text{ mol}$$

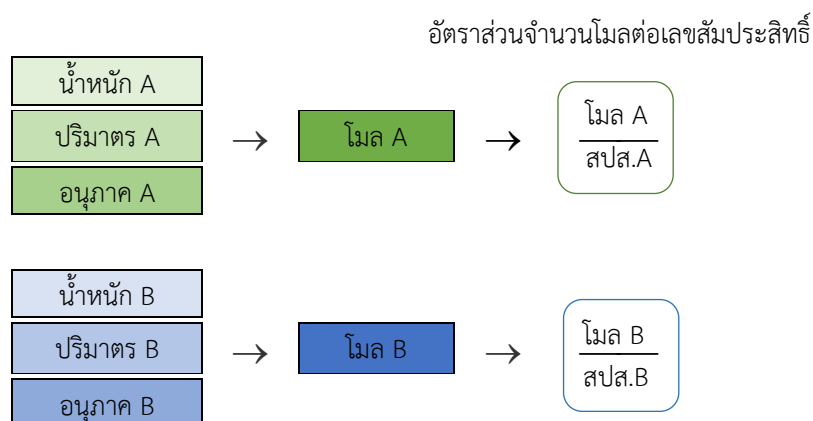
$$\text{คิดเป็นกรัมของ S ที่เหลือ} = (0.005 \text{ mol})(32.0 \text{ g/mol}) = 0.160 \text{ g}$$

ค) เกิดผลิตภัณฑ์ ZnS = 0.306 mol เนื่องจากอัตราส่วนจำนวนโมลของ Zn:ZnS เป็น 1:1

$$\text{คิดเป็นกรัมของ ZnS} = (0.306 \text{ mol})(97.4 \text{ g/mol}) = 29.8 \text{ g}$$

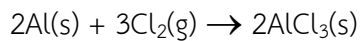
2) อัตราส่วนจำนวนโมลของสารตั้งต้นไม่เท่ากัน

กรณีที่อัตราส่วนจำนวนโมลของสารตั้งต้นไม่เท่ากัน การคำนวณหาจำนวนโมลอย่างเดียวยังไม่สามารถบอกสารกำหนดปริมาณได้ วิธีการอย่างง่าย เมื่อคำนวณจำนวนโมลแล้วให้หาอัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์ของสารตั้งต้นแต่ละตัว โดยนำจำนวนโมลหารด้วยตัวเลขสัมประสิทธิ์ (ตัวเลขหน้าสูตรเคมีในสมการที่ดุลแล้ว) สารที่มีอัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์น้อยกว่า สารนั้นเป็นสารกำหนดปริมาณ แนวคิดดังภาพที่ 1.16



ภาพที่ 1.16 แนวคิดการหาสารกำหนดปริมาณในกรณีที่สารตั้งต้นมีสัมประสิทธิ์จำนวนโมลไม่เท่ากัน

ตัวอย่าง 1.13 ปฏิกิริยาระหว่าง Al 6.0 mol กับแก๊ส Cl<sub>2</sub> 6.0 mol ดังสมการ



- จงหา ก) สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ  
ข) เกิด AlCl<sub>3</sub> ขึ้นกี่กรัมเมื่อปฏิกิริยาสมบูรณ์

วิธีคิด ก) หาสารกำหนดปริมาณ

- ขั้นที่ 1 ไม่ต้องหาจำนวนโมลของ Al และ Cl<sub>2</sub> เนื่องจากโจทย์กำหนดมาให้แล้ว  
ขั้นที่ 2 หาอัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์

$$\text{Al} = \frac{6.0 \text{ mol}}{2} = 3.0 \text{ mol} \quad \text{และ} \quad \text{Cl}_2 = \frac{6.0 \text{ mol}}{3} = 2.0 \text{ mol}$$

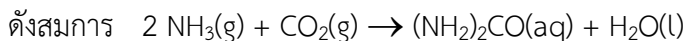
ดังนั้น Cl<sub>2</sub> เป็นสารกำหนดปริมาณ เนื่องจากมีจำนวนโมลน้อยกว่า

- ข) โมล AlCl<sub>3</sub> ที่เกิดขึ้น พิจารณาจากสมการเคมี คือ อัตราส่วนจำนวนโมลของ Cl<sub>2</sub> กับ AlCl<sub>3</sub> เป็น 3:2 หมายความว่า Cl<sub>2</sub> 3 mol เกิดผลิตภัณฑ์ AlCl<sub>3</sub> 2 mol

$$\text{ดังนั้น ถ้าใช้ Cl}_2 \text{ 6 mol จะเกิด AlCl}_3 = \frac{(2 \times 6.0 \text{ mol})}{3 \text{ mol}} = 4 \text{ mol}$$

$$\text{คำนวณกรัม AlCl}_3 = (4 \text{ mol})(133.5 \text{ g/mol}) = 534 \text{ g}$$

ตัวอย่าง 1.14 ปุ๋ยยูเรีย [(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO] สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างแก๊ส NH<sub>3</sub> กับแก๊ส CO<sub>2</sub>



ถ้าในกระบวนการผลิตยูเรียใช้ NH<sub>3</sub> 700 กรัมผสมกับ CO<sub>2</sub> 1,000 กรัม จงหา

- ก) สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ  
ข) (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO เกิดขึ้นมากที่สุดกี่กรัม  
ค) หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลง สารที่เหลือจะเหลือกี่กรัม

วิธีคิด

ขั้นที่ 1 คำนวณจำนวนโมลของ NH<sub>3</sub> และ CO<sub>2</sub>

$$\text{mol NH}_3 = \frac{700 \text{ g}}{17.0 \text{ g/mol}} = 41.2 \text{ mol}$$

$$\text{mol CO}_2 = \frac{1,000 \text{ g}}{44.0 \text{ g/mol}} = 22.7 \text{ mol}$$

ขั้นที่ 2 พิจารณาสารกำหนดปริมาณ ซึ่งจะเห็นว่าสัมประสิทธิ์จำนวนโมลของแต่ละสารไม่เท่ากัน ดังนั้นต้องเทียบจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์ จะได้

$$\text{อัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์ของ NH}_3 = \frac{41.2 \text{ mol}}{2} = 20.6$$

$$\text{อัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์ของ CO}_2 = \frac{22.7 \text{ mol}}{1} = 22.7$$

ก) ดังนั้น  $\text{NH}_3$  เป็นสารกำหนดปริมาณ เนื่องจากมีจำนวนโมลน้อยกว่า

ขั้นที่ 3 จากปฏิกิริยา  $\text{NH}_3$  2 mol เกิด  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  1 mol

$$\text{NH}_3 \text{ 41.18 mol เกิด } (\text{NH}_2)_2\text{CO} = \frac{1 \times 41.2 \text{ mol}}{2} = 20.6 \text{ mol}$$

คำนวณ mol  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  ให้เป็นกรัม เมื่อมวลโมเลกุลของ  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  เท่ากับ 60.0 g/mol

$$g(\text{NH}_2)_2\text{CO} = (20.6 \text{ mol})(60.0 \text{ g/mol}) = 1,235.4 \text{ g}$$

ข) ดังนั้นน้ำหนักของ  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  ที่เกิดขึ้นเท่ากับ 1,235.4 กรัม

คำนวณโดยวิธีแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย

$$g(\text{NH}_2)_2\text{CO} = (700 \text{ g NH}_3) \left( \frac{1 \text{ mol NH}_3}{17.0 \text{ g NH}_3} \right) \left( \frac{1 \text{ mol } (\text{NH}_2)_2\text{CO}}{2 \text{ mol NH}_3} \right) \left( \frac{60.0 \text{ g } (\text{NH}_2)_2\text{CO}}{1 \text{ mol } (\text{NH}_2)_2\text{CO}} \right) = 1,235.4 \text{ g}$$

ค) สารที่เหลือคือ  $\text{CO}_2$

$$\text{จำนวนโมลของ } \text{CO}_2 \text{ ที่เหลือ} = 22.7 - 20.6 = 2.1 \text{ mol}$$

$$\text{คำนวณกรัม } \text{CO}_2 \text{ ที่เหลือ} = (2.1 \text{ mol})(44.0 \text{ g/mol}) = 92.4 \text{ g}$$

## 2) ผลผลิตร้อยละ

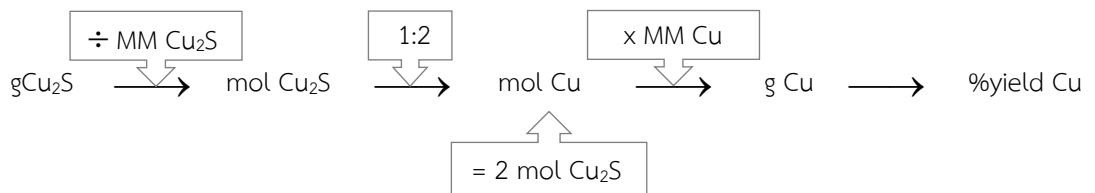
การคำนวณหาผลผลิตที่เกิดขึ้นตามสมการเคมีโดยกำหนดให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ไม่มีการสูญหายใด ๆ เกิดขึ้น เรียกว่า ผลผลิตตามทฤษฎี (theoretical yield) ส่วนผลผลิตที่ได้จากการทดลอง เรียกว่า ผลผลิตจริง (actual yield) โดยทั่วไปการรายงานผลผลิตจริงจะเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ตามทฤษฎีในรูปร้อยละ เรียกว่า ผลผลิตร้อยละ (%yield) ดังนี้

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100$$

ตัวอย่าง 1.15 จงหาปริมาณผลผลิตตามทฤษฎีของ Cu ที่ได้จากการแยก  $\text{Cu}_2\text{S}$  จำนวน 1,000 กรัม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ  $\text{Cu}_2\text{S}(s) + \text{O}_2(g)_{\text{excess}} \rightarrow 2\text{Cu}(s) + \text{SO}_2(g)$

ถ้าผลการทดลองได้ทองแดง (Cu) 712.5 กรัม จงคำนวณหาผลผลิตร้อยละ

วิธีคิด แนวคิดการคำนวณหาผลผลิตตามทฤษฎี



คำนวณผลผลิตตามทฤษฎี

$$\text{จำนวนโมลของ } \text{Cu}_2\text{S} = \frac{1000 \text{ g}}{159 \text{ g/mol}} = 6.29 \text{ mol}$$

จำนวนโมล Cu ที่เกิดขึ้น =  $2 \times 6.29 = 12.6 \text{ mol}$

คิดเป็นกรัม Cu =  $(12.6 \text{ mol})(63.5 \text{ g/mol}) = 800.1 \text{ g}$

ดังนั้น ผลผลิตตามทฤษฎีที่ควรเตรียม Cu ได้เท่ากับ 800.1 กรัม แต่ผลผลิตจริงได้ 712.5 กรัม  
คำนวณผลผลิตร้อยละ ได้เป็น

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{712.5 \text{ g}}{800.1 \text{ g}} \times 100 = 89.1\%$$

ตัวอย่าง 1.16 จากสมการ  $4\text{NH}_3(\text{aq}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  เมื่อ  $\text{NH}_3$  80 กรัม ทำปฏิกิริยากับ  $\text{O}_2$  200 กรัม ได้ NO เกิดขึ้น 84 กรัม จงคำนวณหาผลผลิตร้อยละ

วิธีคิด หาว่าสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ โดยคำนวณจำนวนโมลของ  $\text{NH}_3$  และ  $\text{O}_2$

$$\text{mol NH}_3 = \frac{80 \text{ g}}{17.0 \text{ g}} = 4.7$$

$$\text{mol O}_2 = \frac{200 \text{ g}}{32.0 \text{ g}} = 6.25$$

เนื่องจากสัมประสิทธิ์สารตั้งต้นไม่เท่ากัน ต้องหาอัตราส่วนจำนวนโมล/เลขสัมประสิทธิ์ จะได้

$$\text{อัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์ของ NH}_3 = \frac{4.7}{4} = 1.18$$

$$\text{อัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์ของ O}_2 = \frac{6.25}{5} = 1.25$$

ดังนั้น  $\text{NH}_3$  มีจำนวนโมลน้อยกว่า จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ

ในปฏิกิริยานี้มีผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด แต่โจทย์บอกผลผลิตจริงของ NO มาเท่ากับ 84 กรัม ดังนั้น  
ต้องหาผลผลิตทางทฤษฎีของ NO

จากปฏิกิริยาพบว่าอัตราส่วนจำนวนโมลของ  $\text{NH}_3$  และ NO เป็น 4:4 (คือ 1:1)

ดังนั้นจะเกิด NO เท่ากับ  $\text{NH}_3$  ที่ใช้ไป = 4.7 mol

คิดเป็นกรัม NO =  $(4.7 \text{ mol})(30 \text{ g/mol}) = 141 \text{ g}$  ซึ่งคือ ผลผลิตตามทฤษฎี

$$\text{ดังนั้น ผลผลิตร้อยละของ NO} = \frac{84 \text{ g}}{141 \text{ g}} \times 100 = 59.6\%$$

### สรุปท้ายบทเรียน

สมการเคมีคือปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นเป็นสารผลิตภัณฑ์ การดุลสมการเคมี คือการเติมตัวเลขสัมประสิทธิ์จำนวนโมลหน้าสูตรเคมี เพื่อให้จำนวนอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันทั้งสองข้างสมการเท่ากัน โมลคือหน่วยปริมาณสาร โดยกำหนด สารใด ๆ 1 โมลประกอบด้วยปริมาณของสารที่มีจำนวนอนุภาคเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อนุภาค

### วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

### สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

### กิจกรรมที่มอบหมาย

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 1.2
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

### การวัดผล

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

### แบบฝึกหัด

1. แบบฝึกหัด 1.2

### เอกสารอ้างอิง

- โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน. (2551) *เคมี 2*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). บริษัทด้าน  
สุทธนาการพิมพ์ จำกัด.
- วิทยา เรืองพรวิสุทธิ. (2558). *เคมีวัสดุ เคมีพื้นผิวและปฏิกิริยาเร่ง*. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.
- วรวิทย์ จันทรสุวรรณ. (2565). *เคมีวิเคราะห์ หลักการแลเทคนิคการคำนวณเชิงปริมาณ*. (พิมพ์ครั้งที่  
2). สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิสิษฐ์ ศงสะเสน, สรณนรินทร์ บังเกิดผล และอาทิตย์ สกุดตันติเมธา. (2554). *เคมีทั่วไปสำหรับ  
วิศวกร*. บริษัททริฟเพิ้ลกรุ๊ป จำกัด.
- อินทิดา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโกคา. (2554). *เคมีทั่วไป สำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์* (ฉบับ  
ปรับปรุง) (พิมพ์ครั้งที่ 9). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online).  
[https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-  
v1.0m/index.html](https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html)
- Brown, L.S., & Holme, T.A. (2018). *Chemistry for Engineering Students* (4<sup>th</sup> ed.). Thomson  
Brook Cole.
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W.  
(2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of  
Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry:  
Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing  
Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter  
and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

## หน่วยที่ 2

### สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย

#### บทเรียนที่ 2.1 สารละลาย

##### จุดประสงค์

1. บอกประเภทสารละลาย
2. บอกสมบัติคอลลิเกทีฟ
3. บอกคอลลอยด์

##### 2.1.1 ประเภทสารละลาย

สารละลาย (solution) คือสารผสมของสสารสองชนิดหรือมากกว่าสองชนิด ปริมาณของส่วนประกอบเปลี่ยนแปลงได้ แต่เปลี่ยนแปลงอยู่ในขอบเขตจำกัด ส่วนประกอบของสารละลายมักเป็นสารบริสุทธิ์ อาจเป็นแก๊ส ของเหลวหรือของแข็ง ส่วนประกอบที่มีปริมาณมากกว่าเรียกว่า ตัวทำละลาย (solvent) ส่วนประกอบที่มีอยู่ในปริมาณน้อยกว่า เรียกว่า ตัวละลาย (solute) สารละลายอาจมีตัวละลายเพียงหนึ่งชนิดหรือมากกว่าก็ได้ การศึกษาเกี่ยวกับสารละลายอาจมีชื่อเรียกได้หลายชื่อตามชนิดหรือปริมาณของตัวละลายและตัวทำละลายเช่น

- สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย เรียกว่า สารละลายเอควีวีส (aqueous solution)
- สารละลายที่มีส่วนประกอบเพียงสองส่วนประกอบคือ ตัวทำละลายกับตัวละลายหนึ่งชนิดเรียกว่า สารละลายทวิภาค (binary solution)
- สารละลายที่มีปริมาณของตัวละลายสูงสุดในตัวทำละลายหนึ่ง ๆ ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ เรียกว่าสารละลายอิ่มตัว (saturated solution) แต่ก่อนที่จะถึงจุดที่เป็นสารละลายอิ่มตัวสารละลายนั้นจะเรียกว่า สารละลายไม่อิ่มตัว (unsaturated solution)

สารละลายอาจมีสถานะเป็นแก๊ส ของเหลว หรือของแข็งอย่างหนึ่งอย่างใด จึงแบ่งสารละลายออกได้เป็น 3 ประเภท คือสารละลายแก๊ส สารละลายของเหลว และสารละลายของแข็ง แต่เนื่องจากส่วนประกอบของสารละลายจะเป็นแก๊ส ของเหลว หรือของแข็ง สารละลายจึงแบ่งได้ถึง 9 ชนิดตามประเภทของตัวละลายและตัวทำละลาย ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประเภทและชนิดของสารละลาย

ประเภทของสารละลาย	ชนิดของสารละลายในแต่ละสถานะ	ตัวอย่าง
สารละลายแก๊ส	แก๊สในแก๊ส	อากาศ (แก๊ส O <sub>2</sub> ใน N <sub>2</sub> )
	ของเหลวในแก๊ส	ความชื้นในอากาศ (น้ำในอากาศ)
	ของแข็งในแก๊ส	ไอของ I <sub>2</sub> (แข็ง) ในอากาศ
สารละลายของเหลว	แก๊สในของเหลว	น้ำโซดา (แก๊ส CO <sub>2</sub> ในน้ำ)
	ของเหลวในของเหลว	แอลกอฮอล์ (แอลกอฮอล์ในน้ำ)
	ของแข็งในของเหลว	น้ำเชื่อม (น้ำตาลในน้ำ)
สารละลายของแข็ง	แก๊สในของแข็ง	H <sub>2</sub> ใน Pd
	ของเหลวในของแข็ง	Hg ใน Ag
	ของแข็งในของแข็ง	โลหะเจือ เช่น Cu ใน Zn (ทองเหลือง)

1) สารละลายแก๊ส เป็นตัวทำละลายโดยตัวละลายอาจเป็นได้ทั้งแก๊ส ของเหลวและของแข็ง กรณีตัวละลายเป็นแก๊ส หมายถึงแก๊สสองชนิดหรือมากกว่าสองชนิดผสมกัน (ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีต่อกัน) ซึ่งจะผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ทุกส่วนตามสมบัติของแก๊ส เช่น แก๊ส O<sub>2</sub> และ N<sub>2</sub> ในอากาศ ส่วนกรณีที่ตัวละลายเป็นของเหลว เช่น ไอ้ในอากาศ (ความชื้น)

2) สารละลายของเหลว สถานะที่ของเหลวเป็นตัวทำละลาย โดยตัวละลายอาจเป็นได้ทั้งแก๊ส ของเหลวและของแข็ง ตัวอย่างแก๊สในของเหลว เช่น ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ หรือน้ำอัดลม (มีแก๊ส CO<sub>2</sub> ละลาย) การละลายของแก๊สแต่ละชนิดในน้ำมีปริมาณน้อยมาก เช่นที่สภาวะ STP แก๊ส N<sub>2</sub> ละลายได้เพียง 0.001 โมลในน้ำ 1 ลิตร หรือแก๊ส O<sub>2</sub> ละลายได้เพียง 0.0022 โมลในน้ำ 1 ลิตร

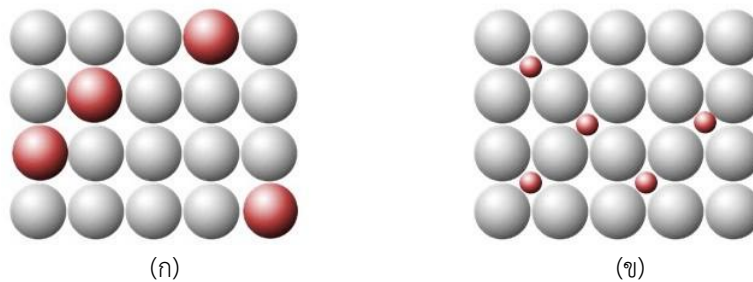
กรณีที่ตัวละลายเป็นของเหลว ถ้าของเหลวสองชนิดไม่ว่าจะใช้องค์ประกอบเท่าไรละลายปนกันอย่างสมบูรณ์ เรียกว่า ของผสมเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ตัวอย่างเช่น เอทานอลกับน้ำ แต่ของเหลวบางชนิดแยกกันอย่างเด็ดขาด ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เรียกว่า ของผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) เช่น ปรอทกับน้ำ น้ำมันกับน้ำ

กรณีที่ตัวละลายเป็นของแข็งพบเห็นมากที่สุด โดยสารละลายส่วนมากจะมีน้ำเป็นตัวทำละลาย เรียกว่า สารละลายเอควิวส (aqueous) น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีเพราะเป็นสารมีขั้ว สามารถละลายสารประกอบไอออนและสารโคเวเลนต์ขั้ว

3) สารละลายของแข็ง สถานะที่ของแข็งเป็นตัวทำละลายโดยตัวละลายอาจเป็นได้ทั้งแก๊ส ของเหลวและของแข็ง กรณีตัวละลายเป็นแก๊ส โดยของแข็งบางชนิดสามารถรับแก๊สเข้าไปในตัวมันได้ เช่น ถ่านสามารถดูดแก๊ส ส่วนกรณีที่ตัวละลายเป็นของแข็งโดยส่วนมากได้แก่ โลหะเจือ เช่น ทองเหลือง (ทองแดงผสมกับสังกะสี) ได้จากการให้ความร้อนจนทั้งสองผสมกัน แต่ไม่ทำปฏิกิริยาต่อกัน สารละลายประเภทนี้เกิดขึ้นโดยอะตอมตัวละลายเข้าไปแทนที่อะตอมตัวทำละลายในแลตทิซผลึกของตัวทำละลาย จะเกิดได้ดีเมื่อขนาดของอะตอมตัวละลายกับอะตอมตัวทำละลายใกล้เคียงกันจึงแทนที่กันได้ และทำในแลตทิซผลึกเสถียรด้วย การกระจายตัวของตัวละลายในสารละลายของแข็งมี 2 แบบคือ

(1) สารละลายของแข็งแบบแทนที่ (substitutional solid solution) เกิดจากอะตอมของธาตุสองชนิด คืออะตอมของตัวละลาย สามารถเข้าไปแทนที่อะตอมของตัวทำละลาย ในโครงสร้างผลึกได้ โครงสร้างผลึกของโลหะผสมชนิดนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่อาจเกิดการเสียรูปไปบ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อขนาดของอะตอมต่างกัน ดังภาพที่ 2.1(ก)

(2) สารละลายของแข็งแบบแทรกตัว (interstitial solid solution) เป็นสารละลายของแข็งที่เกิดขึ้นเนื่องจากอะตอมของตัวละลายเข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างของอะตอมตัวทำละลาย ระยะช่องว่างระหว่างอะตอมของตัวทำละลายเรียกว่าชอก (interstices) สารละลายของแข็งแบบแทรกตัวจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อขนาดของอะตอมของตัวทำละลายมีขนาดใหญ่กว่าอะตอมของตัวละลาย ดังภาพที่ 2.1(ข)



ภาพที่ 2.1 การแทนที่ในสารละลายของแข็ง (ก) สารละลายของแข็งแบบแทนที่ และ (ข) สารละลายของแข็งแบบแทรกตัว

#### 4) การละลาย

การละลาย (solubility) คือปริมาณที่มากที่สุดของตัวละลาย (solute) ที่จะละลายได้ในตัวทำละลาย (solvent) ปริมาณหนึ่ง และที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ เขียนเป็นสัดส่วนได้ดังนี้

$$s = \frac{g_{(\text{solute})}}{V_{(\text{solvent})}} \quad \dots\dots(2.1)$$

เมื่อ  $s$  = ค่าการละลาย (g/mL หรือ g/L)

$g_{(\text{solute})}$  = ปริมาณที่มากที่สุดของตัวละลาย (g)

$V_{(\text{solvent})}$  = ปริมาตรตัวทำละลาย (mL หรือ L)

ตัวละลายที่ต่างชนิดกันจะมีค่าการละลายที่ต่างกัน เช่น

NaCl มีค่าการละลายเท่ากับ 39.12 กรัมต่อน้ำ 100 mL ที่ 100°C

AgCl มีค่าการละลายเท่ากับ 0.0021 กรัมต่อน้ำ 100 mL ที่ 100°C

## ตารางที่ 2.2 ปริมาณตัวละลายและค่าการละลายของเกลือบางชนิดในน้ำ

ตัวละลาย	ปริมาณตัวละลายในสารละลายอิ่มตัว ที่ 20°C (g)	ค่าการละลายที่ 60°C (g/100 g)
NaCl	36.0	37.3
KNO <sub>3</sub>	31.6	110.0
Ag <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	1.04	1.89
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	13.1	50.5
AgNO <sub>3</sub>	222	525
BaSO <sub>4</sub>	0.00023	0.00036

หน่วยของการละลายส่วนมากคิดน้ำหนักเป็นกรัมตัวละลายต่อตัวทำละลาย 100 กรัม ในกรณีที่ตัวละลายเป็นเกลือไอออน (ionic salt) สามารถแบ่งชนิดของเกลือจากค่าการละลายได้ดังนี้

1) เกลือที่ละลายได้ดี (soluble) หมายถึง เกลือที่จะละลายได้มากกว่า 1 กรัม ต่อตัวทำละลาย 100 กรัม

2) ละลายได้น้อย (slightly soluble) หมายถึง และถ้าละลายได้ตั้งแต่ 0.1-1.0 กรัม ต่อตัวทำละลาย 100 กรัม

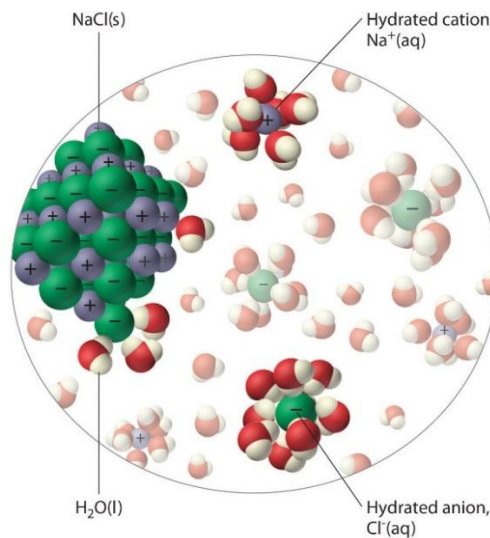
3) เกลือที่ไม่ละลาย (insoluble) หมายถึง เกลือที่ละลายได้น้อยกว่า 0.1 กรัม ต่อตัวทำละลาย 100 กรัม

### 5) กระบวนการเกิดสารละลาย

สารละลายเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของตัวละลายกระจายเข้าไปอยู่ระหว่างอนุภาคของตัวทำละลายได้อย่างทั่วถึง อย่างไรก็ตามอนุภาคของตัวละลายจะสามารถเข้าไปแทนที่อนุภาคของตัวทำละลายได้หรือไม่ หรืออย่างน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวละลายและตัวทำละลาย เช่นแรงไดโพล-ไดโพล จะเกี่ยวข้องกับการละลายสารไอออนในน้ำ หรือแรงกระจายตัว (dispersion force) จะมีอิทธิพลต่อการละลายของตัวละลายและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ดังนั้น ปัจจัยสำคัญของการละลาย คือความแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวละลายและตัวทำละลาย การที่ตัวละลายจะละลายในตัวทำละลายได้นั้น จะต้องทำลายแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคที่ยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวละลายเสียก่อน โดยตัวทำละลายกับอนุภาคของตัวละลายอาจดึงดูดกันแรงมากพอที่จะเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคของตัวละลาย และทำให้อนุภาคของตัวละลายหลุดออกจากกัน

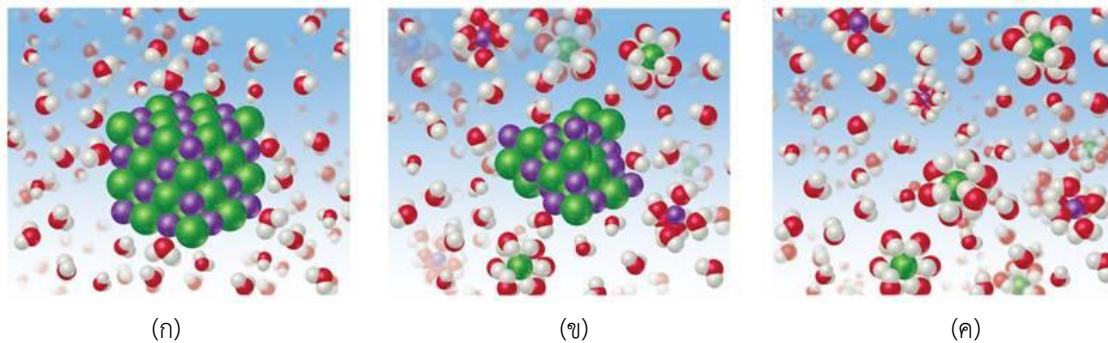
สารละลายจะสามารถเกิดขึ้นได้ดีเมื่อแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคของตัวละลายกับตัวทำละลายมีขนาดใกล้เคียงกับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของอนุภาคตัวละลาย หรืออนุภาคตัวทำละลาย จึงทำให้โมเลกุลของตัวละลายเข้าไปแทนที่โมเลกุลของตัวทำละลายได้ดี เช่นเกลือ NaCl ละลายได้ดีในน้ำ เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างไอออน (Na<sup>+</sup> และ Cl<sup>-</sup>) กับโมเลกุลมีขั้วของน้ำมีมากพอ ๆ กัน จึงทำให้สามารถเอาชนะพลังงานแลตทิซของโครงผลึก NaCl ได้ แรงกระทำที่เกิดระหว่างโมเลกุลตัวละลายและโมเลกุลตัวทำละลาย โดยที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเลกุลตัวทำละลายล้อมรอบโมเลกุลตัวละลาย

เรียกว่า โซลเวชัน (solvation) ถ้าโมเลกุลตัวทำละลายเป็นน้ำจะเรียกว่า ไฮเดรชัน (hydration) ดังภาพที่ 2.2 แสดงการล้อมรอบสารไอออนโดยโมเลกุลของน้ำ



ภาพที่ 2.2 การล้อมรอบสารไอออนโดยโมเลกุลของน้ำ. ที่มาจาก *Principles of General Chemistry* (Online), by B.A. Averill, 2012.

การละลายของเกลือไอออนในน้ำ เช่น เกลือ NaCl เมื่ออยู่ในน้ำ เนื่องจากสารประกอบไอออน (ionic compound) ประกอบด้วยแคตไอออนประจุบวก (แคตไอออน) และประจุลบ (แอนไอออน) ยึดเหนี่ยวกันอยู่ภายในแลตทิซผลึกด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต ดังนั้น เกลือไอออนจะละลายได้ก็ต่อเมื่อแคตไอออนและแอนไอออนแยกออกจากกัน ดังภาพที่ 2.3 เมื่อใส่ NaCl ลงไปในน้ำ โมเลกุลน้ำเป็นโมเลกุลมีขั้ว (สภาพขั้วมีทั้งขั้วบวกและลบ) จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้ำกับไอออนของสารประกอบ NaCl โดยโมเลกุลน้ำจะหันด้านที่เป็นสภาพขั้วบวก (ด้านไฮโดรเจน) เข้าหาแอนไอออน ( $\text{Cl}^-$ ) ที่อยู่ตามผิวของแข็ง และบางโมเลกุลน้ำจะหันด้านสภาพขั้วลบ (ด้านออกซิเจน) เข้าหาแคตไอออน ( $\text{Na}^+$ ) เมื่อแรงดึงดูดระหว่างขั้วของไอออนและโมเลกุลของน้ำแข็งแรงพอที่จะดึงเอาไอออนนั้น ๆ หลุดออกจากตำแหน่งผิวของโครงผลึกได้แล้ว แคตไอออนและแอนไอออนจะถูกโมเลกุลน้ำเข้ามาห้อมล้อม เรียกว่า ไอออนที่ถูกไฮเดรต (hydrated ion) ไอออนที่ถูกไฮเดรตจะแพร่ออกไปในตัวทำละลาย แคตไอออนและแอนไอออนที่อยู่ผิวของแข็งถูกไฮเดรตหลุดออกไปเรื่อย ๆ จนของแข็งละลายหมดทั้งก้อน จำนวนโมเลกุลน้ำที่เข้าไปห้อมล้อมไอออนแต่ละชนิดมากน้อยไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับประจุ รัศมีของไอออนและโครงสร้างอะตอมของไอออนนั้น ๆ การละลายของสารขึ้นกับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ถ้าแรงดึงดูดคล้ายคลึงกัน (มีความแรงใกล้เคียงกัน) จะละลายซึ่งกันและกัน เรียกว่า “like dissolves like” สารไม่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายชนิดไม่มีขั้ว และในทำนองเดียวกัน สารมีขั้วหรือสารประกอบไอออนจะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว



ภาพที่ 2.3 กระบวนการละลายของเกลือไอออนในน้ำ (ก) ผลึกไอออนถูกห้อมล้อมโดยโมเลกุลของน้ำ (ข) ของแข็งเริ่มละลาย ไอออนถูกไฮเดรต และ (ค) ของแข็งละลายเป็นสารละลาย. ดัดแปลงจาก *Chemistry: The Central Science* (p. 528), by T.L. Brown et al., 2017, Pearson Education, Inc.

### 2.1.2 สมบัติคอลลิเกทีฟ

สมบัติคอลลิเกทีฟ (colligative properties) คือสมบัติทางกายภาพของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไปจากตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายเท่านั้น (ปริมาณตัวละลาย) แต่ไม่ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดหรือธรรมชาติของตัวละลาย

ตัวทำละลายบริสุทธิ์จะมีความดันไอ จุดเดือด และจุดเยือกแข็งที่แน่นอน แต่เมื่อมีตัวละลายที่ไม่สามารถระเหยผสมอยู่เป็นเนื้อเดียวกันในสารละลาย จะทำให้สารละลายมีสมบัติบางประการเปลี่ยนแปลงไป เช่น จุดเดือด จุดเยือกแข็ง ความดันไอ และความดันออสโมติก โดยสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ การลดลงของความดันไอ การลดลงของจุดเยือกแข็ง และการเพิ่มขึ้นของจุดเดือดของสารละลาย และความดันออสโมติกของสารละลายจะขึ้นอยู่กับปริมาณหรือจำนวนอนุภาคของตัวละลายที่มีอยู่ในสารละลาย (ความเข้มข้น) เท่านั้น

#### 1) การลดลงของความดันไอ

สารละลายมีความดันไอลดต่ำกว่าตัวทำละลายบริสุทธิ์ เนื่องจากเมื่อมีตัวละลายที่ไม่สามารถระเหยผสมอยู่ในสารละลาย จะทำให้ความดันไอของสารละลายลดต่ำกว่าความดันไอของตัวทำละลาย เนื่องจากจำนวนโมเลกุลของตัวทำละลายที่บริเวณผิวหน้าของสารละลายลดน้อยกว่าเดิมจากที่เคยเป็นตัวทำละลาย เพราะมีโมเลกุลของตัวละลายปนอยู่ เมื่อจำนวนโมเลกุลของตัวทำละลายที่บริเวณผิวหน้าลดลง การที่โมเลกุลหนึ่ง ๆ ของตัวทำละลายจะสามารถเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงจากของเหลวกลายเป็นไอได้จะต้องเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างตัวทำละลายอื่น ๆ และแรงดึงดูดระหว่างตัวละลายที่ล้อมรอบอยู่ สิ่งที่เกิดขึ้นคือ โมเลกุลของตัวทำละลายระเหยได้น้อยลง ส่งผลให้ความดันไอของสารละลาย มีค่าน้อยกว่าความดันไอของตัวทำละลายบริสุทธิ์ ดังภาพที่ 2.4

ในปี ค.ศ.1881 ราอูลต์ (François-Marie Raoult) นักเคมีชาวฝรั่งเศสเสนอทฤษฎีทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamics) ที่เรียกว่า กฎของราอูลต์ (Raoult's law) กล่าวคือ “ความดันไอของตัวทำละลายบริสุทธิ์จะสูงกว่าสารละลาย” กฎของราอูลต์ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอย่อยของตัวทำละลาย ( $P_A$ ) ซึ่งจะลดลงจากความดันไอของตัวทำละลายบริสุทธิ์ ( $P_A^0$ ) เมื่อมีตัวละลายในระบบสารละลายนั้นเพิ่มมากขึ้น

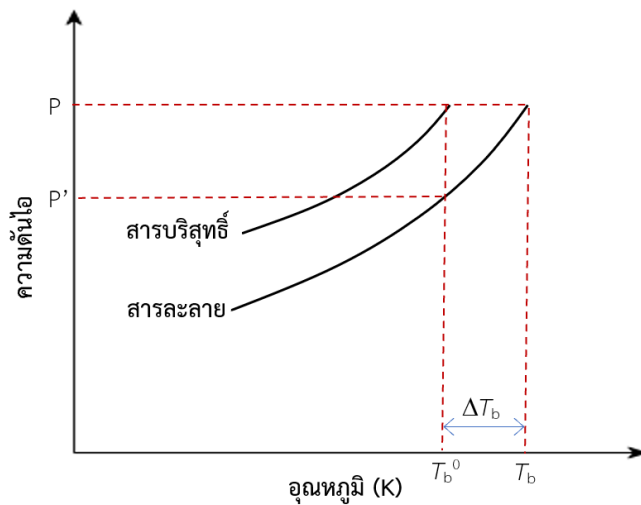
โดยความสัมพันธ์จะขึ้นกับเศษส่วนโมล (mol fraction) ของตัวทำละลาย ( $X_A$ ) ความสัมพันธ์จะเป็นไปตามกฎของราอูลต์ต่อเมื่อสารละลายในอุดมคติ (ideal solution) เท่านั้น คือกระบวนการละลายไม่มีการดูดหรือคายความร้อน สมการของกฎของราอูลต์ เขียนได้เป็น

$$P_A = X_A P_A^0 \quad \dots(2.2)$$

เมื่อ  $P_A$  = ความดันไอย่อยของตัวทำละลายเมื่อเป็นสารละลาย

$P_A^0$  = ความดันไอย่อยของตัวทำละลายบริสุทธิ์

$X_A$  = เศษส่วนโมลของตัวทำละลาย



ภาพที่ 2.4 ความดันไอของสารบริสุทธิ์และสารละลาย

ตัวอย่างเช่น ความดันไอของน้ำที่  $20^\circ\text{C}$  เท่ากับ 17.5 ทอร์ร ณ อุณหภูมิคงที่ เมื่อเติมกลูโคสลงไปทำให้เศษส่วนโมลของน้ำ ( $X_{\text{water}}$ ) เท่ากับ 0.800 และกลูโคส ( $X_{\text{glucose}}$ ) เท่ากับ 0.200 จากสมการ (2.2) ความดันไอย่อยของน้ำ คือ

$$P_{\text{water}} = (0.800)(17.5 \text{ torr}) = 14.0 \text{ torr}$$

หมายความว่าความดันไอย่อยของน้ำเมื่อเป็นสารละลายจะลดลงจาก 17.5 ทอร์ร เหลือ 14.0 ทอร์ร

**ตัวอย่าง 2.1** กลีเซอริน ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ ) เป็นสารละลายที่ไม่ระเหยมีความหนาแน่น  $1.26 \text{ g/cm}^3$  ที่  $25^\circ\text{C}$  คำนวณความดันไอของสารละลายเมื่อเติมกลีเซอรินปริมาตร 50.0 mL ลงในน้ำ 500 mL (กำหนดความดันไอของน้ำที่  $25^\circ\text{C}$  เท่ากับ 23.8 ทอร์ร และความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ  $1.0 \text{ g/cm}^3$ )

**วิธีคิด** คำนวณโมลของ  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$

$$\text{mol } \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 = (50.0 \text{ mL } \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) \left( \frac{1.26 \text{ g } \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3}{1 \text{ mL } \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3} \right) \left( \frac{1 \text{ mol } \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3}{92.0 \text{ g } \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3} \right) = 0.684 \text{ mol}$$

คำนวณโมลของ  $\text{H}_2\text{O}$

$$\text{mol H}_2\text{O} = (500 \text{ mL H}_2\text{O}) \left( \frac{1.0 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ mL H}_2\text{O}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}}{18.0 \text{ g H}_2\text{O}} \right) = 27.8 \text{ mol}$$

ดังนั้น เศษส่วนโมลของน้ำคือ

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{mol H}_2\text{O}}{\text{mol H}_2\text{O} + \text{mol C}_3\text{H}_8\text{O}_3} = \frac{27.8}{27.8 + 0.684} = 0.976$$

จากสมการของกฎของราอูลต์ สมการ (2.2)

$$\begin{aligned} P_{\text{H}_2\text{O}} &= X_{\text{H}_2\text{O}} P_{\text{H}_2\text{O}}^0 \\ &= (0.976)(23.8 \text{ torr}) = 23.2 \text{ torr} \end{aligned}$$

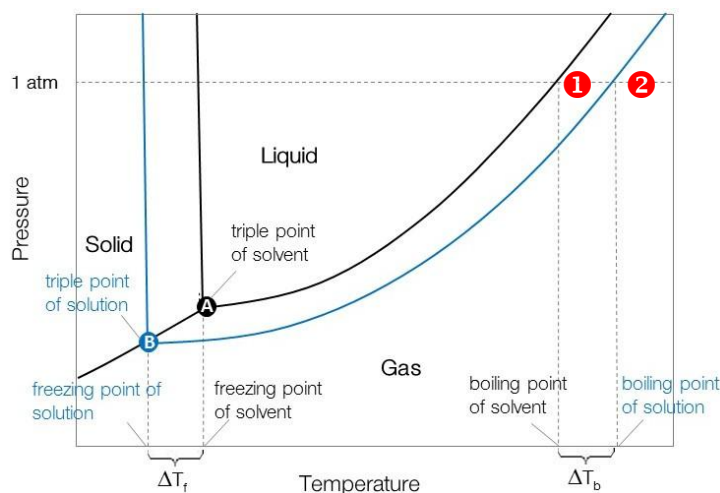
ดังนั้น ความดันไอของน้ำของสารละลายจะลดลงจาก 23.8 ทอร์รี่ เป็น 23.2 ทอร์รี่ แสดงว่าเมื่อเกิดเป็นสารละลายความดันไอลดลงไป 0.6 ทอร์รี่

## 2) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจุดเดือดและการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็ง

สมบัติของตัวทำละลายบริสุทธิ์ ณ ที่สภาวะหนึ่ง ๆ จะมีสมบัติจุดเดือดและจุดเยือกแข็งที่แน่นอน แต่เมื่อมีตัวละลายที่ไม่ระเหยผสมอยู่ในสารละลาย โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ จะทำให้เกิดการลดต่ำลงของจุดเยือกแข็ง และการเพิ่มสูงขึ้นของจุดเดือดของสารละลาย การเปลี่ยนแปลงจุดเยือกแข็งและจุดเดือดของสารละลายเทียบกับตัวทำละลายสารบริสุทธิ์ ดังภาพที่ 2.5 โดยใช้แผนผังวัฏภาค เส้นสีดำ (1) แสดงวัฏภาคของสารบริสุทธิ์ และเส้นสีฟ้า (2) แสดงวัฏภาคของสารละลาย สรุปลักษณะจุดเดือดและการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็งได้ คือ

จุดเดือดของสารละลายจะสูงกว่าจุดเดือดปกติของตัวทำละลายบริสุทธิ์

จุดเยือกแข็งของสารละลายจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งปกติของตัวทำละลายบริสุทธิ์



ภาพที่ 2.5 วัฏภาคแสดงการเปลี่ยนแปลงของจุดเยือกแข็งและจุดเดือดของสารบริสุทธิ์และสารละลาย. ดัดแปลงจาก *Chemistry: The Central Science* (p.545-546), by T.L. Brown et al., 2017

การศึกษาสมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลายนิยมใช้ความเข้มข้นในหน่วย โมลาล (m) ซึ่งเป็นการบอกจำนวนโมลของตัวละลายในตัวทำละลาย 1 กิโลกรัม จากกราฟภาพที่ 2.5 ถ้าให้  $\Delta T_b$  คือ

อุณหภูมิจุดเดือดที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายและตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งพบว่า  $\Delta T_b$  เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย

$$\Delta T_b = K_b m \quad \dots(2.3)$$

เมื่อ  $\Delta T_b$  = ผลต่างของอุณหภูมิจุดเดือดของสารละลายกับตัวทำละลายบริสุทธิ์ ( $T_b^0 - T_b$ )

$m$  = ความเข้มข้นของสารละลาย (โมลล)

$K_b$  = ค่าคงที่โมลลของการเพิ่มขึ้นของจุดเดือด

ถ้าให้  $\Delta T_f$  คืออุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งที่ลดต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายและตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งพบว่า  $\Delta T_f$  เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย

$$\Delta T_f = K_f m \quad \dots(2.4)$$

เมื่อ  $\Delta T_f$  = ผลต่างของอุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งของสารละลายกับสารบริสุทธิ์ ( $T_f^0 - T_f$ )

$K_f$  = ค่าคงที่โมลลของการลดลงของจุดเยือกแข็ง

$\Delta T_b$  และ  $\Delta T_f$  ขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคของตัวละลายที่อยู่ในสารละลายและชนิดของตัวทำละลายเท่านั้น โดยไม่ขึ้นกับชนิดของตัวละลาย นั่นคือ ปริมาณของตัวละลายจะมีผลทำให้จุดเดือดของสารละลายสูงขึ้น และจุดเยือกแข็งจะลดลง ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าจะมีปริมาณของตัวละลายมากหรือน้อย หรือกล่าวง่าย ๆ คือ จุดเดือดและจุดเยือกแข็งจะแปรผันตรงกับโมลลของสารละลาย ถ้ามีปริมาณตัวละลายอยู่น้อย จุดเดือดของสารละลายจะเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยและจุดเยือกแข็งลดต่ำลงเล็กน้อย ในทางกลับกัน ถ้ามีปริมาณตัวละลายอยู่มาก จุดเดือดของสารละลายจะสูงขึ้นและจุดเยือกแข็งจะต่ำลงมาก

ค่า  $K_b$  และ  $K_f$  เป็นค่าคงที่เฉพาะสำหรับตัวทำละลายแต่ละชนิด ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของตัวทำละลาย ที่ความดัน 1 atm

**ตารางที่ 2.3** ค่าคงที่โมลลของจุดเดือดที่เพิ่มสูงขึ้นและจุดเยือกแข็งที่ลดต่ำลงของตัวทำละลายสามัญ

ตัวทำละลาย	จุดเดือดปกติ (°C)	$K_b$ (°C/m)	จุดเยือกแข็งปกติ (°C)	$K_f$ (°C/m)
น้ำ (H <sub>2</sub> O)	100.0	0.51	0.0	1.86
เบนซีน (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	80.1	2.53	5.5	5.12
เอทานอล (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	78.4	1.22	-114.6	1.99
คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl <sub>4</sub> )	76.8	5.02	-22.3	29.8
โคโรฟอร์ม (CHCl <sub>3</sub> )	61.2	3.63	-63.5	4.68

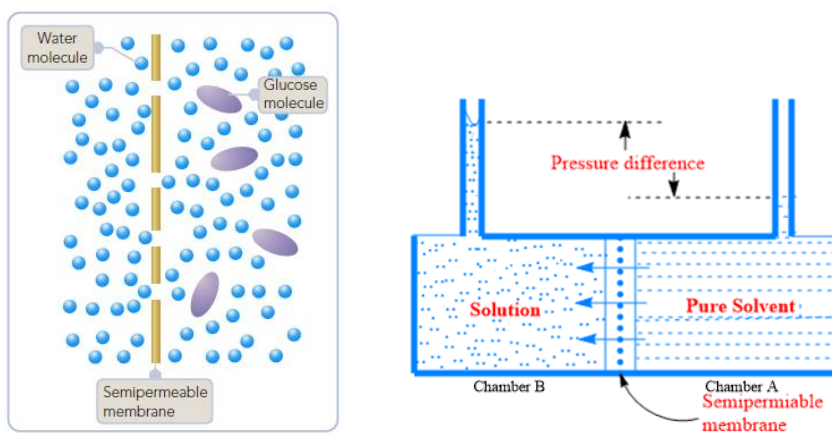
หมายเหตุ. ดัดแปลงจาก *Chemistry: The Central Science* (p. 546), by T.L. Brown et al., 2017, Pearson Education, Inc.

### 3. ความดันออสโมติก

ปรากฏการณ์ออสโมซิส (osmosis) เป็นการซึมผ่านเยื่อเลือกผ่านบางที่มีรูพรุน (semi-permeable membrane) หรือเรียกว่าเมมเบรน ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนประมาณ 0.0001 ถึง 0.1 ไมโครเมตร ความดันออสโมติก (osmotic pressure) จึงเป็นผลต่างระหว่างความดันของสารละลายที่มีความเข้มข้นไม่เท่ากันซึ่งแยกกันด้วยเยื่อเลือกผ่าน

สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าจะซึมผ่านเมมเบรนไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า เมมเบรนจะยอมให้เฉพาะอนุภาคของตัวทำละลายผ่านไปได้เท่านั้น แต่ไม่ยอมให้โมเลกุลหรือไอออนที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของรูพรุนผ่านไปได้

โมเลกุลของตัวทำละลายของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าซึมผ่านเมมเบรนไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า จนกระทั่งเกิดภาวะสมดุลระหว่างความเข้มข้นของสารละลายทั้งสอง ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ความดันออสโมติก. จาก *General Chemistry* (p. 428), by D.D. Ebbing & S.D. Gammon, 2017, Cengage Learning.

ความดันออสโมติกจะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงจะมีความดันออสโมติกสูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ ความดันออสโมติกสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสาร ดังนี้

$$\pi = MRT \quad \dots(2.5)$$

เมื่อ  $\pi$  = ความดันออสโมติก

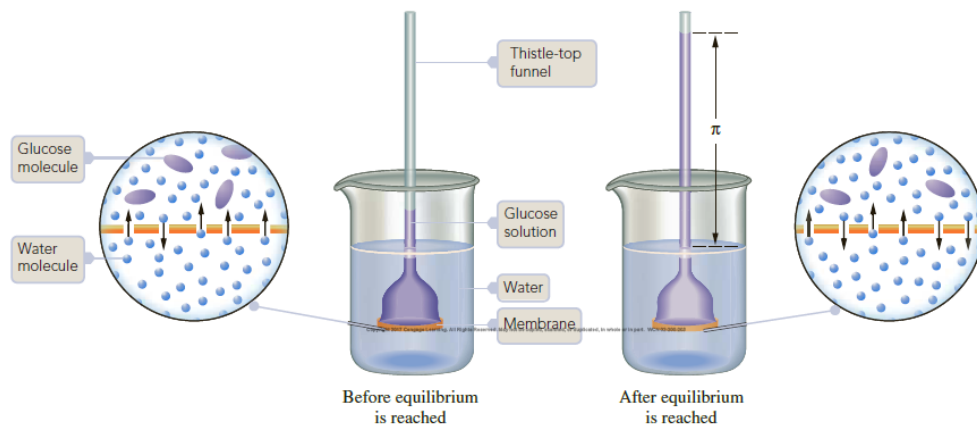
M = ความเข้มข้น หน่วย mol/L

R = ค่าคงที่ของแก๊ส (0.082 L·atm/K·mol)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

การทดลองความดันออสโมติกของสารละลายกลูโคส ดังภาพที่ 2.7 (ซ้าย) ก่อนภาวะสมดุล โมเลกุลน้ำซึมผ่านเมมเบรนเข้าไปในสารละลายกลูโคสที่บรรจุในกรวยคว่ำ จึงทำให้ระดับของสารละลายกลูโคสสูงกว่าระดับน้ำ และเมื่อภาวะสมดุลระดับของสารละลายกลูโคสขึ้นสูงสุด (ขวา)

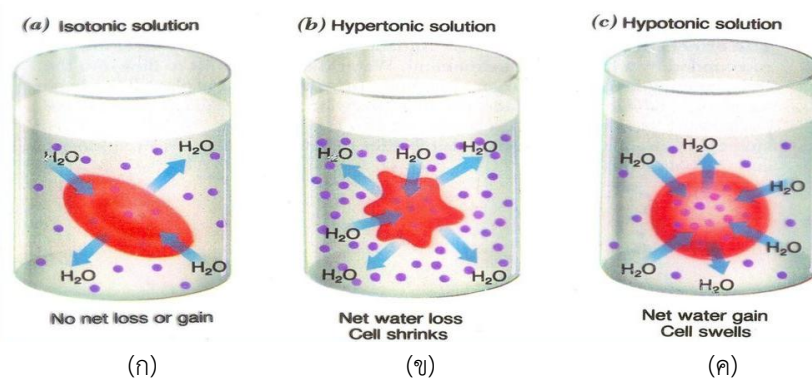
เนื่องจากอัตราการซึมผ่านของโมเลกุลน้ำที่เข้าและออกในสารละลายกลูโคสเท่ากัน ความดันออสโมติก จึงหยุด



ภาพที่ 2.7 การทดลองความดันออสโมติกของสารละลายกลูโคส. จาก *General Chemistry* (p. 428), by D.D. Ebbing & S.D. Gammon, 2017, Cengage Learning.

ถ้าแยกความเข้มข้นของสารละลายออกตามการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำผ่านเมมเบรนจะแยกเป็น 3 ประเภท ดังภาพที่ 2.8

- 1) สารละลายไอโซโทนิก (isotonic solution) หมายถึง สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากัน จะมีความดันออสโมติกเท่ากัน
- 2) สารละลายไฮโปโทนิก (hypotonic solution) หมายถึง สารละลายภายนอกมีความเข้มข้นต่ำกว่า
- 3) สารละลายไฮเปอร์โทนิก (hypertonic solution) หมายถึง สารละลายภายนอกมีความเข้มข้นสูงกว่า



(ก) (ข) (ค)  
ภาพที่ 2.8 ประเภทสารละลายจำแนกตามแรงดันออสโมติก

ความสามารถของตัวทำละลายในการซึมผ่านเมมเบรนจะลดลง เมื่อความเข้มข้นของตัวละลายที่ไม่สามารถซึมผ่านเมมเบรนเพิ่มขึ้น ทำให้ระดับของเหลวระหว่างสองฝั่งของเมมเบรนมีค่าไม่เท่ากัน

### 2.1.3 คอลลอยด์

คอลลอยด์ (colloids) คือสถานะสารที่เกิดจากการฟุ้งกระจายของอนุภาค (โมเลกุล หรือ ไอออน) ซึ่งอาจอยู่ในสถานะแก๊ส ของเหลว หรือของแข็งในตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือแก๊ส ในทำนองเดียวกับสารละลาย สถานะคอลลอยด์ (colloidal state) หรือการกระจายอนุภาคแบบคอลลอยด์ (colloidal dispersion) เป็นการกระจายของอนุภาคขนาดเล็กประมาณ 5–1,000 nm แขนงลอยอยู่ในตัวกลางในทุกส่วนของสารละลาย อนุภาคแขวนลอยอาจเป็นกลุ่มของโมเลกุลหรือไอออน คอลลอยด์ไม่จัดเป็นสารเนื้อเดียวหรือสารเนื้อผสมอย่างแท้จริง เพราะลักษณะขององค์ประกอบของคอลลอยด์บางชนิดสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน เช่น นม เบียร์ และเม็ดเลือด แต่บางชนิดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา

#### 1) ประเภทของคอลลอยด์

สถานะคอลลอยด์อาจเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลวและแก๊สที่มีการกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่อาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือแก๊สก็ได้ แต่คอลลอยด์ในระบบแก๊สกระจายตัวในตัวกลางที่เป็นแก๊ส เพราะแก๊สกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันตามสมบัติของแก๊ส ดังนั้นคอลลอยด์จึงสามารถแบ่งตามสถานะของตัวกลางและอนุภาค ดังนี้

1.1) โซล (sols) เป็นคอลลอยด์ที่เกิดจากอนุภาคของแข็งฟุ้งกระจายในตัวกลางที่เป็นของเหลว ซึ่งเมื่อตั้งทิ้งไว้นาน ๆ อนุภาคและตัวกลางจะแยกออกจากกัน คอลลอยด์ประเภทนี้ได้แก่ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ( $Mg(OH)_2$ ) ในน้ำ น้ำแป้ง และโปรตีนในน้ำ

1.2) อิมัลชัน (emulsion) เป็นคอลลอยด์ที่เกิดจากอนุภาคที่เป็นของเหลวฟุ้งกระจายในตัวกลางที่เป็นของเหลวเช่น นมสด และครีมเนย อิมัลชันส่วนหนึ่งจะไม่ค่อยเสถียรจะต้องมีใส่สารที่เรียกว่า emulsifying agent เพื่อทำให้อิมัลชันเสถียร

1.3) เจล (gel) เป็นคอลลอยด์ที่เกิดจากอนุภาคที่เป็นของแข็งฟุ้งกระจายในตัวกลางที่เป็นของเหลว โดยอนุภาคของแข็งจะสานกันเป็นตาข่ายอย่างต่อเนื่องกับตัวกลาง เช่นวุ้น เจลลี่ และเจลาติน

1.4) ละอองลอย (aerosol) เป็นคอลลอยด์ที่เกิดจากอนุภาคที่เป็นของแข็งหรือของเหลวฟุ้งกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นแก๊ส เช่น หมอก และควัน

### ตารางที่ 2.4 ประเภทของคอลลอยด์

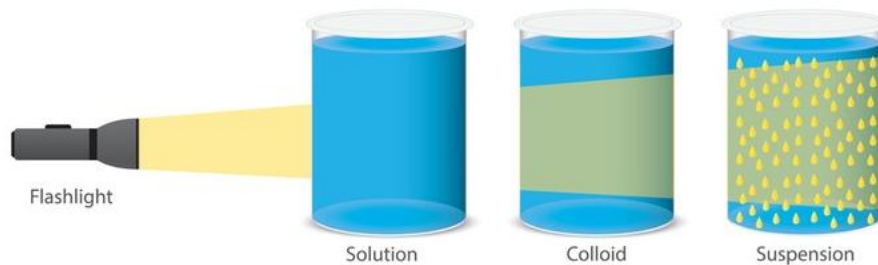
สถานะคอลลอยด์	อนุภาคฟุ้งกระจายในตัวกลาง	ตัวกลาง	ชนิดคอลลอยด์	ตัวอย่าง
แก๊ส	แก๊ส	แก๊ส	-	-
แก๊ส	แก๊ส	ของเหลว	ละอองลอย	หมอก (fog)
แก๊ส	แก๊ส	ของแข็ง	ละอองลอย	ควัน (smoke)
ของเหลว	ของเหลว	แก๊ส	โฟม	ครีม (whipped cream)
ของเหลว	ของเหลว	ของเหลว	อิมัลชัน	นม (milk)
ของเหลว	ของเหลว	ของแข็ง	โซล	สี (paint)
ของแข็ง	ของแข็ง	แก๊ส	โฟมของแข็ง	ขนมหวานละลายในปาก (marshmallow)
ของแข็ง	ของแข็ง	ของเหลว	อิมัลชันของแข็ง	เนย (butter)
ของแข็ง	ของแข็ง	ของแข็ง	โซลของแข็ง	แก้ว (ruby glass)

## 2) สมบัติของคอลลอยด์

คอลลอยด์มีขนาดของอนุภาคที่อยู่ระหว่างสารแขวนลอยและสารละลาย ดังนั้นสมบัติคอลลอยด์บางประการจึงคล้ายกับสารละลาย ได้แก่

2.1) อนุภาคคอลลอยด์ที่ฟุ้งกระจายไปในตัวกลางที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ไม่แน่นอน เมื่ออนุภาคของคอลลอยด์เคลื่อนที่มาชนกัน จะกระจัดกระจายไปทั่วตัวกลางจึงมีผลทำให้คอลลอยด์ไม่ตกตะกอน ลักษณะการเคลื่อนที่แบบนี้เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบบราวน์เนียน (Brownian motion) โดยจุดเริ่มต้นเกิดจาก บราวน์ (Robert Brown, ค.ศ.1828) พฤษศาสตร์ชาวสก๊อตได้สังเกตเห็นการเคลื่อนที่แบบสุ่มทิศทางการของละอองเรณู (pollen grain) ในน้ำนิ่งจากกล้องจุลทรรศน์ และเห็นอนุภาคเหล่านั้น (ทั้งที่ไม่มีชีวิต) เคลื่อนที่ได้อย่างสะเปะสะปะไร้ระเบียบด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยไม่มีทิศทางแน่นอน จึงเป็นที่มาของการเรียกว่า การเคลื่อนที่แบบสุ่ม เพราะไม่สามารถรู้ล่วงหน้าได้ว่าอนุภาคจะอยู่ ณ ที่ใด และมีความเร็วเท่าใด

2.2) ถ้าส่องลำแสงเข้าไปยังคอลลอยด์จะสามารถมองเห็นลำแสงสว่างในคอลลอยด์ได้ เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่พอที่ลำแสงสามารถตกกระทบแล้วเกิดการกระเจิงของแสงได้ เราเรียกว่า ปรากฏการณ์ทินดอลล์ (Tyndall effect) ดังภาพที่ 2.9 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวไอร์แลนด์ชื่อ ทินดอลล์ (John Tyndall, ค.ศ.1869) ได้ค้นพบการมองเห็นลำแสงที่ผ่านคอลลอยด์ ส่วนกรณีสารละลายจะไม่เกิดปรากฏการณ์ทินดอลล์ เนื่องจากขนาดของตัวละลายเล็กมากจนแสงสามารถรอดผ่านไปได้ ตัวอย่างปรากฏการณ์ทินดอลล์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เช่น เมื่อฉายไฟเข้าไปในหมอกหรือกลุ่มควัน จะเห็นลำแสงในหมอกหรือกลุ่มควัน หรือปรากฏการณ์รุ้งกินน้ำที่เกิดจากโมเลกุลของละอองน้ำเกิดการกระเจิงกับแสงอาทิตย์ หลังจากที่ฝนตก หรือ การกระเจิงของฝุ่น (dust) ในอากาศกับแสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.9 การกระเจิงของแสงในคอลลอยด์

2.3) อนุภาคคอลลอยด์บางชนิดมีประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาค เมื่อนำไปละลายในตัวทำละลายในตัวกลางที่มีอนุภาคไฟฟ้าตรงกันข้ามจึงเกิดแรงดึงดูดต่อกัน มีผลทำให้อนุภาคฟุ้งกระจายอยู่ในตัวกลางได้

### สรุปท้ายบทเรียน

สารละลายคือสารผสมของสารสองชนิดหรือมากกว่าสองชนิด ปริมาณของส่วนประกอบเปลี่ยนแปลงได้ แต่เปลี่ยนแปลงอยู่ในขอบเขตจำกัด ส่วนประกอบของสารละลายมักเป็นสารบริสุทธิ์ที่อาจเป็นแก๊ส ของเหลวหรือของแข็ง ส่วนประกอบที่มีปริมาณมากกว่าเรียกว่า ตัวทำละลาย ส่วนประกอบที่มีอยู่ในปริมาณน้อยกว่า เรียกว่า ตัวละลาย สารละลายมีสถานะเป็นได้ทั้งสารละลาย

แก๊ส สารละลายของเหลว และสารละลายของแข็ง ค่าการละลายเป็นการบอกปริมาณที่มากที่สุดของตัวละลายที่จะละลายได้ในตัวทำละลายปริมาณหนึ่ง และที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ การละลายเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของตัวละลายกระจายเข้าไปอยู่ระหว่างอนุภาคของตัวทำละลายได้อย่างทั่วถึง ปัจจัยสำคัญของการละลาย คือความแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวละลายและตัวทำละลาย สมบัติคอลลิเกทีฟ คือสมบัติทางกายภาพของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไปจากตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจุดเดือด การลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็ง การลดลงของความดันไอ ความร้อนแฝงของการเป็นไอ และความดันออสโมติก สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลายจะขึ้นกับปริมาณของตัวละลายที่มีอยู่ในสารละลายเท่านั้น จะไม่ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดหรือธรรมชาติของตัวละลาย สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลายมีพื้นฐานจากความดันไอที่แตกต่างกันระหว่างสารละลายและตัวทำละลายบริสุทธิ์ คอลลอยด์คือสถานะสารที่เกิดจากการฟุ้งกระจายของอนุภาค (โมเลกุล หรือไอออน) ซึ่งอาจอยู่ในสถานะแก๊ส ของเหลว หรือของแข็งในตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือแก๊ส เป็นการกระจายของอนุภาคขนาดเล็กประมาณ 5–1,000 nm แขนวลอยอยู่ในตัวกลางในทุกส่วนของสารละลาย อนุภาคแขวนลอยอาจเป็นกลุ่มของโมเลกุลหรือไอออน คอลลอยด์ไม่จัดเป็นสารเนื้อเดียวหรือสารเนื้อผสมอย่างแท้จริง เพราะลักษณะขององค์ประกอบของคอลลอยด์บางชนิดสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน เช่น นม เบียร์ และเม็ดเลือด แต่บางชนิดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา

**วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน**

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

**กิจกรรมที่มอบหมาย**

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 2.1
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

**การวัดผล**

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

**แบบฝึกหัด**

1. แบบฝึกหัด 2.1

### เอกสารอ้างอิง

- โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน. (2557). *เคมี 3 (แก๊ส เทอร์โมไดนามิกส์ สมดุลเคมี ไฟฟ้าเคมี จลนศาสตร์เคมี)*. บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.
- รานี สุวรรณพฤกษ์. (2553). *เคมีทั่วไป สำหรับสาขาวิศวกรรมศาสตร์ เล่ม 1 (พิมพ์ครั้งที่ 3)*. บริษัทวิทย์พัฒน์ จำกัด.
- อภิสิษฐ์ ศงสะเสน, สรณนรินทร์ บังเกิดผล และอาทิตย์ สกุลตันติเมธา. (2554). *เคมีทั่วไปสำหรับวิศวกร*. บริษัททริฟเพิ้ลกรุ๊ป จำกัด.
- อินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโกคา. (2554). *เคมีทั่วไป สำหรับบัณฑิตวิศวกรรมศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง) (พิมพ์ครั้งที่ 9)*. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online ed.).  
<https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>
- Brown, L.S., & Holme, T.A. (2018). *Chemistry for Engineering Students* (4<sup>th</sup> ed.). Thomson Brook Cole.
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

## หน่วยที่ 2

### สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย

#### บทเรียนที่ 2.2 ความเข้มข้นสารละลาย

##### จุดประสงค์

1. บอกความหมายความเข้มข้นสารละลาย
2. คำนวณหน่วยความเข้มข้น

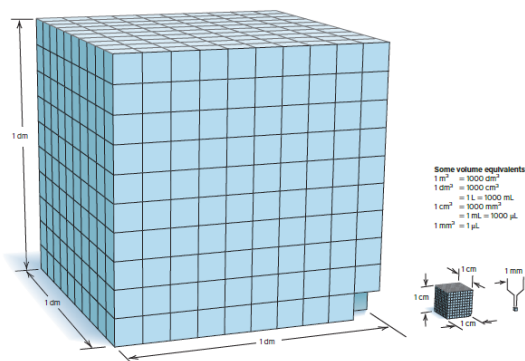
#### 2.2.1 ความหมายของความเข้มข้นสารละลาย

ความเข้มข้นของสารละลาย คือการบอกปริมาณตัวละลาย (solute) ในตัวทำละลาย (solvent) ในปริมาตรสุทธิที่กำหนดอย่างแน่นอน หน่วยปริมาตรของสารละลายในหน่วยอนุพัทธ์เอสไอ (SI unit) คือ ลูกบาศก์เมตร ( $m^3$ ) แต่ในทางเคมีมักนิยมใช้หน่วย ลิตร (liter, L) และมิลลิลิตร (milliliter, mL) และการวัดของเหลวในร่างกายมักใช้หน่วยลูกบาศก์เดซิเมตร ( $dm^3$ ) ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงอาจถือได้ว่า

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$$

และ 1 mL จะใกล้เคียงหรือเท่ากับ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ( $cm^3$ ) ดังนั้น

$$1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3 = 10^{-3} \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ L} = 10^{-6} \text{ m}^3$$



ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ของปริมาตรในหน่วยเอสไอ. จาก *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (p. 14). M.S. Silberberg & P.G. Amateis, 2021, McGraw-Hill.

#### 2.2.2 หน่วยความเข้มข้น

##### 1) หน่วยร้อยละ (percentage, %)

1.1) ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (%weight per weight; %w/w) หมายถึง น้ำหนักของตัวละลายในน้ำหนักรวมของสารละลาย 100 ส่วน เช่น สารละลาย KCl 5%w/w มีความหมายว่า สารละลาย 100 g จะประกอบด้วย KCl 5 g และน้ำ 95 g

1.2) ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%weight per volume; %w/v) หมายถึง น้ำหนักของตัวละลายในปริมาตรสารละลาย 100 ส่วน เช่น สารละลาย KCl 5%w/v มีความหมายว่า สารละลาย 100 mL มี KCl ละลายอยู่ 5 g

1.3) ร้อยละโดยปริมาตรต่อปริมาตร (%volume per volume; %v/v) หมายถึง ปริมาตรของตัวละลายในสารละลาย 100 ส่วน มักใช้กับสารละลายที่เกิดจากการละลายของเหลวในของเหลว เช่น เอทานอล (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) 10%v/v ในน้ำ มีความหมายว่า สารละลายเอทานอล 100 mL มีเอทานอลละลายอยู่ 10 mL

การแปลงจาก %w/v เป็นหน่วยโมลาร์ เมื่อทราบน้ำหนักโมเลกุลของตัวละลาย

$$M = \frac{10 \times \%w/v}{MM}$$

การแปลงจาก w/w เป็นหน่วยโมลาร์ เมื่อทราบความหนาแน่นของสารละลาย (d)

$$M = \frac{10 \times \%w/w \times d}{MM}$$

การแปลงจาก %v/v เป็นหน่วยโมลาร์ เมื่อทราบความหนาแน่นของตัวละลาย (D)

$$M = \frac{10 \times \%v/v \times D}{MM}$$

## 2) หน่วยโมลาริตี

โมลาริตี (molar หรือ molarity, M) เป็นหน่วยที่นิยมใช้มากในทางเคมี เป็นการบอกหน่วยของสารละลายที่บอกเป็นโมลของตัวละลายในสารละลาย 1 L เช่น KOH 0.25 mol/L มีความหมายว่า ในสารละลาย 1 L มี KOH ละลายอยู่ 0.25 mol

$$M = \frac{n}{1 \text{ L}} \quad \dots(2.6)$$

เมื่อ  $M =$  โมลาริตี (mol/L)

$n =$  จำนวนโมลตัวละลาย (mol)

หน่วยโมลาริตีมักเรียกสั้น ๆ ว่าโมลาร์ มีหน่วยเป็น โมลต่อลิตร (mol/L) และในการเตรียมสารละลายในหน่วยโมลาร์ ที่ปริมาตรสุทธิของสารละลายที่ต้องการ อาจใช้สูตร คือ

$$M = \left( \frac{g}{MM} \right) \left( \frac{1000}{V} \right) \quad \dots(2.7)$$

เมื่อ  $M =$  โมลาริตี (mol/L)

$g =$  น้ำหนักสาร (หน่วย g)

$MM =$  มวลต่อโมล (molar mass) (หน่วย g/mol)

$V =$  ปริมาตรสารละลาย (หน่วย mL)

ตัวอย่าง 2.2 เมื่อละลาย  $\text{KMnO}_4$  1.000 g ในน้ำปริมาตร 250 mL จงคำนวณความเข้มข้นเป็นโมลาร์  
วิธีคิด น้ำหนักโมเลกุล  $\text{KMnO}_4$  เท่ากับ 158.03 g/mol

$$M = \left( \frac{1.000 \text{ g}}{158.03 \text{ g/mol}} \right) \left( \frac{1000 \text{ mL}}{250 \text{ mL}} \right) = 0.02531 \text{ mol/L}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นเท่ากับ 0.02531 mol/L

ตัวอย่าง 2.3 ต้องการเตรียม  $\text{CaCO}_3$  0.25 mol/L ปริมาตร 500 mL จะต้องใช้  $\text{CaCO}_3$  จำนวนกี่กรัม  
วิธีคิด น้ำหนักโมเลกุล  $\text{CaCO}_3 = 100 \text{ g/mol}$

$$g = (0.25 \text{ mol/L} \times 100 \text{ g/mol}) \left( \frac{500 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \right)$$

$$= 12.5 \text{ g}$$

ดังนั้น จะต้องชั่ง  $\text{CaCO}_3$  จำนวน 12.5 g

### 3) หน่วยนอร์มัลลิตี

นอร์มัลลิตี (normality, N) หรือเรียกว่า นอร์แมล (normal) คือ จำนวนกรัมสมมูล ( $g_{\text{eq.wt.}}$ )  
ของตัวละลายในสารละลาย 1 L เช่น สารละลายกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) 1.0 N มีความหมายว่า ใน  
สารละลายปริมาตร 1 L มีกรดไนตริกละลายอยู่ 1 กรัมสมมูล

$$N = \frac{g_{\text{eq.wt.}}}{1 \text{ L}} \quad \text{.....(2.8)}$$

เมื่อ  $g_{\text{eq.wt.}}$  = จำนวนกรัมสมมูล (gram equivalent weight)

$$g_{\text{eq.wt.}} = \frac{\text{wt.}}{\text{eq.wt.}} \quad \text{.....(2.9)}$$

$$\text{eq.wt.} = \frac{g_{\text{FW}}}{n} \quad \text{.....(2.10)}$$

เมื่อ wt. = น้ำหนักของตัวละลาย (g)

eq.wt. = น้ำหนักกรัมสมมูล

$g_{\text{FW}}$  = กรัมน้ำหนักสูตรตัวละลาย

n = จำนวนเวเลนซี

น้ำหนักสมมูลของสาร คำนวณได้จากสมการ (2.9) ซึ่งจำนวนเวเลนซีจะต้องพิจารณาจาก  
ชนิดของสารนั้น ๆ ดังนี้

1) น้ำหนักสมมูลของกรด-เบส

กรด จำนวนเวเลนซี คือ จำนวน  $\text{H}^+$  ที่สามารถถูกแทนที่ได้ด้วยโลหะ เช่น



เบส จำนวนเวเลนซี คือ จำนวน  $\text{H}^+$  ที่เข้าไปแทนที่  $\text{OH}^-$  ในเบส

KOH                    มี  $n = 1$

Mg(OH)<sub>2</sub>            มี  $n = 2$

2) น้ำหนักสมมูลของเกลือ พิจารณาจากจำนวนเวเลนซ์ทั้งหมดของแคตไอออน หรือแอนไอออน จำนวนเวเลนซ์ คือ ผลคูณระหว่างเลขจำนวนแคตไอออนและแอนไอออน (ตัวห้อย) เช่น

KF                      มี  $n = 1$

Al<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>            มี  $n = 2 \times 3 = 6$

3) น้ำหนักสมมูลของสารออกซิไดส์ (oxidizing agent) หรือสารรีดิวซ์ (reducing agent) ในปฏิกิริยารีดอกซ์ พิจารณาจากเลขออกซิเดชัน (oxidation number) ที่เปลี่ยนแปลงไปต่อ 1 โมเลกุล

สารออกซิไดส์หรือสารรีดิวซ์ที่นิยมใช้ในการทดลองทางเคมี แสดงดังตารางที่ 2.5 ซึ่งจะเห็นว่าเลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนแปลงไปในปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นกับสภาวะกรด-เบสของสารละลายด้วย

ตารางที่ 2.5 น้ำหนักสมมูลของสารออกซิไดส์หรือสารรีดิวซ์

สาร	ชนิด	สภาวะสารละลาย	ผลิตภัณฑ์	เลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนแปลง	น้ำหนักสมมูล
KMnO <sub>4</sub>	สารออกซิไดส์	กรด	Mn <sup>2+</sup>	5	g <sub>FW</sub> /5
KMnO <sub>4</sub>	สารออกซิไดส์	เบส	MnO <sub>2</sub>	3	g <sub>FW</sub> /3
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	สารออกซิไดส์	กรด	Cr <sup>3+</sup>	3x2	g <sub>FW</sub> /6
I <sub>2</sub>	สารออกซิไดส์	กรด	I <sup>-</sup>	1	g <sub>FW</sub> /1
KH(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	สารออกซิไดส์	กรด	I <sub>2</sub>	6x2	g <sub>FW</sub> /12
K(IO <sub>3</sub> )	สารออกซิไดส์	กรด	I <sub>2</sub>	6	g <sub>FW</sub> /6
Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	สารรีดิวซ์	กรด	CO <sub>2</sub>	1x2	g <sub>FW</sub> /2
KI	สารรีดิวซ์	กรด	I <sub>2</sub>	1	g <sub>FW</sub> /1
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	สารรีดิวซ์	กรด	S <sub>4</sub> O <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	1	g <sub>FW</sub> /1

หมายเหตุ. จาก เคมีวิเคราะห์: หลักการและเทคนิคการคำนวณเชิงปริมาณ (หน้า 37), โดย วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2565, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**ตัวอย่าง 2.4** อธิบายการเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.500 N ปริมาตร 500.0 mL จากสารละลายกรด H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เข้มข้น 98%w/w (น้ำหนักสูตร H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เท่ากับ 98.08 g/mol, ความถ่วงจำเพาะ 1.84)

**วิธีคิด** เนื่องจาก H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> มีจำนวน H<sup>+</sup> ที่สามารถถูกแทนที่ด้วยโลหะ จำนวน 2 ตัว ดังนั้น จำนวนเวเลนซ์ ( $n$ ) = 2 น้ำหนักสมมูล (eq.wt.) และกรัมสมมูล (g<sub>eq.wt.</sub>) คำนวณได้ดังนี้

$$\text{จาก} \quad N = \text{wt.} \times \left( \frac{n}{g_{\text{eq.wt.}}} \right)$$

$$\text{wt.} = \frac{0.500 \text{ N} \times 98.08 \text{ g/mol}}{2} = 24.52 \text{ g}$$

ปริมาตรที่ต้องการเตรียม 500.0 mL คำนวณน้ำหนัก

$$\text{wt.} = 24.52 \text{ g} \times \left( \frac{250 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \right) = 12.26 \text{ g}$$

คำนวณปริมาตร

$$V = 12.26 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mL}}{1.84 \text{ g}} = 6.66 \text{ mL}$$

ดังนั้น ต้องปิเปตสารละลายกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น 98%w/w ปริมาตร 6.66 mL แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 500 mL

ตัวอย่าง 2.5 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) จำนวน 24.5 กรัม ละลายในน้ำ 1 L จงหาความเข้มข้นของ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ในหน่วย ก) โมลาร์ และ ข) นอร์มัล (น้ำหนักโมเลกุลของ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เท่ากับ 98.0 g/mol) วิธีคิด ก) คำนวณหน่วย โมลาร์

$$\text{จำนวนโมลของ } \text{H}_2\text{SO}_4 = 24.5 \text{ g } \text{H}_2\text{SO}_4 \times \left( \frac{1 \text{ mol } \text{H}_2\text{SO}_4}{98.0 \text{ g/mol } \text{H}_2\text{SO}_4} \right) = 0.25 \text{ mol}$$

$$\text{จากสมการ (2.7)} \quad M = \frac{0.25 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0.25 \text{ mol/L}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายซัลฟิวริก เท่ากับ 0.25 mol/L

ข) คำนวณหน่วย นอร์มัล

$$\text{น้ำหนักสมมูลของ } \text{H}_2\text{SO}_4 = (98.0/2) = 49.0$$

$$\text{จำนวนกรัมสมมูลของ } \text{H}_2\text{SO}_4 = \frac{24.5}{49.0} = 0.5$$

$$\text{จากสมการ (2.8)} \quad N = \frac{0.50}{1 \text{ L}} = 0.50$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก เท่ากับ 0.50 N

#### 4) หน่วยโมแลลิตี

หน่วยโมแลลิตี (molality, molal, m) หรือเรียกว่า โมแลล (molal) คือ หน่วยความเข้มข้นที่เป็นอัตราส่วนของจำนวนโมลของตัวละลายต่อมวลของสารละลาย 1 กิโลกรัม

$$m = \frac{n}{1 \text{ kg}} \quad \dots\dots(2.11)$$

เมื่อ  $n$  = จำนวนโมลตัวละลาย

**ตัวอย่าง 2.6** คำนวณความเข้มข้นหน่วยโมลแลลของสารละลายกลูโคส ( $C_6H_{12}O_6$ ) 100.0 g ในน้ำ 500 g (น้ำหนักโมลแลลของ  $C_6H_{12}O_6$  เท่ากับ 180.06 g/mol)

**วิธีคิด**  $n_{C_6H_{12}O_6} = 100.0 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{180.06 \text{ g}} = 0.5554 \text{ mol}$

น้ำ 500 g มี  $C_6H_{12}O_6$  ละลายอยู่ 0.5554 mol

ถ้า น้ำ 1000 g จะมี  $C_6H_{12}O_6$  ละลายอยู่  $= \frac{(0.5554 \text{ mol} \times 1000 \text{ g})}{500 \text{ g}} = 1.11 \text{ mol}$

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสเท่ากับ 1.11 โมลแลล

### 5) หน่วยส่วนในล้านส่วน

ส่วนในล้านส่วน (part per million, ppm) หรือเรียกว่า พีพีเอ็ม เป็นหน่วยน้ำหนักของตัวละลายในหนึ่งล้านส่วนน้ำหนักของสารละลาย หน่วยนี้นิยมใช้กับการรายงานปริมาณสารที่มีจำนวนน้อย ๆ หน่วยพีพีเอ็ม อาจเขียนได้หลายหน่วยด้วยกันแต่มีความหมายเดียวกัน เช่น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) หรือมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) หรือไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ( $\mu\text{g/mL}$ ) หรือไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ( $\mu\text{g/g}$ ) เป็นต้น เช่น สารละลาย  $\text{Cu}^{2+}$  100 ppm หมายความว่า ในสารละลาย 1 L มี  $\text{Cu}^{2+}$  ละลายอยู่ 100 mg

$$\text{ppm} = \frac{\text{mg}_{(\text{solute})}}{1 \text{ L}} \quad \dots(2.12)$$

เมื่อ  $\text{ppm} = \text{ส่วนในล้านส่วน (mg/L, mg/kg)}$

$\text{mg}_{(\text{solute})} = \text{น้ำหนักตัวละลาย}$

**ตัวอย่าง 2.7** จงคำนวณน้ำหนัก  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  (189.40 g/mol) เพื่อใช้เตรียมสารละลายมาตรฐาน  $\text{Zn}^{2+}$  ความเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 1 L

**วิธีคิด**  $\text{Zn}^{2+}$  1000 ppm คือ สารละลาย 1 L มี  $\text{Zn}^{2+}$  ละลายอยู่ 1000 mg (หรือ 1.000 g)

เนื่องจากไอออน  $\text{Zn}^{2+}$  มีอัตราส่วนในสูตรเคมี  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  เป็น 1:1

$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  หนัก 189.40 g มีไอออน  $\text{Zn}^{2+}$  เป็นองค์ประกอบอยู่เท่ากับ 65.39 g

หรือกล่าวได้ว่า

ไอออน  $\text{Zn}^{2+}$  หนัก 65.39 g เป็นองค์ประกอบของ  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  ที่หนัก 189.40 g

ถ้าเราต้องการ  $\text{Zn}^{2+}$  หนัก 1.000 g จะต้องชั่ง  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  ดังนี้

$$\frac{1.000 \text{ g} \times 189.40 \text{ g}}{65.39 \text{ g}} = 2.896 \text{ g}$$

ดังนั้น เมื่อนำ  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  หนัก 2.896 g ละลายน้ำปริมาตร 1 L จะได้ความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{Zn}^{2+}$  เท่ากับ 1000 ppm

หรือคำนวณวิธีการเปลี่ยนแฟกเตอร์ ได้ดังนี้

$$\text{wt.}_{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2} = 1.000 \text{ g Zn}^{2+} \times \left( \frac{1 \text{ mol Zn}^{2+}}{65.39 \text{ g Zn}^{2+}} \right) \left( \frac{189.40 \text{ g Zn}(\text{NO}_3)_2}{1 \text{ mol Zn}(\text{NO}_3)_2} \right) = 2.896 \text{ g}$$

### 6) หน่วยเศษส่วนโมล

เศษส่วนโมล (mol fraction, X) คืออัตราส่วนของจำนวนโมลของตัวละลายหรือตัวทำละลายต่อจำนวนโมลทั้งหมดในสารละลาย

$$X = \frac{n_{(1)}}{n_{(total)}} \quad \dots(2.13)$$

เมื่อ  $X =$  เศษส่วนโมล

$n_{(1)}$  = จำนวนโมลของตัวละลาย ชนิดที่ 1

$n_{(total)}$  = จำนวนโมลทั้งหมดของสารละลาย

สารละลายผสมประกอบสารละลาย a และสารละลาย b ดังนั้น

$n_a$  เป็น จำนวนโมลของตัวละลาย

$n_b$  เป็น จำนวนโมลของตัวทำละลาย

$$X_a = \frac{n_a}{n_a + n_b} \quad \text{และ} \quad X_b = \frac{n_b}{n_a + n_b}$$

ผลรวมของเศษส่วนโมลของตัวละลายกับตัวทำละลายมีค่าเท่ากับ  $X_a + X_b = 1$

**ตัวอย่าง 2.8** เมื่อเติมเอทานอลบริสุทธิ์ ( $C_2H_5OH$ ) หนัก 20 g ลงในน้ำหนัก 100 g จงคำนวณเศษส่วนโมลขององค์ประกอบทั้งสองเป็นเท่าใด

**วิธีคิด** เอทานอล ( $C_2H_5OH$ ) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 46.07 g/mol

น้ำ ( $H_2O$ ) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 18.02 g/mol

$$n_{C_2H_5OH} = 20 \text{ g } C_2H_5OH \times \left( \frac{1 \text{ mol } C_2H_5OH}{46.07 \text{ g } C_2H_5OH} \right) = 0.434 \text{ mol}$$

$$n_{H_2O} = 100 \text{ g } H_2O \times \left( \frac{1 \text{ mol } H_2O}{18.02 \text{ g } H_2O} \right) = 5.55 \text{ mol}$$

ดังนั้น เศษส่วนโมลของน้ำ

$$X_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{(n_{H_2O} + n_{C_2H_5OH})} = \frac{5.55}{(5.55+0.434)} = 0.927$$

เศษส่วนโมลของเอทานอล

$$X_{C_2H_5OH} = \frac{n_{C_2H_5OH}}{(n_{H_2O} + n_{C_2H_5OH})} = \frac{0.434}{(5.55+0.434)} = 0.0730$$

ผลรวมของเศษส่วนโมลของน้ำและเอทานอล  $0.927 + 0.073 = 1$

### 7) หน่วยอัตราส่วนเจือจาง

อัตราส่วนเจือจาง (dilution ratio) คือ อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างสารสองชนิด หรือมากกว่าสองชนิด โดยระบุอัตราส่วนเป็นตัวเลขอยู่ในวงเล็บและคั่นด้วยเครื่องหมายทวิภาค (:) อัตราส่วนเจือจางนิยมใช้ในสารละลายกรดและเบสในน้ำ เลขตัวแรกแสดงถึงปริมาตรของกรดหรือ

เบส ส่วนตัวเลขหลังแสดงถึงปริมาตรของน้ำที่ใช้เจือจาง เช่น กรด HCl (1:3) หมายถึง ในสารละลาย กรด HCl 4 ส่วน ประกอบด้วยกรด HCl เข้มข้น 1 ส่วน และมีน้ำ 3 ส่วน หรืออาจกล่าวได้ว่า กรด HCl เข้มข้น 1 หน่วยปริมาตร ต่อน้ำ 3 หน่วยปริมาตร

**ตัวอย่าง 2.9** จงอธิบายการเตรียมสารละลายกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ในน้ำให้มีความเข้มข้น (1:4) ปริมาตร 100 mL

**วิธีคิด** สารละลายกรด  $\text{HNO}_3$  เข้มข้น (1:4) ปริมาตร 100 mL หมายความว่า ในสารละลายกรด  $\text{HNO}_3$  100 mL มีกรด  $\text{HNO}_3$  1 หน่วยปริมาตร ต่อน้ำ 4 หน่วยปริมาตร

สารละลายกรด  $\text{HNO}_3$  5 ส่วน เท่ากับ 100 mL ดังนั้น 1 ส่วน เท่ากับ 20 mL

ดังนั้น ต้องใช้  $\text{HNO}_3$  20 mL ผสมกับน้ำ 80 mL

### 2.2.3 การเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารละลาย เป็นขั้นตอนการเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลองให้มีความเข้มข้น ตามที่เราต้องการ การเตรียมสารละลายจากสารตั้งต้นที่เป็นของแข็งหรือของเหลว จำเป็นจะต้อง ทราบข้อมูลของสารเคมีนั้นเสียก่อน โดยดูได้จากฉลากที่ขวดสารเคมี ข้อมูลที่จำเป็น เช่น ชื่อสารเคมี สูตรโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล ข้อมูลแสดงความปลอดภัยของสารเคมี ระดับความเข้มข้น และองค์ประกอบ ของสารเคมี เป็นต้น โดยส่วนใหญ่สารเคมีที่นำมาเตรียมเป็นสารละลายจะเป็นของแข็งและของเหลว ขั้นตอนการเตรียมอาจสรุปได้ดังนี้

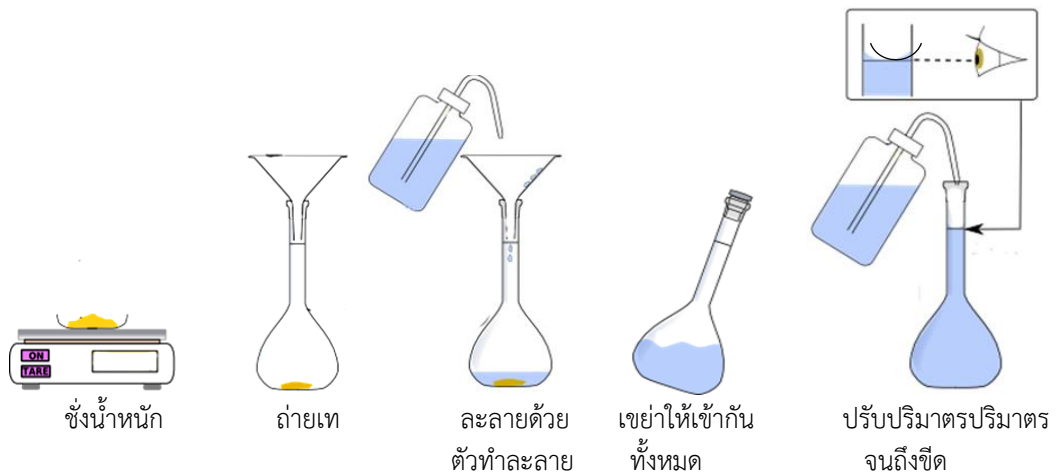
ขั้นที่ 1 การคำนวณน้ำหนักหรือปริมาตรที่ต้องการ เพื่อใช้สำหรับการเตรียม สารละลายในหน่วยความเข้มข้นที่ต้องการ ขั้นตอนนี้ผู้เตรียมต้องทราบว่าเตรียมสารละลายนั้นใน หน่วยความเข้มข้นใด ปริมาตรสุดท้ายที่ต้องการเตรียม เป็นต้น สารเคมีบางประเภทจำเป็นต้องผ่าน การอบเพื่อกำจัดความชื้นเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมงเสียก่อน เช่น สารมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard reagents) สำหรับการหาความเข้มข้นแน่นอน (standardization)

ขั้นที่ 2 การชั่งหรือตวง ขั้นตอนนี้ผู้เตรียมต้องทำการชั่งหรือตวงสารตามที่คำนวณ ข้างต้น การเตรียมสารละลายที่ต้องการความเข้มข้นแน่นอนหรือถูกต้องนิยมใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียด 4 หรือ 5 ตำแหน่ง แต่ถ้าต้องการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นโดยประมาณจะใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง เช่น การเตรียมสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ (secondary standard solution) ส่วนการ ตวงปริมาตรที่แน่นอนนิยมใช้ปิเปต

ขั้นที่ 3 การถ่ายสารที่ชั่งลงในขวดกำหนดปริมาตร (volumetric flask) หรือภาชนะ ที่เหมาะสม ทำได้โดยการใช้ตัวทำละลายปริมาณเล็กน้อยละลายสารให้หมดเสียก่อน แล้วจึงเทใส่ขวด กำหนดปริมาตร หรืออาจเทของแข็งที่ชั่งลงในขวดกำหนดปริมาตรก่อนแล้วค่อยเติมตัวทำละลาย ควร ใช้ตัวทำละลายล้างภาชนะที่ใช้ชั่งสารแล้วเทใส่ขวดกำหนดปริมาตร เนื่องจากอาจมีสารบางส่วนติดที่ ผิวงภาชนะ

ขั้นที่ 4 การปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายให้ได้ปริมาตรตามที่ต้องการ ขวดกำหนด ปริมาตรจะมีขีดบอกปริมาตร อย่าเติมให้สารละลายเกินขีดบอกปริมาตรเป็นอันขาด เนื่องจากจะไม่สามารถคำนวณความเข้มข้นแน่นอนได้ โดยให้ส่วนโค้งล่างของระดับปริมาตรตัวทำละลายอยู่ระดับขีด บอกริมาตรของขวดกำหนดปริมาตร โดยต้องดูที่ระดับสายตา

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโดยทั่วไปที่ต้องการความเที่ยงของความเข้มข้นจะต้องเตรียมโดยใช้อุปกรณ์ที่มีความเที่ยงที่ผ่านการทวนสอบ เช่น เครื่องชั่ง ปิเปต กระจบอขวด และขวดกำหนดปริมาตร เป็นต้น ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแสดงดังภาพที่ 2.11 แต่ในกรณีที่ไม่ต้องการความเที่ยงของปริมาตรสารละลายมากนัก อาจใช้ปิเปตในการเตรียมแบบประมาณ เนื่องจากสารละลายประเภทนั้นไม่อาจทราบความเข้มข้นแน่นอนได้อย่างแท้จริง แม้ใช้เครื่องแก้วที่มีปริมาตรแน่นอน เช่น สารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ



ภาพที่ 2.11 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายจากสารสถานะของแข็ง. จาก เคมีวิเคราะห์: หลักการและเทคนิคการคำนวณเชิงปริมาณ (หน้า 43) โดย วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2565, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

### 1) การเตรียมสารละลายหน่วยโมลาร์

หน่วยโมลาร์เป็นหน่วยความเข้มข้นของสารละลายที่นิยมใช้กันมากในการทดลองและห้องปฏิบัติการเคมี การคำนวณการเตรียมสารละลายหน่วยโมลาร์และขั้นตอนการเตรียมแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

1.1) กรณีสารตั้งต้นที่ใช้เตรียมเป็นของแข็ง คำนวณได้จากสมการ (2.7) หรือสามารถใช้วิธีการเปลี่ยนแพกเตอร์ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 2.10 อธิบายการเตรียมสารละลาย  $\text{KMnO}_4$  (158.03 g/mol) 0.0100 mol/L ปริมาตร 250.00 mL

วิธีคิด คำนวณน้ำหนัก  $\text{KMnO}_4$

$$\begin{aligned} \text{wt.} &= \left( \frac{0.0100 \text{ mol}}{1 \text{ L}} \right) \left( \frac{158.03 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \right) \left( 250.00 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \right) \\ &= 0.395 \text{ g} \end{aligned}$$

การเตรียม  $\text{KMnO}_4$  เข้มข้น 0.0100 mol/L ปริมาตร 250.00 mL ต้องชั่ง  $\text{KMnO}_4$  0.395 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อย เทใส่ขวดกำหนดปริมาตรขนาด 250.00 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

## 1.2) กรณีสารตั้งต้นที่เป็นสารละลาย

2.1) การคำนวณการเตรียมจากสารละลายเดียวกันที่มีความเข้มข้นสูงกว่า

$$M_1V_1 = M_2V_2 \quad \dots(2.14)$$

เมื่อ  $M_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า  
 $M_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการเตรียม  
 $V_1$  = ปริมาตรของสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า (mL)  
 $V_2$  = ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการเตรียม (mL)

การคำนวณกรณีนี้ ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการเตรียมต้องเป็นหน่วยเดียวกับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า โดยปิเปตสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าตามปริมาตรที่คำนวณได้ แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรตามที่ต้องการเตรียม

**ตัวอย่าง 2.11** อธิบายการเตรียมสารละลายกรด HCl เข้มข้น 0.100 mol/L ปริมาตร 500.00 mL จากสารละลาย HCl เข้มข้น 1.00 mol/L

**วิธีคิด**

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$1.00 \text{ mol/L} \times V_1 = 0.100 \text{ mol/L} \times 500.00 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0.100 \text{ mol/L} \times 500.00 \text{ mL}}{1.00 \text{ mol/L}}$$

$$= 50.0 \text{ mL}$$

ปิเปตสารละลายกรด HCl 1.00 mol/L มาปริมาตร 50.0 mL แล้วเจือจางให้ปริมาตรรวมเป็น 500.00 mL

การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายจากฉลากที่ปิดข้างขวด โดยทั่วไปฉลากที่ปิดข้างขวดสารละลายจะระบุความเข้มข้นในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก (%w/w) และระบุความหนาแน่น (g/mL) หรือความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของสารนั้น ๆ เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ตามฉลากระบุความบริสุทธิ์ หรือความเข้มข้น 36.5-38.0 %w/w ความถ่วงจำเพาะ 1.185-1.192 และในฉลากจะระบุรหัสสารเคมี (Chemical Abstracts Service; CAS number) ซึ่งเป็นรหัสบอกเลขอ้างอิงเฉพาะของสารเคมี ตารางที่ 2.6 แสดงความเข้มข้น %w/w ความถ่วงจำเพาะ และความเข้มข้นโดยประมาณของสารละลายกรดและเบสบางประเภท

**ตารางที่ 2.6** ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักและความเข้มข้นหน่วยโมลาร์ (โดยประมาณ) ของสารละลายบางประเภท

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	ร้อยละโดยน้ำหนัก(% w/w)	ความถ่วงจำเพาะ	ความเข้มข้น (โดยประมาณ) (mol/L)
กรดซัลฟิวริก	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98.08	98.0	1.84	18.4
กรดไนตริก	HNO <sub>3</sub>	63.01	70.5	1.42	15.9
กรดแอสติก	CH <sub>3</sub> COOH	60.05	99.6	1.05	17.4
กรดไฮโดรคลอริก	HCl	36.46	37.0	1.19	12.1
กรดฟอร์มิก	HCOOH	46.03	90	1.205	23.6
กรดฟอสฟอริก	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	98.00	85	1.71	14.8
แอมโมเนีย	NH <sub>3</sub>	17.03	30	0.90	15.9
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	34.01	30	-	-

ในการทดลองนิยมใช้ความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์หรือนอร์แมล ดังนั้น จึงจำเป็นต้องคำนวณความเข้มข้นของสารละลายที่บรรจุในขวดโดยอาศัยข้อมูลที่ระบุในฉลากที่ปิดข้างขวดก่อน เมื่อทราบความเข้มข้นของสารละลายที่บรรจุในขวดในหน่วยโมลาร์หรือนอร์แมล แล้วอาจเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าโดยการเจือจางโดยอาศัยสมการ (2.14)

**ตัวอย่าง 2.12** อธิบายการเตรียมสารละลาย HNO<sub>3</sub> เข้มข้น 0.50 mol/L ปริมาตร 100 mL จาก HNO<sub>3</sub> เข้มข้น (conc.) โดยที่ฉลากข้างขวดระบุข้อมูลดังนี้ ร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 70.5%w/w น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 63.01 g/mol และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.42

**วิธีคิด** ขั้นแรก คำนวณความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของ HNO<sub>3</sub> ในขวด จาก 70.5%w/w หมายความว่า สารละลายหนัก 100 g มี HNO<sub>3</sub> อยู่ 70.5 g

HNO<sub>3</sub> หนัก 70.5 g คิดเป็น mol ได้เท่ากับ

$$n_{\text{HNO}_3} = \frac{70.5 \text{ g}}{63.01 \text{ g}} = 1.12 \text{ mol}$$

ในสารละลาย 100 g มี HNO<sub>3</sub> อยู่ 1.12 mol

$$\text{จากสูตร } d = \frac{m}{v} \text{ หรือ } v = \frac{m}{d}$$

ความถ่วงจำเพาะของ HNO<sub>3</sub> เท่ากับ 1.42 มีความหมายคือ สารละลาย 1 mL จะมีน้ำหนักเท่ากับ 1.42 g ถ้าสารละลายหนัก 100 g คำนวณปริมาตรสารละลาย ได้ดังนี้

$$1 \text{ mL} \times \frac{100 \text{ g}}{1.42 \text{ g}} = 70.4 \text{ mL}$$

ดังนั้น ในสารละลาย 70.4 mL มีปริมาณ HNO<sub>3</sub> อยู่เท่ากับ 1.12 mol ถ้าในสารละลาย 1000 mL ความเข้มข้นของ HNO<sub>3</sub> คำนวณได้ดังนี้

$$M_{\text{HNO}_3} = 1.12 \text{ mol} \times \left( \frac{1000 \text{ mL}}{70.4 \text{ mL}} \right) = 15.9 \text{ mol/L}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $\text{HNO}_3$  70.5%w/w ที่บรรจุในขวดเท่ากับ 15.9 mol/L

ขั้นที่สอง คำนวณการเตรียมสารละลาย  $\text{HNO}_3$  0.50 mol/L ปริมาตร 100.0 mL จาก  $\text{HNO}_3$  15.9 mol/L

$$\text{จาก } M_1V_1 = M_2V_2$$

$$V_1 = \frac{0.50 \text{ mol/L} \times 100.0 \text{ mL}}{15.9 \text{ mol/L}} = 3.2 \text{ mL}$$

ดังนั้น ต้องปิเปตสารละลาย  $\text{HNO}_3$  เข้มข้น ปริมาตร 3.2 mL แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 100.0 mL ในขวดกำหนดปริมาตร

## 2) การเตรียมสารละลายหน่วยส่วนในล้านส่วน

การเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยมากอาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ สารละลายที่ระบุความเข้มข้นของไอออน สารละลายที่ระบุความเข้มข้นเฉพาะธาตุ และสารละลายที่ระบุความเข้มข้นของสารตามสูตรเคมี

การเตรียมสารละลายที่ระบุความเข้มข้นเฉพาะไอออนหรือเฉพาะธาตุจะแตกต่างจากการเตรียมสารละลายตามสูตรเคมี โดยที่การคำนวณจะต้องพิจารณาจากน้ำหนักไอออนหรือธาตุในสูตรเคมีที่ต้องการเตรียมมีความเข้มข้นหนึ่ง ๆ เช่น ถ้าต้องการวิเคราะห์ไอออนฟลูออไรด์ในสารตัวอย่าง การเตรียมสารละลายจะต้องคำนวณน้ำหนักฟลูออไรด์ในสูตรของสารประกอบฟลูออไรด์ที่นำมาเตรียม เช่น  $\text{NaF}$  และ  $\text{CaF}_2$  โดยการเตรียมเป็นสารละลายจะต้องคำนึงถึงสูตรเคมีของสารนั้นว่าหนึ่งหน่วยสูตรสามารถแตกตัวให้ไอออนจำนวนกี่ไอออน เช่น  $\text{NaF}$  แตกตัวในน้ำให้  $\text{Na}^+$  และ  $\text{F}^-$  อย่างละ 1 ไอออน ส่วน  $\text{CaF}_2$  แตกตัวให้  $\text{Ca}^{2+}$  1 ไอออน และ  $\text{F}^-$  2 ไอออน

**ตัวอย่าง 2.13** อธิบายการเตรียมสารละลายมาตรฐานฟลูออไรด์ ( $\text{F}^-$ ) ความเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 200.0 mL จาก  $\text{NaF}$  (41.99 g/mol) กำหนดน้ำหนักอะตอม F เท่ากับ 19.00 g/mol

**วิธีคิด** ต้องการ  $\text{F}^-$  1000 mg ในสารละลาย 100.0 mL ดังนั้น ต้องคำนวณหาน้ำหนักของ  $\text{NaF}$  ที่ทำให้มีปริมาณ  $\text{F}^-$  เท่ากับ 1000 mg (1.000 g)

$\text{NaF}$  58.44 g มีน้ำหนักของ  $\text{F}^-$  เท่ากับ 19.00 g ดังนั้น ถ้าต้องการ  $\text{F}^-$  1000 mg จะต้องชั่ง  $\text{NaCl}$

$$\begin{aligned} \text{g} &= \left( \frac{1.000 \text{ g}}{1 \text{ L}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol F}^-}{19.00 \text{ g}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol NaF}}{1 \text{ mol F}^-} \right) \left( \frac{41.99 \text{ g}}{1 \text{ mol NaF}} \right) \left( \frac{200.0 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \right) \\ &= 0.442 \text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น ชั่ง  $\text{NaF}$  0.442 g ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรครบ 200.0 mL จะได้  $\text{F}^-$  เท่ากับ 1000 ppm

หรืออาจคำนวณเป็นขั้น ๆ ได้ดังนี้ ไอออน  $\text{F}^-$  มีอัตราส่วนในสูตรเคมี  $\text{NaF}$  เป็น 1:1

NaF หนัก 41.99 g มีไอออน  $F^-$  เท่ากับ 19.00 g หมายความว่า ถ้าเรานำ NaF หนัก 41.99 g จะมีไอออน  $F^-$  เป็นองค์ประกอบหนักเท่ากับ 19.00 g หรือกล่าวได้ว่า

ไอออน  $F^-$  หนัก 19.00 g เป็นองค์ประกอบของ NaF ที่หนัก 41.99 g ถ้าเราต้องการ  $F^-$  หนัก 1 g จะต้องชั่ง NaF ดังนี้

$$\frac{1.000 \text{ g} \times 41.99 \text{ g}}{19.00 \text{ g}} = 2.210 \text{ g}$$

ดังนั้นถ้าเราชั่ง NaF หนัก 2.210g ละลายน้ำให้ได้ปริมาตร 1 L จะได้ความเข้มข้นของ  $F^-$  เท่ากับ 1000 ppm แต่เมื่อเราต้องการปริมาตรสารละลายเพียง 200.0 mL เราอาจคำนวณอย่างง่ายได้จากอัตราส่วนปริมาตรสารละลาย  $1000/200 = 5$  เท่า ดังนั้น นำหนักสาร NaF จึงต้องลดลง 5 เท่าด้วยเป็น 0.442 g หรือคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{2.210 \text{ g}}{1 \text{ L}} \times \frac{0.20 \text{ L}}{1 \text{ L}} = 0.442 \text{ g}$$

### 3) การเตรียมสารละลายหน่วยนอร์แมล

การคำนวณการเตรียมสารละลายหน่วยนอร์แมล คำนวณดังนี้

$$\text{wt. (g)} = N \times \left( \frac{g_{FW}}{n} \right) \left( \frac{V}{1000} \right) \quad \dots(2.15)$$

เมื่อ wt. = น้ำหนักสารที่ต้องการชั่ง (g)

N = จำนวนนอร์แมล

$g_{FW}$  = กรัมน้ำหนักสูตร (g/mol)

V = ปริมาตรที่ต้องการเตรียม (mL)

n = จำนวนเวเลนซ์

**ตัวอย่าง 2.14** จงคำนวณและอธิบายการเตรียมสารละลาย  $KMnO_4$  0.0100 N ปริมาตร 500.00 mL สำหรับใช้เป็นสารออกซิไดส์ในสภาวะที่เป็นกรดของปฏิกิริยารีดอกซ์

**วิธีคิด**  $KMnO_4$  0.0100 N คือ สารละลาย 1 L มี  $KMnO_4$  ละลายอยู่ 0.0100 กรัมสมมูล

น้ำหนักสูตร  $KMnO_4 = 158.03 \text{ g/mol}$

จำนวนเวเลนซ์ = 5 เนื่องจาก เป็นสารออกซิไดส์ในปฏิกิริยารีดอกซ์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาเป็น  $Mn^{2+}$  เลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงไป 5 หน่วยต่อโมเลกุล

$$\begin{aligned} \text{wt. (g)} &= 0.0100 \text{ N} \times \left( \frac{158.03 \text{ g/mol}}{5} \right) \left( \frac{500 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \right) \\ &= 0.158 \text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น ชั่ง  $KMnO_4$  0.158 g ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรครบ 500.00 mL ในขวดกำหนดปริมาตร

**ตัวอย่าง 2.15** ต้องการเตรียมสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ความเข้มข้น 0.100 N ปริมาตร 250.00 mL ต้องใช้กรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ที่มีความหนาแน่น 1.84 g/mL ปริมาตรเท่าใด

**วิธีคิด**  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.100 N คือ ในสารละลาย 1.0 L มี  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ละลายอยู่ 0.100 กรัมสมมูล

น้ำหนักสูตร  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 98.08 \text{ g/mol}$

จำนวนเวเลนซี = 2 เนื่องจาก  $\text{H}_2\text{SO}_4$  มีจำนวน  $\text{H}^+$  ที่สามารถถูกแทนที่ด้วยโลหะ จำนวน 2

ตัว

$$\text{wt. (g)} = N \times \left( \frac{g_{\text{FW}}}{n} \right) \left( \frac{V}{1000} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{wt. (g)} &= 0.100 \text{ N} \times \left( \frac{98.08 \text{ g/mol}}{2} \right) \left( 250.00 \text{ mL} \times \frac{1.0 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \right) \\ &= 1.226 \text{ g} \end{aligned}$$

จากความหนาแน่นของ  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 1.84 \text{ g/mL}$  หมายความว่า  $\text{H}_2\text{SO}_4$  หนัก 1.84 g จะมีปริมาตรเท่ากับ 1 mL ดังนั้น ถ้าต้องการ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  หนัก 1.226 g จะต้องใช้  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ปริมาตร

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1.226 \text{ g} \times \left( \frac{1 \text{ mL}}{1.84 \text{ g}} \right) = 0.666 \text{ mL}$$

ดังนั้น ต้องปิเปต  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น ปริมาตร 0.666 mL ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรครบ 250.00 mL ในขวดกำหนดปริมาตร

#### 4) การเตรียมสารละลายหน่วยร้อยละ

การคำนวณการเตรียมสารละลายหน่วยร้อยละต้องพิจารณาจากชนิดของหน่วยร้อยละ เช่น %w/w %w/v และ %v/v ดังตัวอย่างต่อไปนี้

**ตัวอย่าง 2.16** จงอธิบายการเตรียมสารละลาย HCl เข้มข้น 10%w/v จากสารละลายกรด HCl

เข้มข้น (37%w/w,  $d=1.19 \text{ g/mL}$ )

**วิธีคิด** สารละลายกรด HCl เข้มข้น (37%w/w,  $d=1.19 \text{ g/mL}$ ) หมายความว่า สารละลาย HCl

100 g มีกรด HCl อยู่ 37 g

คำนวณน้ำหนักกรด HCl ในปริมาตร 1 mL ดังนี้

$$\text{g HCl} = \frac{37 \text{ g}}{100 \text{ g}} \times \frac{1.19 \text{ g}}{1 \text{ mL}} = 0.440 \text{ g}$$

ดังนั้น สารละลายกรด HCl 1 mL มีน้ำหนักกรด HCl เท่ากับ 0.440 g

10%w/v HCl หมายความว่า 10 g HCl ในสารละลาย 100 mL

คำนวณปริมาตรกรด HCl ที่มีน้ำหนักเท่ากับ 10 g

$$\frac{10 \text{ g} \times 1 \text{ mL}}{0.440 \text{ g}} = 22.7 \text{ mL}$$

ดังนั้น ปิเปตสารละลายกรด HCl เข้มข้น 22.7 mL เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 100 mL จะได้สารละลายความเข้มข้น 10%w/v HCl

### สรุปท้ายบทเรียน

ความเข้มข้นของสารละลาย คือการบอกปริมาณตัวละลายในตัวทำละลายในปริมาตร สุทธิที่กำหนดอย่างแน่นอน หน่วยที่นิยมใช้มีหลายหน่วยด้วยกัน เช่น โมลาร์ นอร์มัล ร้อยละ อัตราส่วนเจือจาง เป็นต้น ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโมลและปริมาณสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นตามสมการเคมีจึงมีความสำคัญต่อการคำนวณปริมาณสาร ซึ่งเกี่ยวข้องกับหน่วยทางเคมีไม่ว่าจะเป็นหน่วยน้ำหนัก และหน่วยความเข้มข้น ถ้าสารเคมีที่ใช้ไม่ทราบความเข้มข้นแน่นอน หรือเตรียมความเข้มข้นไม่ถูกต้อง จะส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นคลาดเคลื่อนไปด้วยและข้อมูลการวิเคราะห์นั้นอาจไม่เป็นที่เชื่อถือหรือไม่เป็นที่ยอมรับได้ ความเข้มข้นของสารละลายใด ๆ จะเป็นการบอกปริมาณของสารนั้นที่ละลายในตัวทำละลายปริมาณหนึ่ง ๆ ที่แน่นอน หน่วยความเข้มข้นที่นิยมใช้หลายหน่วย เช่น หน่วยโมลาร์ นอร์มัล ฟอรัมแล ร้อยละ และส่วนในล้านส่วน เป็นต้น การเตรียมสารละลายในหน่วยต่าง ๆ จะต้องปฏิบัติอย่างระมัดระวังตั้งแต่ขั้นตอนการชั่ง การตวง การถ่ายเท การละลาย การผสม และการปรับปริมาตรตัวทำละลายในภาชนะที่เหมาะสม

**วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน**

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

**กิจกรรมที่มอบหมาย**

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 2.2
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

**การวัดผล**

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

**แบบฝึกหัด**

1. แบบฝึกหัด 2.2

### เอกสารอ้างอิง

- โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน. (2551) เคมี 2. (พิมพ์ครั้งที่ 2). บริษัทด้าน  
สุทธนาการพิมพ์ จำกัด.
- วิทยา เรื่องพรวิสุทธิ. (2558). *เคมีวัสดุ เคมีพื้นผิวและปฏิกิริยาเร่ง*. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.
- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. (2565). *เคมีวิเคราะห์: หลักการและเทคนิคการคำนวณเชิงปริมาณ* (พิมพ์ครั้งที่  
ที่ 2). สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิสิษฐ์ สงเสสน, สรณนรินทร์ บังเกิดผล และอาทิตย์ สกุดตันติเมธา. (2554). *เคมีทั่วไปสำหรับ  
วิศวกร*. บริษัททริฟเฟิ้ลกรุ๊ป จำกัด.
- อินทรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโกคา. (2554). *เคมีทั่วไป สำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์* (ฉบับ  
ปรับปรุง) (พิมพ์ครั้งที่ 9). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online).  
[https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-  
v1.0m/index.html](https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html)
- Brown, L.S., & Holme, T.A. (2018). *Chemistry for Engineering Students* (4<sup>th</sup> ed.). Thomson  
Brook Cole.
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W.  
(2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Crystallographic Defects*. (n.d.). [https://www.tec-science.com/material-  
science/structure-of-metals/crystallographic-defects/](https://www.tec-science.com/material-science/structure-of-metals/crystallographic-defects/)
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of  
Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry:  
Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing  
Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter  
and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

## หน่วยที่ 3 สมดุลกรด-เบสและสมดุลไอออน

### บทเรียนที่ 3.1 สมดุลกรด-เบส

#### จุดประสงค์

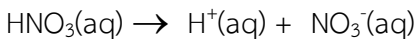
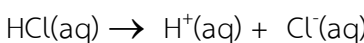
- บอกทฤษฎีกรด-เบส
- บอกการแตกตัวของกรด-เบส
- คำนวณค่า pH

#### 3.1.1 ทฤษฎีกรด-เบส

##### 1) นิยามของอาร์เรเนียส

อาร์เรเนียส (Svante A. Arrhenius, ค.ศ.1887) นักเคมีชาวสวีเดนให้นิยามของกรด-เบสดังนี้

กรด (acid) หมายถึง สารที่ละลายน้ำแล้วสามารถแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) เช่น  $HCl$ ,  $H_2SO_4$  และ  $HNO_3$  ดังปฏิกิริยา



หมายเหตุ  $H^+$  หรือ โปรตอน คือสปีชีส์ที่แสดงความเป็นกรด

เบส (base) หมายถึง สารที่เมื่อละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) เช่น  $NaOH$ ,  $KOH$ ,  $Ca(OH)_2$  และ  $Ba(OH)_2$  ดังปฏิกิริยา



หมายเหตุ  $OH^-$  คือสปีชีส์ที่แสดงความเป็นเบส

นิยามของอาร์เรเนียสมิ้อจำกัด คือ

1) สารที่มีสมบัติเป็นกรดและเบส จะต้องละลายน้ำได้เท่านั้น ในความเป็นจริงปฏิกิริยาเคมีไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นในตัวทำละลายน้ำ

2) สารบางตัวไม่มีหมู่  $OH$  เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล แต่มีสมบัติเป็นเบส เช่น  $NH_3$

หมายเหตุ สปีชีส์ที่แสดงความเป็นกรดของสารคือ  $H^+$  หรือ โปรตอน ซึ่งในความเป็นจริง  $H^+$  ไม่สามารถอยู่เป็นสปีชีส์อิสระในสารละลายน้ำ โดยทั่วไปจะรวมตัวกับ  $H_2O$  เป็น  $H_3O^+$  เรียกว่า ไฮโดรเนียมไอออน

ดังนั้น ในการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติกรด-เบส ในหน่วยเรียนนี้ สปีชีส์ที่ใช้แสดงความเป็นกรดของสารจะแสดงเป็น  $H^+$  เพื่อให้ง่ายต่อการทำให้สมการสมดุลและการคำนวณค่า แต่มีบางส่วนที่แสดงเป็น  $H_3O^+$  เพื่อแสดงสมการเคมีที่สมบูรณ์

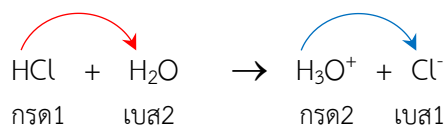
## 2) นิยามของเบรินสเตดและลาวรี

ในปี ค.ศ.1923 เบรินสเตด (Johannes Nicolaus Bronsted) นักเคมีชาวเดนมาร์ก และ ลาวรี (Thomas Martin Lowry) นักเคมีชาวอังกฤษ ได้ศึกษาการให้และรับ  $H^+$  ของสาร เพื่ออธิบายและจำแนกกรด-เบสได้กว้างขึ้น ได้ให้นิยาม ดังนี้

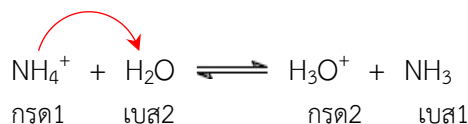
กรด หมายถึง สารที่ให้  $H^+$  แก่สารอื่น

เบส หมายถึง สารที่รับ  $H^+$  จากสารอื่น

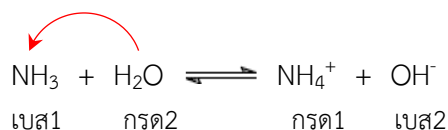
ในการพิจารณาสมบัติกรด-เบสตามนิยามเบรินสเตดและลาวรี จะต้องพิจารณาสองส่วนควบคู่กัน คือ สารที่เป็นกรดหรือเบส และสปีชีส์ที่มีการเปลี่ยนแปลงว่ามี  $H^+$  เพิ่มขึ้น หรือลดลง เช่น



HCl เป็นกรด (ดูได้จากสปีชีส์ที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะเหลือเพียง  $Cl^-$  แสดงว่า HCl สูญเสีย  $H^+$  ไป) ในขณะที่  $H_2O$  จะเป็นเบส เนื่องจากรับ  $H^+$  มาจาก HCl (ดูได้จากสปีชีส์ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็น  $H_3O^+$ ) และเมื่อพิจารณาปฏิกิริยาย้อนกลับ  $H_3O^+$  จะเป็นกรด และ  $Cl^-$  เป็นเบส



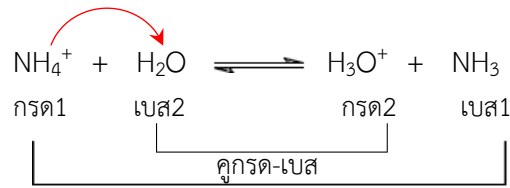
$NH_4^+$  เป็นสารที่ให้  $H^+$  ดังนั้น  $NH_4^+$  จึงเป็นกรด ส่วน  $H_2O$  เป็นสารที่รับ  $H^+$  ดังนั้น  $H_2O$  จึงเป็นเบส เมื่อเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ  $H_3O^+$  เป็นกรดส่วน  $NH_3$  เป็นเบสซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกัน



$NH_3$  เป็นเบสจะรับ  $H^+$  จาก  $H_2O$  ซึ่งเป็นกรด แล้ว  $NH_3$  กลายเป็น  $NH_4^+$  ซึ่งเป็นกรดสำหรับปฏิกิริยาย้อนกลับ และ  $OH^-$  เป็นเบสสำหรับปฏิกิริยาย้อนกลับ

จากนิยามของเบรินสเตดและลาวรี จะเห็นว่าในปฏิกิริยาหนึ่ง ๆ จะมีตัวให้และตัวรับ  $H^+$  เสมอ สารที่เป็นกรดเมื่อแตกตัวให้  $H^+$  แก่สารอื่นไป สปีชีส์ที่เหลือจะเป็นเบส (จะสามารถรับ  $H^+$  ได้ในปฏิกิริยาย้อนกลับ) ส่วนสารที่เป็นเบสเมื่อรับ  $H^+$  แล้วจะเปลี่ยนไปเป็นกรด (จะสามารถให้  $H^+$  ได้ในปฏิกิริยาย้อนกลับ) จึงเรียกรวมและเบสคู่ดังกล่าวว่า คู่กรด-เบส (conjugated acid-base)

จากปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบสจะเห็นว่าในปฏิกิริยาหนึ่ง ๆ อาจจะมีคู่กรด-เบสได้ 2 คู่ด้วยกัน กล่าวคือ กรดเมื่อให้  $H^+$  แล้วจะได้สารที่เป็นคู่เบส (conjugated base) เช่น HCl เป็นกรดเมื่อให้  $H^+$  เหลือสปีชีส์เป็น  $Cl^-$  (เรียก  $Cl^-$  เป็นคู่เบสของกรด HCl)



ปฏิกิริยานี้เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาไปข้างหน้า  $\text{NH}_4^+$  ทำหน้าที่เป็นกรด เพราะให้  $\text{H}^+$  แก่  $\text{H}_2\text{O}$  แล้วสปีชีส์ที่เปลี่ยนแปลงได้เป็น  $\text{NH}_3$  ในขณะที่  $\text{H}_2\text{O}$  รับ  $\text{H}^+$  จึงเป็นเบส (ดูได้จากแล้วสปีชีส์ที่เปลี่ยนแปลงได้เป็น  $\text{H}_3\text{O}^+$ ) และเมื่อพิจารณาจากปฏิกิริยาย้อนกลับ สรุปได้ว่า  $\text{H}_3\text{O}^+$  เป็นกรดเพราะให้  $\text{H}^+$  กับ  $\text{NH}_3$  ซึ่งเป็นเบสแล้วได้  $\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{NH}_4^+$  ตามลำดับ

เรียก  $\text{NH}_4^+$  ว่าเป็นคู่กรดของ  $\text{NH}_3$  (เบส)

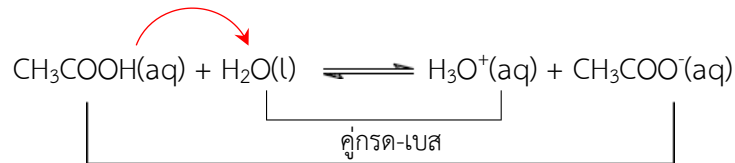
$\text{H}_2\text{O}$  ว่าเป็นคู่เบสของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  (กรด)

$\text{NH}_3$  ว่าเป็นคู่เบสของ  $\text{NH}_4^+$

$\text{H}_3\text{O}^+$  ว่าเป็นคู่กรดของ  $\text{H}_2\text{O}$

จะเห็นได้ว่า คู่กรด-เบส นั้นจะมีจำนวน  $\text{H}^+$  ต่างกัน 1 ตัว หรืออาจกล่าวได้ว่าจำนวน  $\text{H}^+$  ของคู่กรดจะมากกว่า  $\text{H}^+$  คู่เบสอยู่ 1 ตัวเสมอ

ตัวอย่าง 3.1 เขียนปฏิกิริยากรดแอสिटิก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) แยกตัวในน้ำและบอกคู่กรด-เบส



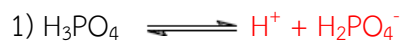
คู่กรดของ  $\text{H}_2\text{O}$  คือ  $\text{H}_3\text{O}^+$

คู่เบสของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  คือ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$

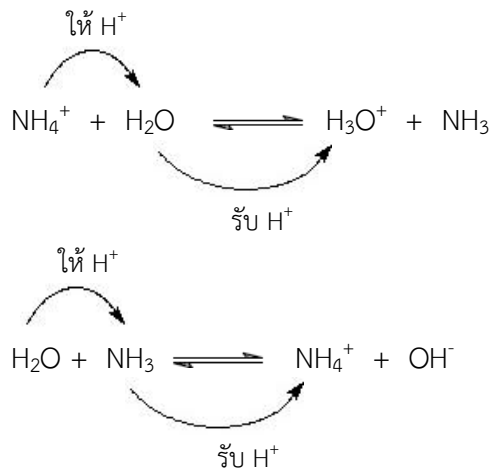
คู่กรดของ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  คือ  $\text{CH}_3\text{COOH}$

คู่เบสของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  คือ  $\text{H}_2\text{O}$

ตัวอย่าง 3.2 เขียนปฏิกิริยาการแตกตัวของสารต่อไปนี้ให้สมบูรณ์



สารบางชนิดสามารถเป็นได้ทั้งกรดและเบส เรียกว่า สารแอมฟิโพรติก (amphiprotic) หรือ แอมโฟเทอริก (amphoteric) เช่น  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และ  $\text{NH}_3$  โดยสารแอมฟิโพรติกจะมีสมบัติเป็นกรดหรือเบสขึ้นกับทำหน้าที่ให้หรือรับ  $\text{H}^+$  ในปฏิกิริยานั้น ๆ เช่น กรณียของ  $\text{H}_2\text{O}$



ในปฏิกิริยาข้างต้น  $H_2O$  ทำหน้าที่เป็นกรดเมื่อทำปฏิกิริยากับ  $NH_3$  เนื่องจากรับ  $H^+$  ส่วนอีกปฏิกิริยา  $H_2O$  ทำหน้าที่เป็นเบสเมื่อทำปฏิกิริยากับ  $NH_4^+$  เนื่องจากให้  $H^+$

นิยามกรด-เบสของเบรินสเตดและลาวรี จะอธิบายได้กว้างขวางกว่าของนิยามของอาร์รีเนียส แต่มีข้อจำกัดคือ สารที่ทำหน้าที่เป็นกรดได้นั้นจะต้องมี H เป็นองค์ประกอบในสูตรเคมี และต้องแตกตัวให้  $H^+$  แก่สารอื่นได้ด้วย ดังนั้นถ้าสารใดสารหนึ่งไม่สามารถให้  $H^+$  ได้จะไม่จัดเป็นกรดตามนิยามของเบรินสเตดและลาวรี ซึ่งในความจริงแล้วยังมีสารบางชนิดที่ไม่มี H เป็นองค์ประกอบในสูตรเคมี หรือไม่แตกตัวให้  $H^+$  แก่สารอื่น แต่ยังคงมีสมบัติเป็นกรด

ตารางที่ 3.1 คู่กรด-คู่เบสและความแรงของคู่กรด-คู่เบส

คู่กรด		คู่เบส	
กรดเปอร์คลอริก	$HClO_4$	เปอร์คลอเรตไอออน	$ClO_4^-$
กรดไฮโดรไอโอดิก	$HI$	ไอโอดेटไอออน	$I^-$
กรดไฮโดรโบรมิก	$HBr$	โบรมेटไอออน	$Br^-$
กรดไฮโดรคลอริก	$HCl$	คลอไรด์ไอออน	$Cl^-$
กรดไนตริก	$HNO_3$	ไนเตรตไอออน	$NO_3^-$
กรดซัลฟิวริก	$H_2SO_4$	ไฮโดรเจนซัลเฟตไอออน	$HSO_4^-$
ไฮโดรเนียมไอออน	$H_3O^+$	น้ำ	$H_2O$
ไฮโดรเจนซัลเฟตไอออน	$HSO_4^-$	ซัลเฟตไอออน	$SO_4^{2-}$
กรดไนตรัส	$HNO_2$	ไนตรัสไอออน	$NO_2^-$
กรดแอสติค	$CH_3COOH$	แอสเตตไอออน	$CH_3COO^-$
กรดคาร์บอนิก	$H_2CO_3$	ไบคาร์บอเนตไอออน	$HCO_3^-$
แอมโมเนียมไอออน	$NH_4^+$	แอมโมเนีย	$NH_3$
ไบคาร์บอเนตไอออน	$HCO_3^-$	คาร์บอเนตไอออน	$CO_3^{2-}$
น้ำ	$H_2O$	ไฮดรอกไซด์ไอออน	$OH^-$
เมทานอล	$CH_3OH$	เมทอกไซด์ไอออน	$CH_3O^-$
แอมโมเนีย	$NH_3$	เอไมด์ไอออน	$NH_2^-$

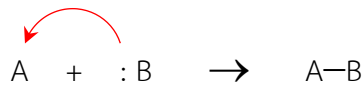
### 3) นิยามของลิวอิส

ในปี ค.ศ.1938 ลิวอิส (Gilbert Newton Lewis) นักเคมีชาวอเมริกันได้ให้นิยามเกี่ยวกับกรด-เบสที่เกี่ยวข้องกับการให้และรับคู่อิเล็กตรอนระหว่างสารที่เป็นกรดและเบส คือ

กรด หมายถึง สารที่สามารถรับคู่อิเล็กตรอนจากสารอื่น เรียกว่า กรดลิวอิส (Lewis acid)

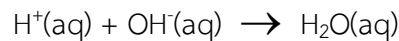
เบส หมายถึง สารที่สามารถให้คู่อิเล็กตรอนแก่สารอื่น เรียกว่า เบสลิวอิส (Lewis base)

คู่อิเล็กตรอน หมายถึง เวเลนซ์อิเล็กตรอนสองตัวที่ไม่ได้ใช้ในการสร้างพันธะ หรือที่เรียกว่า อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว พันธะที่เกิดขึ้นระหว่างกรดลิวอิสและเบสลิวอิส ตามนิยามของลิวอิสเป็นพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ เช่น สาร B มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเหลืออย่างน้อยหนึ่งคู่ ในขณะที่ A มีออร์บิทัลว่างที่สามารถรับคู่อิเล็กตรอนได้



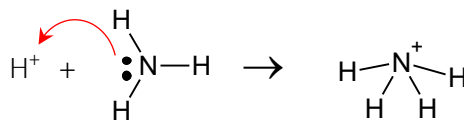
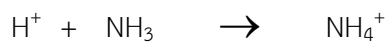
รับคู่อิเล็กตรอน ให้คู่อิเล็กตรอน

ตัวอย่างปฏิกิริยากรด-เบส ตามนิยามของลิวอิส คือ ปฏิกิริยาระหว่าง  $H^+$  กับ  $OH^-$



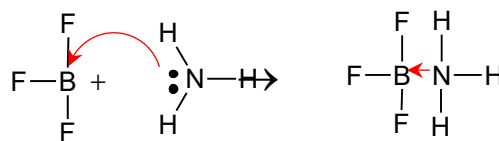
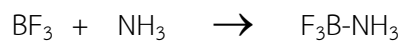
ตามนิยามของลิวอิส  $OH^-$  เป็นเบส เรียกว่า เบสลิวอิส เพราะทำหน้าที่ให้คู่อิเล็กตรอนแก่  $H^+$  ดังนั้น  $H^+$  จึงเป็นกรด เรียกว่ากรดลิวอิส เพราะเป็นตัวรับคู่อิเล็กตรอน

ตัวอย่างปฏิกิริยาระหว่าง  $NH_3$  กับ  $H^+$



กรดลิวอิส    เบสลิวอิส

ตัวอย่างปฏิกิริยาระหว่าง  $BF_3$  และ  $NH_3$



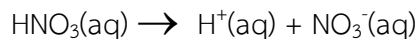
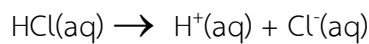
กรดลิวอิส    เบสลิวอิส

ในทั้งสองกรณีนี้  $NH_3$  เป็นเบสลิวอิส เพราะให้คู่อิเล็กตรอนกับ  $H^+$  และ  $BF_3$  ในการเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ ดังนั้น  $H^+$  และ  $BF_3$  จึงเป็นกรดลิวอิส เพราะสามารถรับคู่อิเล็กตรอนจาก  $NH_3$

#### 3.1.2 การแตกตัวของกรด-เบส

##### 1) การแตกตัวของกรดแก่-เบสแก่

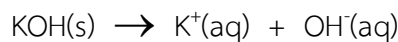
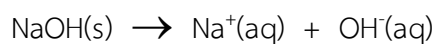
กรดแก่ (strong acid) หมายถึง กรดที่สามารถแตกตัวเป็น  $H^+$  ได้อย่างสมบูรณ์ (100%) ซึ่งกรดแก่จะแตกตัวให้  $H^+$  ได้ทั้งหมด ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $H^+$  ที่เกิดจากการแตกตัวจะเท่ากับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแก่นั้น เช่น



$$\text{ดังนั้น } [\text{H}^{\text{+}}]_{\text{แตกตัว}} = [\text{HCl}]_{\text{เริ่มต้น}}$$

$$[\text{H}^{\text{+}}]_{\text{แตกตัว}} = [\text{HNO}_3]_{\text{เริ่มต้น}}$$

เบสแก่ (strong base) หมายถึง เบสที่สามารถแตกตัวเป็น  $\text{OH}^{\text{-}}$  ได้อย่างสมบูรณ์ (100%) ซึ่งเบสแก่ทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วแตกตัวให้  $\text{OH}^{\text{-}}$  ได้ทั้งหมด ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $\text{OH}^{\text{-}}$  ที่เกิดจากการแตกตัวจะเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้นของเบสแก่ นั้น เช่น

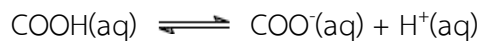
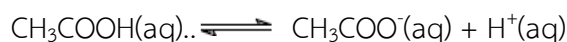


$$\text{ดังนั้น } [\text{OH}^{\text{-}}]_{\text{แตกตัว}} = [\text{NaOH}]_{\text{เริ่มต้น}}$$

$$[\text{OH}^{\text{-}}]_{\text{แตกตัว}} = [\text{KOH}]_{\text{เริ่มต้น}}$$

## 2) การแตกตัวของกรดอ่อน-เบสอ่อน

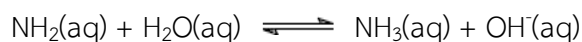
กรดอ่อน (weak acid) หมายถึง กรดที่แตกตัวเป็น  $\text{H}^{\text{+}}$  ได้ไม่สมบูรณ์ ( $\ll 100\%$ ) ซึ่งกรดอ่อนจะแตกตัวให้  $\text{H}^{\text{+}}$  ได้ไม่ทั้งหมด และในระบบยังมีกรดอ่อนนั้นอยู่ด้วย ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $\text{H}^{\text{+}}$  ที่เกิดจากการแตกตัวของกรดอ่อนจึงน้อยกว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดนั้น เช่น



$$\text{ดังนั้น } [\text{H}^{\text{+}}]_{\text{แตกตัว}} < [\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{เริ่มต้น}}$$

$$[\text{H}^{\text{+}}]_{\text{แตกตัว}} < [\text{COOH}]_{\text{เริ่มต้น}}$$

เบสอ่อน (weak base) หมายถึง เบสที่แตกตัวเป็น  $\text{OH}^{\text{-}}$  ได้ไม่สมบูรณ์ ( $\ll 100\%$ ) ซึ่งเบสอ่อนจะแตกตัวให้  $\text{OH}^{\text{-}}$  ได้ไม่ทั้งหมด และในระบบยังมีเบสอ่อนนั้นอยู่ด้วย ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $\text{OH}^{\text{-}}$  ที่เกิดจากการแตกตัวของเบสอ่อนจึงน้อยกว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของเบสนั้น เช่น



$$\text{ดังนั้น } [\text{OH}^{\text{-}}]_{\text{แตกตัว}} < [\text{NH}_3]_{\text{เริ่มต้น}}$$

$$[\text{OH}^{\text{-}}]_{\text{แตกตัว}} < [\text{NH}_2]_{\text{เริ่มต้น}}$$

การบอกปริมาณ  $[\text{H}^{\text{+}}]$  และ  $[\text{OH}^{\text{-}}]$  ที่เกิดจากการแตกตัวของกรดอ่อนและเบสอ่อนนิยมบอกเป็นร้อยละเรียกว่า ร้อยละการแตกตัว ดังนี้

$$\text{ร้อยละการแตกตัวของกรด} = \frac{\text{ความเข้มข้นของ } \text{H}^{\text{+}} \text{ ที่แตกตัว}}{\text{ความเข้มข้นของกรดทั้งหมด}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละการแตกตัวของเบส} = \frac{\text{ความเข้มข้นของ } \text{OH}^{\text{-}} \text{ ที่แตกตัว}}{\text{ความเข้มข้นของเบสทั้งหมด}} \times 100$$

การคำนวณร้อยละการแตกตัวของกรดหรือเบสได้นั้นจะต้องรู้ความเข้มข้นของ  $H^+$  หรือ  $OH^-$  ที่แตกตัว ณ ภาวะสมดุล ในการคำนวณหาความเข้มข้น ณ ภาวะสมดุล ทำได้โดยเขียนภาวะ 3 ภาวะ คือ ภาวะเริ่มต้น ภาวะเปลี่ยนแปลง และภาวะสมดุล (รายละเอียดและขั้นตอนการคำนวณกล่าวมาแล้วในสมดุลเคมี)

**ตัวอย่าง 3.3** กรด HA มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ  $2.50 \text{ mol/L}$  พบว่าที่ภาวะสมดุล มีความเข้มข้นของ  $H^+$  ที่แตกตัวได้เท่ากับ  $6.4 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  จงคำนวณร้อยละการแตกตัว

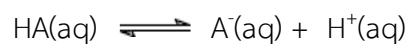
$$\% \text{การแตกตัวของ HA} = \frac{6.4 \times 10^{-3} \text{ mol/L}}{2.50 \text{ mol/L}} \times 100 = 0.26\%$$

ดังนั้น กรด HA มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ  $2.50 \text{ mol/L}$  แตกตัวให้  $H^+$  ได้เพียงร้อยละ 0.26

### 2.1) ค่าคงที่การแตกตัว

ปริมาณการแตกตัวของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนพิจารณาได้โดยใช้ค่าคงที่สมดุลที่เรียกว่า ค่าคงที่การแตกตัวของกรดอ่อน (weak acid dissociation constant,  $K_a$ ) และค่าคงที่การแตกตัวของเบสอ่อน (weak base dissociation constant,  $K_b$ )

กรณีของกรดอ่อน สมมติให้ HA เป็นกรดอ่อน ดังนั้น ปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดอ่อน คือ



$$\text{ค่าคงที่สมดุล} \quad K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \quad \dots(3.1)$$

เมื่อ  $K_a$  = ค่าคงที่ของการแตกตัวของกรดอ่อน

กรณีของเบสอ่อน สมมติให้  $B^-$  เป็นเบสอ่อน ปฏิกิริยาการแตกตัวของเบสอ่อน คือ



$$\text{ค่าคงที่สมดุล} \quad K_b = \frac{[HB][OH^-]}{[B^-]} \quad \dots(3.2)$$

เมื่อ  $K_b$  = ค่าคงที่ของการแตกตัวของเบสอ่อน

ค่า  $K_a$  และ  $K_b$  บอกให้ทราบว่ากรดอ่อนหรือเบสอ่อนนั้นแตกตัวได้มากน้อยเพียงใด ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ค่า  $K_a$  และ  $K_b$  ของกรดอ่อนและเบสอ่อนบางชนิด แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่า  $K_a$  และ  $K_b$  ของกรด-เบส บางชนิด

กรด	สูตรเคมี	$K_a$	เบส	สูตรเคมี	$K_b$
แอสिटิก	CH <sub>3</sub> COOH	$1.8 \times 10^{-5}$	แอมโมเนีย	NH <sub>3</sub>	$1.8 \times 10^{-5}$
ไฮโดรไซยานิก	HCN	$4.9 \times 10^{-10}$	คาร์บอเนตไอออน	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	$2.1 \times 10^{-4}$
ไฮโดรฟลูออริก	HF	$7.2 \times 10^{-4}$	ไซยาไนด์ไอออน	CN <sup>-</sup>	$2.5 \times 10^{-5}$
ฟอร์มิก	COOH	$1.8 \times 10^{-4}$	ไนไตรต์ไอออน	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	$2.2 \times 10^{-11}$
เบนโซอิก	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	$6.5 \times 10^{-5}$	เอไมด์ไอออน	NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	สูงมาก
เปอร์คลอริก	HClO <sub>4</sub>	สูงมาก	ไนเตรตไอออน	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ต่ำมาก ๆ
ไฮโดรคลอริก	HCl	สูงมาก	ซัลไฟด์ไอออน	S <sup>2-</sup>	$1.0 \times 10^{-5}$
คาร์บอนิก	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$4.2 \times 10^{-7}$	ซัลเฟตไอออน	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	$8.3 \times 10^{-13}$
ไนตรัส	HNO <sub>2</sub>	$4.5 \times 10^{-4}$	ฟลูออไรด์ไอออน	F <sup>-</sup>	$1.4 \times 10^{-11}$
ซัลฟิวริก	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	สูงมาก	ยูเรีย	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> CO	$1.5 \times 10^{-14}$

หลักในการพิจารณาความแรงของกรด-เบส จากค่า  $K_a$  และ  $K_b$

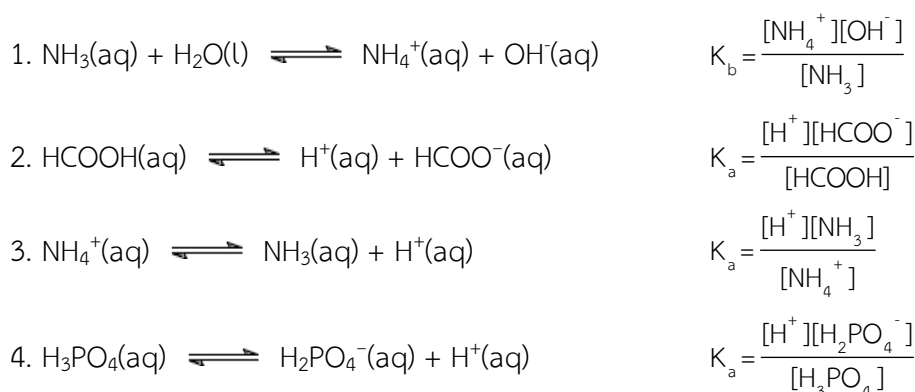
1) กรดอ่อนที่มีค่า  $K_a$  สูงกว่าจะแตกตัวได้มากกว่า และจะมีความแรงมากกว่ากรดอ่อนที่มีค่า  $K_a$  ต่ำกว่า เช่น CH<sub>3</sub>COOH มีค่า  $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$  จะมีความแรงมากกว่า H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ที่มีค่า  $K_a = 4.2 \times 10^{-7}$  หมายความว่า CH<sub>3</sub>COOH จะแตกตัวได้มากกว่า H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ณ สภาวะเดียวกัน

2) เบสอ่อนที่มีค่า  $K_b$  สูงกว่าจะแตกตัวได้มากกว่า และจะมีความแรงมากกว่าเบสอ่อนที่มีค่า  $K_b$  ต่ำกว่า เช่น NH<sub>3</sub> มีค่า  $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$  จะมีความแรงมากกว่ายูเรีย C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>CO ที่มีค่า  $K_b = 1.5 \times 10^{-14}$

3) กรดอ่อนต่างชนิดกันที่มีความเข้มข้นเท่ากัน กรดอ่อนที่มีร้อยละการแตกตัวสูงกว่าจะมีความแรงมากกว่า ส่วนกรณีเบสอ่อนเป็นทำนองเดียวกัน

4) กรดอ่อนต่างชนิดกันที่มีความเข้มข้นต่างกัน และมีร้อยละการแตกตัวเท่ากัน กรดอ่อนที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจะมีความแรงมากกว่า ส่วนกรณีเบสอ่อนเป็นทำนองเดียวกัน

#### ตัวอย่าง 3.4 เขียนสมการค่าคงที่สมดุลของกรด-เบส



การคำนวณจำนวนโมลของ H<sup>+</sup> หรือ OH<sup>-</sup> ที่แตกตัวจากค่า  $K_a$  หรือ  $K_b$  ทำได้โดยการเขียนภาวะ 3 ภาวะคือ ภาวะเริ่มต้น ภาวะเปลี่ยนแปลง และภาวะสมดุล ดังนี้

1) การคำนวณจำนวนโมลของ H<sup>+</sup> ของกรดอ่อน ในกรณีนี้จะยกตัวอย่างการหาความเข้มข้นของ H<sup>+</sup> จากการแตกตัวของ CH<sub>3</sub>COOH โดยสมมติความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ C<sub>a</sub> mol/L

	$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$
[ ] เริ่มต้น	$C_a \qquad 0 \qquad 0$
[ ] เปลี่ยนแปลง	$-x \qquad +x \qquad +x$
[ ] สมดุล	$C_a - x \qquad x \qquad x$

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$K_a = \frac{(x)(x)}{C_a - x}$$

วิธีการประมาณค่า โดยสมมติให้  $x < C_a$  มาก ๆ (เทอม  $x$  ที่เป็นตัวส่วน สามารถตัดทิ้งได้) จะ  
ได้

$$K_a = \frac{x^2}{C_a} \qquad \dots\dots(3.3)$$

$$x = \sqrt{K_a C_a} \qquad \dots\dots(3.4)$$

ตัวแปร  $x$  ในภาวะสมดุล ก็คือ  $[\text{H}^+]$

ดังนั้น  $[\text{H}^+] = \sqrt{K_a C_a} \qquad \dots\dots(3.5)$

2) การคำนวณจำนวนโมลของ  $\text{OH}^-$  ของเบสอ่อน ในกรณีนี้จะยกตัวอย่างการหาความเข้มข้น  
ของ  $\text{OH}^-$  จากการแตกตัวของ  $\text{NH}_3$  โดยสมมติความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ  $C_b$  mol/L

	$\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{OH}^-(\text{aq}) + \text{NH}_4^+(\text{aq})$
[ ] เริ่มต้น	$C_b \qquad 0 \qquad 0$
[ ] เปลี่ยนแปลง	$-x \qquad +x \qquad +x$
[ ] สมดุล	$C_b - x \qquad x \qquad x$

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

$$K_b = \frac{(x)(x)}{C_b - x}$$

วิธีการประมาณค่า โดยสมมติให้  $x < C_b$  มาก ๆ (เทอม  $x$  ที่เป็นตัวส่วนสามารถตัดทิ้งได้)  
สมการจะได้

$$K_b = \frac{(x)(x)}{C_b} \qquad \dots\dots(3.6)$$

$$x = \sqrt{K_b C_b} \qquad \dots\dots(3.7)$$

ตัวแปร  $x$  ในภาวะสมดุล ก็คือ  $[\text{OH}^-]$

ดังนั้น  $[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b C_b} \qquad \dots\dots(3.8)$

**หมายเหตุ** การคำนวณโดยสมมติให้ความเข้มข้นของกรดหรือเบสที่แตกตัวน้อยกว่าความเข้มข้นเริ่มต้นมาก ๆ เรียกว่า วิธีการประมาณค่า ดังนั้น การคำนวณ  $[H^+]$  และ  $[OH^-]$  ที่ของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนสามารถใช้สูตรในสมการ (3.5) และ (3.8) โดยวิธีการประมาณค่าจะลดขั้นตอนการคำนวณลงและยังคงให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างจากค่าที่แท้จริงเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ถ้า  $C_a/K_a$  หรือ  $C_b/K_b$  น้อยกว่า 1000 เท่า วิธีการประมาณค่าไม่สามารถใช้ได้ในการคำนวณ เพราะจะทำให้คำตอบที่ได้แตกต่างผลลัพธ์ที่แท้จริงมาก ดังนั้นจะต้องใช้วิธีคำนวณกำลัง

**ตัวอย่าง 3.5** จงหาค่าความเข้มข้นของ  $H^+$  จาก HCN เข้มข้น 2.5 mol/L ( $K_a=6.4 \times 10^{-10}$ )

**วิธีคิด** ปฏิกิริยา  $HCN(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + CN^-(aq)$

$$\text{จากสมการ (3.5)} \quad [H^+] = \sqrt{K_a C_a}$$

$$[H^+] = \sqrt{(6.4 \times 10^{-10})(2.50 \text{ mol/L})} = 4.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $H_3O^+$  ที่แตกตัวเท่ากับ  $4.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$

**ตัวอย่าง 3.6** จงหาค่าความเข้มข้นของ  $OH^-$  จาก  $NH_3$  เข้มข้น 2.5 mol/L ( $K_b=1.8 \times 10^{-5}$ )

**วิธีคิด** ปฏิกิริยา  $NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$

$$\text{จากสมการ (3.8)} \quad [OH^-] = \sqrt{K_b C_b}$$

$$[OH^-] = \sqrt{(1.8 \times 10^{-5})(2.50 \text{ mol/L})} = 6.7 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $OH^-$  ที่แตกตัวเท่ากับ  $6.7 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

## 2.2) การแตกตัวเป็นไอออนของน้ำ

น้ำบริสุทธิ์เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ที่แตกตัวได้เอง เป็นได้ทั้งกรดและเบส ซึ่งปรากฏการณ์ที่น้ำแตกตัวได้เองเรียกว่า autoprotolysis หรือ self-ionization และค่าคงที่สมดุลของการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำ (autoionization of water) เขียนด้วย  $K_w$

ปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำ คือ



หรือ



ค่าคงที่สมดุลของการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำ เขียนได้เป็น

$$K_w = [H^+][OH^-] \quad \text{.....(3.9)}$$

ที่อุณหภูมิ 25°C

$$K_w = 1.0 \times 10^{-14} \quad \text{.....(3.10)}$$

ดังนั้น  $[H^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$  .....(3.11)

เนื่องจากน้ำบริสุทธิ์เป็นกลาง ( $[H^+] = [OH^-]$ ) สมการ (3.11) เมื่อสมมติให้  $[OH^-] = [H^+]$  เขียนได้  
เป็น

$$[H^+]^2 = 1.0 \times 10^{-14} \quad \text{.....(3.12)}$$

$$[H^+] = 1.0 \times 10^{-7} \quad \text{.....(3.13)}$$

จากสมการ (3.13) สรุปได้ว่า

สารละลายกรด  $[H^+] > 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$

สารละลายที่เป็นกลาง  $[H^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$

สารละลายเบส  $[H^+] < 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$

จากความสัมพันธ์ของค่า  $K_w$  สามารถคำนวณ  $[H^+]$  หรือ  $[OH^-]$  ได้ ถ้ารู้ค่าใดค่าหนึ่ง ดังนี้

$$[H^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[OH^-]} \quad \text{.....(3.14)}$$

และ  $[OH^-] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[H^+]} \quad \text{.....(3.15)}$

### 2.3) การแตกตัวของกรดโพลีโปรติก

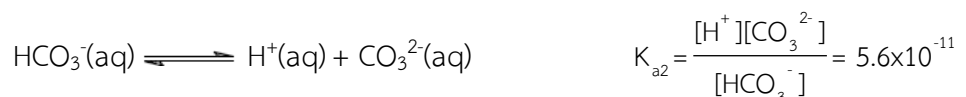
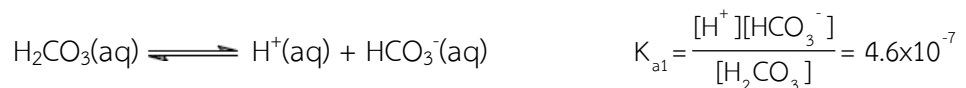
กรดโพลีโปรติก (polyprotic acid) หรือกรดหลายโปรตอน คือกรดบางชนิดที่ในหนึ่งโมเลกุลสามารถแตกตัวให้  $H^+$  ได้มากกว่าหนึ่งตัว กรดโพลีโปรติกที่พบมาก ประกอบด้วย

1) กรดสองโปรตอน (diprotic acid) คือกรดที่แตกตัวให้  $H^+$  ได้สองครั้ง เช่น  $H_2SO_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $H_2CO_3$  และ  $H_2S$

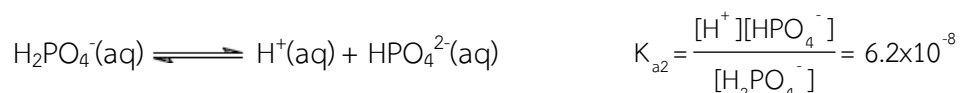
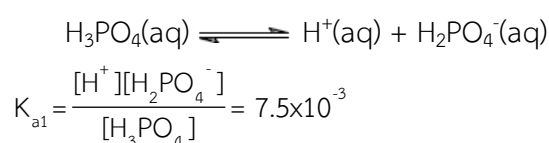
2) กรดสามโปรตอน (triprotic acid) คือกรดที่แตกตัวให้  $H^+$  ได้สามครั้ง เช่น  $H_3PO_4$

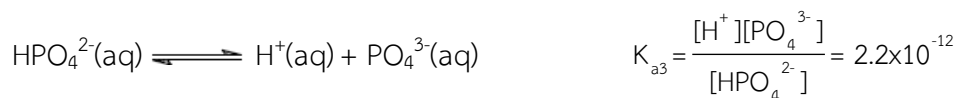
การแตกตัวของกรดโพลีโปรติกเกิดขึ้นทีละขั้น แต่ละขั้นจะแตกตัวให้  $H^+$  ขึ้นละหนึ่งตัว ดังนั้นกรดโพลีโปรติกจึงมีค่า  $K_a$  ได้มากกว่าหนึ่งค่า มักแทนด้วย  $K_{a1}$ ,  $K_{a2}$ ,  $K_{a3}$  สำหรับการแตกตัวขั้นที่หนึ่งขั้นที่สองและขั้นที่สาม ตามลำดับ

เช่น  $H_2CO_3$  มีการแตกตัว 2 ขั้น คือ



เช่น  $H_3PO_4$  มีการแตกตัว 3 ขั้น คือ





**ข้อสังเกต** ในการแตกตัวของกรดโพลีโปรติกในขั้นที่สองจะมีค่าคงที่การแตกตัว ( $K_{a2}$ ) น้อยกว่าการแตกตัวในขั้นแรกเสมอ ทั้งนี้เพราะในขั้นที่สอง  $\text{H}^+$  จะต้องแยกจากไอออนที่มีประจุลบย่อมต้องมีแรงดึงดูดระหว่างไอออนทั้งสอง ถ้าคิดโดยประมาณอาจกล่าวได้ว่า  $\text{H}^+$  ทั้งหมดในสารละลายมาจากการแตกตัวในขั้นแรก ค่าคงที่ของการแตกตัวแต่ละขั้นของกรดโพลีโปรติก แสดงดังตารางที่ 3.3

**ตารางที่ 3.3** การแตกตัวของกรดโพลีโปรติกบางชนิดที่ 25°C

กรด	สูตรเคมี	$K_{a1}$	$K_{a2}$	$K_{a3}$
แอสคอร์บิก	$\text{H}_2\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$	$8.0 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-12}$	
คาร์บอนิก	$\text{H}_2\text{CO}_3$	$4.3 \times 10^{-7}$	$5.6 \times 10^{-11}$	
ซิตริก	$\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$	$7.4 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-7}$
ออกซาลิก	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	$5.9 \times 10^{-2}$	$6.4 \times 10^{-5}$	
ฟอสฟอริก	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$7.5 \times 10^{-3}$	$6.2 \times 10^{-8}$	
ซัลฟิวรัส	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$1.7 \times 10^{-2}$	$6.4 \times 10^{-8}$	$4.2 \times 10^{-13}$
ซัลฟิวริก	$\text{H}_2\text{SO}_4$	มาก	$1.2 \times 10^{-2}$	
ทาร์ทาริก	$\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$	$1.0 \times 10^{-3}$	$4.6 \times 10^{-5}$	

**ตัวอย่าง 3.7** จงคำนวณหาความเข้มข้นของ  $\text{H}^+$  ในสารละลาย  $\text{CH}_3\text{COOH}$  เข้มข้น 0.10 mol/L และคำนวณหาร้อยละการแตกตัวของกรด  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ( $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ )

**วิธีคิด** คำนวณหา  $[\text{H}^+]$  โดยพิจารณาจากค่าคงที่สมดุลของกรดอ่อน

$\text{CH}_3\text{COOH}$  0.10 mol/L สมมติให้แตกตัวเป็น  $\text{H}^+$  เท่ากับ  $x$  mol/L

	$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$	$\rightleftharpoons$	$\text{H}^+(\text{aq})$	$+$	$\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$
[ ] เริ่มต้น	0.10		0		0
[ ] เปลี่ยนแปลง	-x		+x		+x
[ ] ที่สมดุล	0.10-x		x		x

ค่าคงที่สมดุลคือ  $K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$

แทนค่า  $1.8 \times 10^{-5} = \frac{x^2}{0.10 - x}$

$$x^2 = (1.8 \times 10^{-5})(0.10 - x)$$

รูปสมการที่ได้จะเป็นสมการกำลังสอง (quadratic equation) เขียนได้เป็น

$$x^2 + (1.8 \times 10^{-5})x - (1.8 \times 10^{-6}) = 0$$

จากการแก้สมการกำลังสอง เพื่อหาตัวแปร  $x$  ในสมการกำลังสองต้องใช้สูตร คือ

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad \dots(3.16)$$

$$x = \frac{-(1.8 \times 10^{-5}) \pm \sqrt{(1.8 \times 10^{-5})^2 - 4(1)(1.8 \times 10^{-6})}}{2(1)}$$

$$x = 1.33 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

ตัวแปร  $x$  คือ  $[H^+]$

$$\text{ดังนั้น } [H^+] = 1.33 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{ร้อยละการแตกตัวของกรด} = \frac{1.34 \times 10^{-3}}{0.10} \times 100 = 1.34\%$$

หมายเหตุ การคำนวณโดยการแก้สมการกำลังสองค่อนข้างยุ่งยากมาก เพื่อให้การคำนวณสะดวกและรวดเร็วขึ้น โดยยังคงได้ตัวเลขคำตอบที่ไม่แตกต่างจากคำตอบที่แท้จริงอย่างมีนัยสำคัญ การคำนวณโดยวิธีประมาณค่าโดยถือว่ากรดที่แตกตัวไปได้น้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ดังนั้น ตัวแปร  $x$  มีค่าน้อยมาก ๆ จนทำให้เทอม  $0.10 - x$  ที่ภาวะสมดุลมีค่าไม่ต่างจากความเข้มข้นเริ่มต้น ( $0.10 \text{ mol/L}$ ) มากนัก ดังนั้นจึงสมมติให้  $x$  น้อยกว่า  $0.10$  มาก ๆ ซึ่งจะเขียนค่าคงที่สมดุลใหม่ได้เป็น

$$1.8 \times 10^{-5} = \frac{x^2}{0.10}$$

$$x^2 = (1.8 \times 10^{-5})(0.10)$$

$$x = 1.34 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

ซึ่งจะเห็นว่าค่า  $x$  หรือ  $[H^+]$  ที่ได้โดยวิธีการประมาณค่า มีค่าใกล้เคียงกันมากกับค่าที่ได้จากการแก้สมการกำลังสอง ที่ได้  $x = 1.33 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

อย่างไรก็ตาม การคำนวณโดยวิธีประมาณค่าอาจต้องพิจารณาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นของกรด ( $C_a$ ) หรือเบส ( $C_b$ ) กับค่า  $K_a$  หรือ  $K_b$  ตามลำดับ โดยถ้า  $C_a/K_a > 1000$  เท่า หรือ  $C_b/K_b > 1000$  เท่า จึงสามารถคำนวณโดยวิธีประมาณค่าได้ (คือ  $x$  ที่บวกอยู่หรือลบอยู่ตัดทิ้งได้) แต่ถ้า  $C_a/K_a < 1000$  เท่า หรือ  $C_b/K_b < 1000$  เท่า การคำนวณหา  $[H^+]$  หรือ  $OH^-$  ไม่อาจใช้วิธีประมาณค่าได้ จำเป็นต้องแก้สมการกำลังสองโดยอาศัยสมการ (3.16)

ตัวอย่าง 3.8 จงหา  $[H^+]$  ของ  $COOH$  เข้มข้น  $0.0010 \text{ mol/L}$  ( $K_a = 1.8 \times 10^{-4}$ )

วิธีคิด	$COOH(aq)$	$\rightleftharpoons$	$H^+(aq)$	+	$COO^-(aq)$
[ ] เริ่มต้น	0.0010		0		0
[ ] เปลี่ยนแปลง	-x		+x		+x
[ ] ที่สมดุล	<u><math>0.0010 - x</math></u>		<u>x</u>		<u>x</u>

$$\text{ค่าคงที่สมดุลคือ } K_a = \frac{[H^+][COO^-]}{[HCOOH]}$$

$$\text{แทนค่า } 1.8 \times 10^{-4} = \frac{x^2}{0.0010 - x}$$

เนื่องจาก  $C_a/K_a < 1000$  เท่า จึงคิดค่าโดยวิธีประมาณค่าไม่ได้ ดังนั้นต้องคิดหาค่า  $x$  โดยใช้การแก้สมการกำลังสอง จากสมการกำลังสอง

$$x^2 + (1.8 \times 10^{-4})x - 1.8 \times 10^{-7} = 0$$

จากสมการกำลังสอง

$$x = \frac{-(-1.8 \times 10^{-4}) \pm \sqrt{(1.8 \times 10^{-4})^2 - 4(1)(-1.8 \times 10^{-7})}}{2(1)}$$

$$x = 3.25 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

จากตัวแปร  $x$  คือ  $[H^+]$

$$\text{ดังนั้น } [H^+] = 3.25 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

จากตัวอย่าง 3.8 สมมติการคำนวณโดยใช้วิธีประมาณค่า โดยสมมติให้  $x$  น้อยกว่า 0.0010 มาก ๆ จะได้เป็น

$$1.8 \times 10^{-4} = \frac{x^2}{0.0010}$$

$$x = 4.24 \times 10^{-4}$$

จะเห็นได้ว่า  $[H^+]$  ที่ได้จากวิธีประมาณค่าและการแก้สมการกำลังสองแตกต่างกันประมาณ 10 เท่า

**ตัวอย่าง 3.9** จงคำนวณร้อยละการแตกตัวและค่าคงที่สมดุล ( $K_b$ ) ของสารละลาย  $NH_3$  0.10 mol/L แยกตัวให้  $NH_4^+$  และ  $OH^-$  อย่างละ  $1.5 \times 10^{-3}$  mol/L

วิธีคิด

$$\text{ร้อยละการแตกตัวของเบส} = \frac{[OH^-]_{\text{ที่แตกตัว}}}{[NH_3]} \times 100$$

$$= \frac{1.50 \times 10^{-3}}{0.10} \times 100 = 1.5\%$$

ดังนั้น  $NH_3$  0.10 mol/L สามารถแตกตัวได้เพียงร้อยละ 1.5

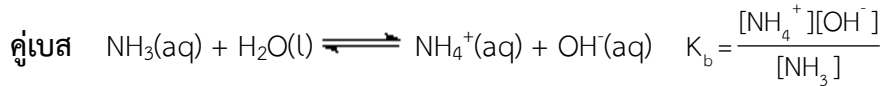
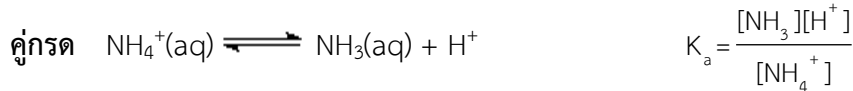
ปฏิกิริยาการแตกตัว	$NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$		
[ ] เริ่มต้น	0.10	0	0
[ ] เปลี่ยนแปลง	$-1.5 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-3}$
[ ] ที่สมดุล	$0.10 - (1.5 \times 10^{-3})$	$1.5 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-3}$

$$K_b = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$$

$$K_b = \frac{(1.5 \times 10^{-3})(1.5 \times 10^{-3})}{1.0 - (1.5 \times 10^{-3})} = 2.28 \times 10^{-5}$$

## 2.4) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $K_a$ , $K_b$ และ $K_w$

พิจารณาคู่กรด-เบส  $\text{NH}_4^+ - \text{NH}_3$



$$K_a K_b = \left( \frac{[\text{NH}_3][\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]} \right) \left( \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \right) \quad \dots(3.17)$$

$$K_a K_b = [\text{H}^+][\text{OH}^-] \quad \dots(3.18)$$

จาก  $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$

ดังนั้น  $K_w = K_a K_b \quad \dots(3.19)$

ตัวอย่าง 3.10 ค่า  $K_a$  ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  เท่ากับ  $1.8 \times 10^{-5}$  จงหาค่า  $K_b$  ของคู่เบส  $\text{CH}_3\text{COO}^-$

วิธีคิด จากสมการ (3.19)  $K_w = K_a K_b$

$$K_b = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = 5.55 \times 10^{-10}$$

ดังนั้น ค่า  $K_b$  ของคู่เบส  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  เท่ากับ  $5.55 \times 10^{-10}$

### 3.1.3 ค่า pH

#### 1) การคำนวณค่า pH

ความเข้มข้นของ  $\text{H}^+$  และ  $\text{OH}^-$  ซึ่งเป็นสปีชีส์บอกถึงความเป็นกรดหรือเบสในสารละลายมีระดับความเข้มข้นที่ต่ำจึงนิยมเขียนอยู่รูปของเลขยกกำลังที่ติดเครื่องหมายลบ เช่น  $0.00001 \text{ mol/L}$  เขียนเป็น  $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  เป็นต้น

ตัวอย่างสารละลาย  $0.10 \text{ mol/L HCl}$  จะมีความเข้มข้นของ  $\text{H}^+$  เท่ากับ  $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$  และความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  อยู่เท่ากับ  $1.0 \times 10^{-13} \text{ mol/L}$  หรือในสารละลาย  $0.10 \text{ mol/L NaOH}$  จะมี  $[\text{H}^+]$  เท่ากับ  $1.0 \times 10^{-13} \text{ mol/L}$  เพื่อความสะดวกจึงใช้ค่า pH แทนตัวเลขความเข้มข้นของ  $\text{H}^+$  โดยให้ค่าจำกัดความของ pH ว่าเป็นฟังก์ชันลอการิทึม (logarithmic function) ของ  $[\text{H}^+]$  และเพื่อให้ค่าที่ได้เป็นค่าบวกตลอดมาตราวัด จึงกำหนดให้ pH เป็นค่า  $-\log$

ในปี ค.ศ.1909 ซอเรนเซน (Soren Peter Lauritz Sorensen) ได้เสนอวิธีการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของ  $\text{H}^+$  และ  $\text{OH}^-$  โดยวิธี p-function เป็น pH และ pOH ตามลำดับ ดังนี้

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad \dots(3.20)$$

และ  $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] \quad \dots(3.21)$

สารละลายกรด  $[\text{H}^+] > 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$  จะมีค่า pH < 7

สารละลายที่เป็นกลาง  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$  จะมีค่า pH = 7

สารละลายเบส  $[\text{H}^+] < 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$  จะมีค่า pH > 7

ในการทำงานเกี่ยวกับ pH สามารถทำ p-function กับค่า  $K_a$  และ  $K_b$  ก็ได้

$$pK_a = -\log K_a \quad \dots(3.22)$$

$$pK_b = -\log K_b \quad \dots(3.23)$$

และเมื่อทำ p-function กับค่า  $K_w$  จะเขียนได้เป็น

$$pK_w = pH + pOH = 14 \quad \dots(3.24)$$

**ตัวอย่าง 3.11** จงคำนวณหา pH ของสารละลาย HCl เข้มข้น 0.0020 mol/L

**วิธีคิด** HCl เป็นกรดแก่ ดังนั้น  $[H^+] = 2.0 \times 10^{-3}$  mol/L

$$\begin{aligned} pH &= -\log[H^+] \\ &= -\log 2.0 \times 10^{-3} \\ &= 3 - \log 2.0 \\ &= 3 - 0.3 = 2.7 \end{aligned}$$

**ตัวอย่าง 3.12** จงคำนวณหา pH ของสารละลาย NaOH เข้มข้น  $5.0 \times 10^{-4}$  mol/L

**วิธีคิด** เนื่องจาก NaOH เป็นเบสแก่ ดังนั้น  $[OH^-] = 5.0 \times 10^{-4}$  mol/L NaOH

$$\begin{aligned} pOH &= -\log 5.0 \times 10^{-4} = 3.30 \\ pH &= 14 - pOH \\ &= 14 - 3.30 = 10.7 \end{aligned}$$

**ตัวอย่าง 3.13** จงคำนวณหาเข้มข้นของ  $H^+$  และ  $OH^-$  ในสารละลายที่มี pH=4.4

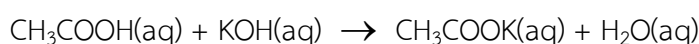
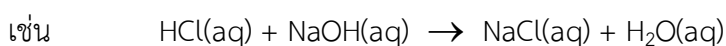
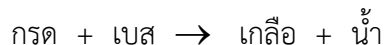
**วิธีคิด**  $pH = -\log[H^+] = 4.4$   
 $[H^+] = 10^{-4.4} = 4.0 \times 10^{-5}$  mol/L

จาก  $K_w = [H^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$

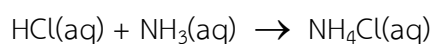
$$\begin{aligned} [OH^-] &= \frac{1.0 \times 10^{-14}}{4.0 \times 10^{-5}} \\ &= 2.5 \times 10^{-10} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

## 2) การไทเทรตปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบส

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดกับเบสโดยส่วนใหญ่ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือกับน้ำ เรียกปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบสที่เป็นเกลือกับน้ำว่า ปฏิกิริยาสะเทิน หรือปฏิกิริยาทำให้เป็นกลาง (neutralization reaction) สมการทั่วไป

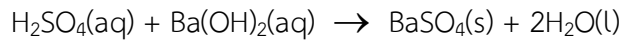


แต่จะมีบางปฏิกิริยาที่ได้เกลือเพียงอย่างเดียว เช่นปฏิกิริยาระหว่าง HCl กับ  $NH_3$  ได้เกลือ  $NH_4Cl$  ซึ่งเกลือ  $NH_4Cl$  จะแตกตัวให้  $NH_4^+$  และ  $Cl^-$  ดังสมการ





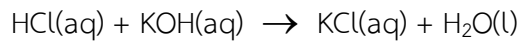
หรือปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{H}_2\text{SO}_4$  กับ  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  จะได้ตะกอน  $\text{BaSO}_4$  กับน้ำ



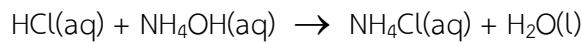
สารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  และสารละลาย  $\text{BaSO}_4$  นำไฟฟ้าได้ แต่เมื่อนำมาผสมเข้าด้วยกันแล้ว สารละลายที่ได้ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้เพราะ  $\text{BaSO}_4$  เป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยมาก จึงไม่มีไอออนที่จะนำไฟฟ้าได้

ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบส แบ่งออกได้ตามชนิดของกรดและเบส ดังนี้

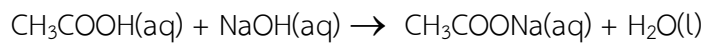
1) ปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่-เบสแก่ เช่น



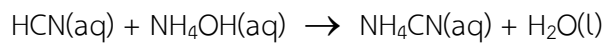
2) ปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่-เบสอ่อน เช่น



3) ปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อน-เบสแก่ เช่น

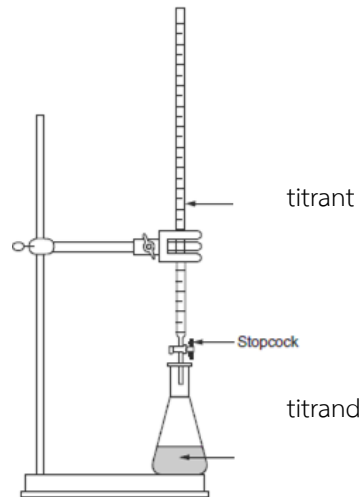


4) ปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อน-เบสอ่อน เช่น



การไทเทรต (titration) เป็นเทคนิคหนึ่งทางเคมีเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายชนิดหนึ่งที่ไม่ทราบความเข้มข้นโดยการใช้สารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนไปทำปฏิกิริยากัน โดยจุดที่กรดกับเบสทำปฏิกิริยากันพอดีตามปริมาณสัมพันธ์ เรียกว่า จุดสมมูล (equivalence point) แต่ในการไทเทรตปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบสจำเป็นต้องใช้อินดิเคเตอร์ช่วยบอกให้ทราบจุดที่กรดกับเบสทำปฏิกิริยากันพอดี โดยอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนสีตามค่า pH ของสารละลาย จุดที่อินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีหนึ่งเป็นอีกสีหนึ่ง เรียกว่า จุดยุติ (end point)

การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการไทเทรตแสดงดังภาพที่ 3.1 โดยสารละลายที่บรรจุในบิวเรต เรียกว่า ไทแทรนต์ (titrant) ส่วนสารละลายที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ เรียกว่า ไทแทรนด์ (titrand) เมื่อค่อยเปิดก๊อกบิวเรต (stop-cock) ไทแทรนต์จะค่อยหยดลงในขวดรูปชมพู่ เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมมูลกันจะอาศัยการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ในสารละลาย ปริมาตรไทแทรนต์ที่ใช้สามารถคำนวณความเข้มข้นไทแทรนต์ได้ โดยอาศัยปริมาณสัมพันธ์เคมีของปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส



ภาพที่ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์การไทเทรต

### สรุปท้ายบทเรียน

การแตกตัวของกรด-เบส คือความสามารถในการแตกตัวให้สปีชีส์ที่แสดงความเป็นกรดหรือเบสในตัวทำละลายหนึ่ง ๆ ในหน่วยเรียนนี้จะอธิบายเฉพาะการแตกตัวของกรด-เบสในตัวทำละลายน้ำ (aqueous solvent) เท่านั้น

การแตกตัวของกรด-เบสขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ ชนิดของกรดหรือเบส และอิทธิพลของตัวทำละลาย จากนิยามของอาร์เรเนียส กรดแก่จะสามารถแตกตัวให้  $H^+$  ได้มากกว่ากรดอ่อน และเบสแก่จะสามารถแตกตัวให้  $OH^-$  ได้มากกว่าเบสอ่อน

ในกรณีที่เป็นกรดแก่หรือเบสแก่ การแตกตัวเป็นไอออน ( $H^+$  หรือ  $OH^-$ ) เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

ในกรณีที่เป็นกรดอ่อนหรือเบสอ่อน การแตกตัวเป็นไอออน ( $H^+$  หรือ  $OH^-$ ) เกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ ดังนั้น ณ ภาวะสมดุล จะมีทั้งสปีชีส์  $H^+$  หรือ  $OH^-$  ที่แตกตัวไป และยังคงกรดอ่อน หรือเบสอ่อนที่แตกตัวไม่หมด การแตกตัวของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนจึงสามารถแสดงได้ด้วยค่าคงที่สมดุลการแตกตัว

**วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน**

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

**กิจกรรมที่มอบหมาย**

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 3.1
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

**การวัดผล**

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

**แบบฝึกหัด**

1. แบบฝึกหัด 3.1

### เอกสารอ้างอิง

- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online ed.).  
<https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

## หน่วยที่ 3 สมดุลกรด-เบสและสมดุลไอออน

### บทเรียนที่ 3.2 สมดุลไอออน

#### จุดประสงค์

1. อธิบายสมดุลเกลือ
2. คำนวณเกี่ยวกับสมดุลการละลาย
3. อธิบายสารละลายบัฟเฟอร์

#### 3.2.1 สมดุลของเกลือ

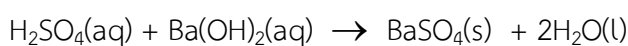
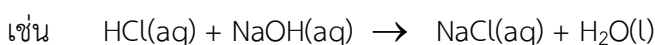
##### 1) เกลือ

เกลือ (salt) คือสารประกอบไอออน ที่ประกอบด้วยแคตไอออนและแอนไอออน ยึดเหนี่ยวด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต (พันธะไอออน) ประเภทของเกลือแบ่งได้ดังนี้

- เกลือสามัญ (normal salt) เป็นเกลือที่ไม่มี  $H^+$  หรือ  $OH^-$  ดังนั้นแคตไอออนจึงเป็นโลหะ หรือกลุ่มธาตุที่เทียบเท่าโลหะ เช่น  $NH_4^+$  กับแอนไอออน เช่น เกลือ  $NaCl$ ,  $K_2SO_4$ ,  $Ca_3(PO_4)_2$ ,  $NH_4NO_3$ ,  $(NH_4)_2SO_4$  และ  $ZnSO_4$
- เกลือกรด (acid salt) เกลือประเภทนี้มี  $H$  อะตอมอยู่ในโมเลกุลของเกลือ ซึ่งสามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ เช่น  $NaHSO_4$ ,  $NaHCO_3$ ,  $Na_2HPO_4$  และ  $NaH_2PO_4$
- เกลือเบส (basic salt) เกลือประเภทนี้มีแอนไอออน  $OH^-$  และแคตไอออน เช่น  $Pb(OH)Cl$  และ  $Bi(OH)_2Cl$
- เกลือเชิงซ้อน (complex salt) ประกอบด้วยแอนไอออนที่เป็นไอออนเชิงซ้อน เช่น  $K_3Fe(CN)_6$

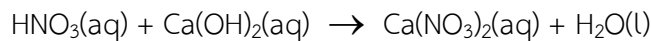
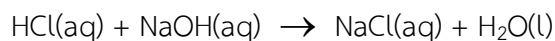
เกลือที่ได้จากการเตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส

ปฏิกิริยาทั่วไป                      กรด + เบส     $\rightarrow$     เกลือ + น้ำ

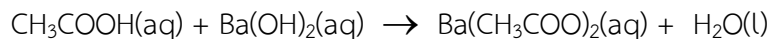
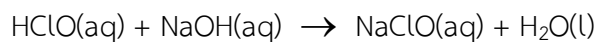


เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยากรดและเบส แคตไอออนของเกลือเป็นอนุมูลเบส (มาจากเบส) ส่วนแอนไอออนเป็นอนุมูลกรด (มาจากกรด) เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส แบ่งตามชนิดกรดและเบส ได้ดังนี้

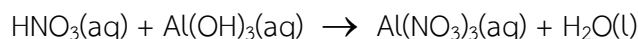
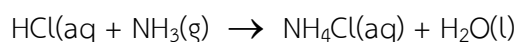
(1) เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสแก่ เกลือประเภทนี้จะไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ) ซึ่งสารละลายของเกลือมีสมบัติเป็นกลาง (pH=7) เช่น



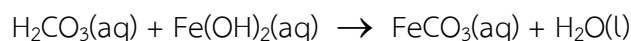
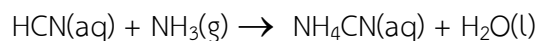
(2) เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่ เกลือประเภทนี้จะสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ทำปฏิกิริยากับน้ำ) สารละลายของเกลือมีสมบัติเป็นเบส (pH>7) เช่น



(3) เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน เกลือประเภทนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ทำปฏิกิริยากับน้ำ) สารละลายของเกลือมีสมบัติเป็นกรด (pH<7) เช่น



(4) เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อนกับเบสอ่อน เกลือประเภทนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ทำปฏิกิริยากับน้ำ) สารละลายมีสมบัติเป็นได้ทั้งกรด เบส และกลาง เช่น



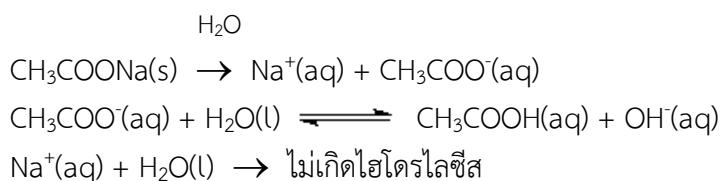
## 2) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ไฮโดรไลซิส (hydrolysis) คือปฏิกิริยาระหว่างเกลือกับน้ำ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจัดเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาสะเทิน

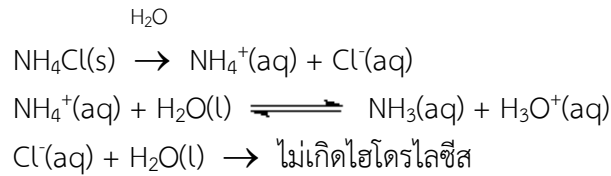


ไฮโดรไลซิสของเกลือ ทำให้สารละลายของเกลือนั้นมีสมบัติเป็นกรดอ่อนหรือเป็นเบสอ่อน เพราะแคตไอออนหรือแอนไอออนที่แตกตัวออกจากเกลือ เมื่อเป็นสารละลายไปทำปฏิกิริยากับน้ำ แล้วสามารถให้  $\text{H}^+$  หรือ  $\text{OH}^-$  ได้ สมบัติความเป็นกรด-เบสของสารละลายเกลือ จึงขึ้นอยู่กับแคตไอออนและแอนไอออนในสารละลายทำปฏิกิริยาน้ำ ดังนั้น ค่า pH ของเกลือขึ้นอยู่กับค่าการแตกตัวให้  $\text{H}^+$  หรือ  $\text{OH}^-$

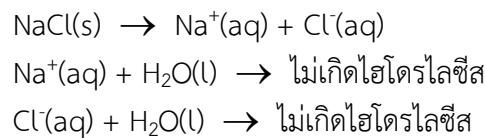
เมื่อนำเกลือ  $\text{CH}_3\text{COONa}$  (เกลือที่เกิดจากกรดอ่อน-เบสแก่) ไปละลายน้ำจะแตกตัวให้  $\text{Na}^+$  และ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  จากนั้น  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  สามารถเกิดไฮโดรไลซิสกับน้ำ เกิดเป็น  $\text{OH}^-$  ขึ้น ทำให้สารละลายที่ได้มีสมบัติเป็นเบส ส่วน  $\text{Na}^+$  ไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส



เมื่อนำเกลือ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (เกลือที่เกิดจากกรดแก่-เบสอ่อน) มาละลายน้ำจะแตกตัวเป็น  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{Cl}^-$  พบว่า  $\text{NH}_4^+$  สามารถเกิดไฮโดรไลซิสกับน้ำเกิด  $\text{H}_3\text{O}^+$  ขึ้น ทำให้สารละลายที่ได้มีสภาพเป็นกรด ส่วน  $\text{Cl}^-$  ไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส



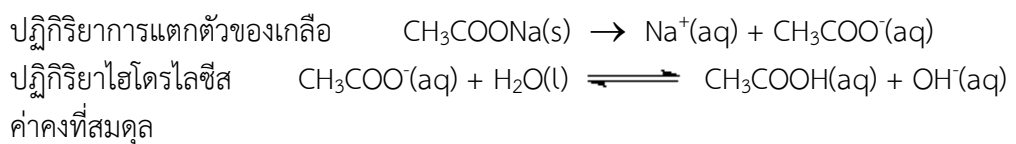
เมื่อนำเกลือ  $\text{NaCl}$  (เกลือที่เกิดจากกรดแก่-เบสแก่) มาละลายน้ำจะแตกตัวได้  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  เกิดขึ้น ทั้ง  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส สารละลายที่ได้มีสภาพเป็นกลาง เนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำ



จากตัวอย่างของเกลือ  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  และ  $\text{NaCl}$  สามารถสรุปค่า pH ที่จุดสมมูลได้ว่า

- (1) เกลือที่ได้จากกรดแก่-เบสแก่ นำไปละลายน้ำจะได้สารละลายที่เป็นกลาง (ไม่เกิดไฮโดรไลซิส)
- (2) เกลือที่ได้จากกรดแก่-เบสอ่อน นำไปละลายน้ำจะได้สารละลายที่เป็นกรด
- (3) เกลือที่ได้จากกรดอ่อน-เบสแก่ นำไปละลายน้ำจะได้สารละลายที่เป็นเบส
- (4) เกลือที่ได้จากกรดอ่อน-เบสอ่อน สารละลายที่ได้อาจเป็นได้ทั้งกรด เบส หรือกลาง

เกลือที่สามารถเกิดไฮโดรไลซิสได้ ณ ภาวะสมดุล สามารถเขียนค่าคงที่สมดุลของการเกิดไฮโดรไลซิส เช่น การเกิดไฮโดรไลซิสเกลือที่เกิดจากกรดอ่อน-เบสแก่ เช่น  $\text{CH}_3\text{COONa}$



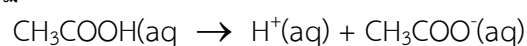
$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \quad \dots(3.26)$$

เมื่อ  $K_h$  = ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส  
สมการ (3.26) ถ้านำ  $[\text{H}^+]$  คูณทั้งเศษและส่วน จะได้

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]} \quad \dots(3.27)$$

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}] K_w}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]} \quad \dots(3.28)$$

จากปฏิกิริยาการแตกตัว  $\text{CH}_3\text{COOH}$  จะได้



$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \quad \text{.....(3.29)}$$

จากสมการ (3.29)

$$\frac{1}{K_a} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]} \quad \text{.....(3.30)}$$

แทนสมการ (3.30) ลงในสมการ (3.28) จะได้

$$K_h = \frac{K_w}{K_a} \quad \text{.....(3.31)}$$

ในทำนองเดียวกัน เกลือของกรดแก่-เบสอ่อน สามารถเกิดไฮโดรไลซิสได้ และมีค่าคงที่สมดุลไฮโดรไลซิสเป็น

$$K_h = \frac{K_w}{K_b} \quad \text{.....(3.32)}$$

ส่วนเกลือของกรดอ่อน-เบสอ่อน เกิดไฮโดรไลซิสแล้วสารละลายอาจเป็นได้ทั้งกรด เบส หรือกลาง ค่าคงที่สมดุลไฮโดรไลซิสเป็น

$$K_h = \frac{K_w}{K_a K_b} \quad \text{.....(3.33)}$$

**ตัวอย่าง 3.14** คำนวณค่าคงที่ไฮโดรไลซิส ของสารต่อไปนี้

1)  $\text{HC}_2\text{O}_4^-$  ( $K_a$  ของ  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4=5.9 \times 10^{-2}$ )

วิธีคิด  $\text{HC}_2\text{O}_4^-$  เป็นคู่เบสของกรด  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$

จากสมการ (3.31)

$$K_h = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{5.9 \times 10^{-2}} = 1.7 \times 10^{-13}$$

2)  $\text{NH}_4^+$  ( $K_b$   $\text{NH}_3=1.8 \times 10^{-5}$ )

วิธีคิด  $\text{NH}_4^+$  เป็นคู่กรดของเบส  $\text{NH}_3$

จากสมการ (3.32)

$$K_h = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = 5.6 \times 10^{-10}$$

**ตัวอย่าง 3.15** คำนวณค่า pH ของสารละลาย  $\text{CH}_3\text{COONa}$  เข้มข้น  $1.0 \text{ mol/L}$  ( $K_a$  ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}=1.8 \times 10^{-5}$ )

วิธีคิด เกลือ  $\text{CH}_3\text{COONa}$  เป็นเกลือจากปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และ  $\text{NaOH}$

ปฏิกิริยาการแตกตัว  $\text{CH}_3\text{COONa}(s) \rightarrow \text{Na}^+(aq) + \text{CH}_3\text{COO}^-(aq) \quad (1)$

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส  $\text{CH}_3\text{COO}^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{OH}^-(aq) \quad (2)$

ค่าคงที่สมดุลไฮโดรไลซิส 
$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$



ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการละลายของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อย เขียนได้เหมือนค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาทั่วไป

$$K = \frac{[Ag^+][Cl^-]}{[AgCl]} \quad \dots(3.34)$$

เนื่องจาก AgCl สถานะเป็นของแข็งมีความเข้มข้นคงที่ จึงไม่ต้องนำมาคิดในสมการค่าคงที่สมดุล สมการ (3.34) จึงเขียนได้เป็น

$$K_{sp} = [Ag^+][Cl^-] \quad \dots(3.35)$$

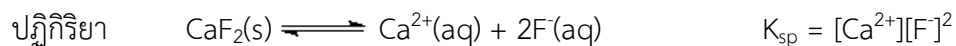
เมื่อ  $K_{sp}$  = ค่าคงที่สมดุลของการละลาย

กรณีที่เป็นสมดุลของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อยใช้สัญลักษณ์  $K_{sp}$  แทน K โดยเรียกว่า ค่าคงที่สมดุลของการละลาย หรือเรียกสั้น ๆ ว่า ผลคูณการละลาย

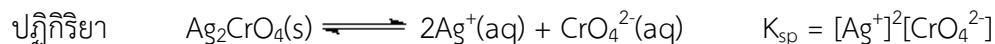
ค่า  $K_{sp}$  ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเช่นเดียวกับค่าคงที่สมดุลอื่น ๆ ค่า  $K_{sp}$  เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าเกลือชนิดนั้นละลายน้ำได้มากน้อยเพียงใดที่อุณหภูมิคงที่และใช้สำหรับเปรียบเทียบว่าเกลือใดละลายน้ำได้ดีกว่ากัน ค่า  $K_{sp}$  ของเกลือบางชนิดแสดงในตารางที่ 3.4 โดยปกติเกลือที่มีค่า  $K_{sp}$  มากกว่าจะละลายน้ำได้ดีกว่า เช่น  $BaF_2$  และ  $CaF_2$  มีค่า  $K_{sp}$  เท่ากับ  $1.7 \times 10^{-6}$  และ  $3.9 \times 10^{-11}$  ตามลำดับ แสดงว่า  $BaF_2$  ละลายในน้ำได้ดีกว่า  $CaF_2$

### ตัวอย่าง 3.16 การเขียนสมการค่าคงที่สมดุลของเกลือละลายน้ำได้น้อย

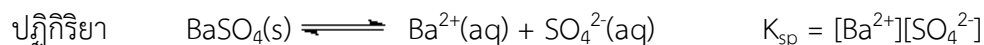
ก)  $CaF_2$



ข)  $Ag_2CrO_4$



ค)  $BaSO_4$

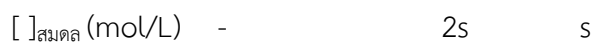
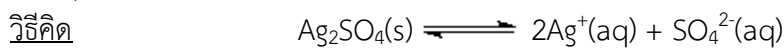


ปริมาณการละลายของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อย นิยมบอกเป็นค่าการละลาย (solubility หน่วย g/L) และค่าการละลายเป็นโมลาร์ (molar solubility หน่วย mol/L) จากค่า  $K_{sp}$  สามารถใช้คำนวณความสามารถในการละลายของเกลือ และใช้ในการทำนายการตกตะกอนของเกลือไอออน

ตารางที่ 3.4 ค่าคงที่สมดุลของการละลาย ( $K_{sp}$ ) ของเกลือบางชนิดที่ 25°C

เกลือ	สูตรเคมี	สมการการละลาย	$K_{sp}$
อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์	$Al(OH)_3$	$Al(OH)_3(s) \rightleftharpoons Al^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$	$1.3 \times 10^{-33}$
แบเรียมคาร์บอเนต	$BaCO_3$	$BaCO_3(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$	$5.1 \times 10^{-9}$
แบเรียมซัลเฟต	$BaSO_4$	$BaSO_4(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$	$1.1 \times 10^{-10}$
แคลเซียมคาร์บอเนต	$CaCO_3$	$CaCO_3(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$	$2.8 \times 10^{-9}$
แคลเซียมฟลูออไรด์	$CaF_2$	$CaF_2(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2F^-(aq)$	$5.3 \times 10^{-9}$
แคลเซียมซัลเฟต	$CaSO_4$	$CaSO_4(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$	$9.1 \times 10^{-6}$
โครเมียม(III) ไฮดรอกไซด์	$Cr(OH)_3$	$Cr(OH)_3(s) \rightleftharpoons Cr^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$	$6.3 \times 10^{-31}$
เหล็ก(III) ไฮดรอกไซด์	$Fe(OH)_3$	$Fe(OH)_3(s) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$	$4.0 \times 10^{-38}$
ตะกั่ว(II) คลอไรด์	$PbCl_2$	$PbCl_2(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq)$	$1.6 \times 10^{-5}$
ตะกั่ว(II) โครเมต	$PbCrO_4$	$PbCrO_4(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + CrO_4^{2-}(aq)$	$2.8 \times 10^{-13}$
ตะกั่ว(II) ไอโอไดต์	$PbI_2$	$PbI_2(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + 2I^-(aq)$	$7.1 \times 10^{-9}$
ตะกั่ว(II) ซัลเฟต	$PbSO_4$	$PbSO_4(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$	$6.3 \times 10^{-7}$
แมกนีเซียมคาร์บอเนต	$MgCO_3$	$MgCO_3(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$	$3.5 \times 10^{-8}$
แมกนีเซียมฟลูออไรด์	$MgF_2$	$MgF_2(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2F^-(aq)$	$3.7 \times 10^{-8}$
แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์	$Mg(OH)_2$	$Mg(OH)_2(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$	$1.8 \times 10^{-11}$
แมกนีเซียมฟอสเฟต	$Mg_3(PO_4)_2$	$Mg_3(PO_4)_2(s) \rightleftharpoons 3Mg^{2+}(aq) + 2PO_4^{3-}(aq)$	$1.0 \times 10^{-25}$
ปรอท(I) คลอไรด์	$HgCl$	$HgCl(s) \rightleftharpoons Hg^+(aq) + Cl^-(aq)$	$1.3 \times 10^{-18}$
ปรอท(I) ไอโอไดต์	$HgI$	$HgI(s) \rightleftharpoons Hg^+(aq) + I^-(aq)$	$1.1 \times 10^{-28}$
เงินโบรไมด์	$AgBr$	$AgBr(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Br^-(aq)$	$5.0 \times 10^{-13}$
เงินคาร์บอเนต	$Ag_2CO_3$	$Ag_2CO_3(s) \rightleftharpoons 2Ag^+(aq) + CO_3^{2-}(aq)$	$8.5 \times 10^{-12}$
เงินคลอไรด์	$AgCl$	$AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$	$1.8 \times 10^{-10}$
เงินโครเมต	$Ag_2CrO_4$	$Ag_2CrO_4(s) \rightleftharpoons 2Ag^+(aq) + CrO_4^{2-}(aq)$	$1.1 \times 10^{-12}$
เงินไอโอไดต์	$AgI$	$AgI(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + I^-(aq)$	$8.5 \times 10^{-17}$
เงินซัลเฟต	$Ag_2SO_4$	$Ag_2SO_4(s) \rightleftharpoons 2Ag^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$	$1.5 \times 10^{-5}$

ตัวอย่าง 3.17 เกลือ  $Ag_2SO_4$  มีค่าการละลายเท่ากับ  $1.5 \times 10^{-2}$  mol/L ที่อุณหภูมิ 25°C จงคำนวณหา  
ค่า  $K_{sp}$  ของเกลือ  $Ag_2SO_4$



จากสมการจะเห็นได้ว่า 1 mol ของ  $Ag_2SO_4$  จะให้  $Ag^+$  2 mol และ  $SO_4^{2-}$  1 mol

ดังนั้นถ้า  $Ag_2SO_4$   $1.5 \times 10^{-2}$  mol/L ความเข้มข้นของแต่ละไอออนเป็น

$$[Ag^+] = 2(1.5 \times 10^{-2}) = 3.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$[SO_4^{2-}] = 1.5 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

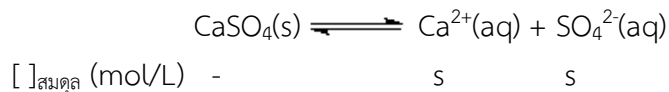
$$K_{sp} = [Ag^+]^2[SO_4^{2-}]$$

$$= (3.0 \times 10^{-2})^2(1.5 \times 10^{-2})$$

$$= 1.4 \times 10^{-5}$$

ตัวอย่าง 3.18 เกลือ  $\text{CaSO}_4$  มีค่า  $K_{sp}=9.1 \times 10^{-6}$  จงคำนวณ  $[\text{Ca}^{2+}]$  และ  $[\text{SO}_4^{2-}]$

วิธีคิด



[ ] สมดุล (mol/L)      -                                      s                                      s

$$K_{sp} = [\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$$

$$9.1 \times 10^{-6} = s^2$$

$$s = 3.02 \times 10^{-3}$$

ดังนั้น  $[\text{Ca}^{2+}]$  และ  $[\text{SO}_4^{2-}] = 3.02 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

### 3.2.3 สารละลายบัฟเฟอร์

#### 1) ประเภทสารละลายบัฟเฟอร์

บัฟเฟอร์ (buffer) คือสารละลายที่มีสมบัติในการต้านทานการเปลี่ยนแปลง pH เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปเป็นปริมาณเล็กน้อย

สารละลายบัฟเฟอร์เป็นสารละลายผสมระหว่างกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน หรือเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อน สารละลายบัฟเฟอร์แบ่งออกเป็นสองชนิด คือ

1) บัฟเฟอร์กรด (ที่เกิดจากระหว่างกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน) จะมี  $\text{pH} < 7$

เช่น

- แอซีเตตบัฟเฟอร์ (เกิดจากระหว่าง  $\text{CH}_3\text{COOH}$  กับ  $\text{CH}_3\text{COONa}$ )
- ซิเตรตบัฟเฟอร์ (เกิดจากระหว่าง  $\text{HCOOH}$  กับ  $\text{HCOOK}$ )
- คาร์บอเนตบัฟเฟอร์ (เกิดจากระหว่าง  $\text{H}_2\text{CO}_3$  กับ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

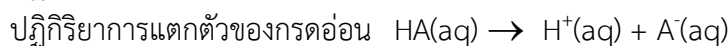
2) บัฟเฟอร์เบส (ที่เกิดจากระหว่างเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อน) จะมี  $\text{pH} > 7$

เช่น

- แอมโมเนียบัฟเฟอร์ (เกิดจากระหว่าง  $\text{NH}_3$  กับ  $\text{NH}_4\text{Cl}$ )

#### 2) การคำนวณเกี่ยวกับสารละลายบัฟเฟอร์

สมมติ สารละลายระบบบัฟเฟอร์กรด ที่ประกอบด้วยกรด HA และเกลือ  $\text{A}^-$  สามารถเขียนสมการแสดงการแตกตัวและค่าคงที่สมดุลดังนี้



ค่าคงที่การแตกตัวของกรด HA คือ

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \quad \text{.....(3.36)}$$

$$[\text{H}^+] = K_a \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]} \quad \text{.....(3.37)}$$

ถ้า  $-\log$  จะได้  $-\log [\text{H}^+] = -\log \left( K_a \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]} \right) \quad \text{.....(3.48)}$

$$-\log [\text{H}^+] = -\log K_a - \log \left( \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]} \right) \quad \text{.....(3.39)}$$

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log\left(\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}\right) \quad \text{.....(3.40)}$$

ในกรณีสารละลายบัฟเฟอร์เบส ประกอบด้วยเบส HB และเกลือ B<sup>-</sup> สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\text{pOH} = \text{pK}_b + \log\left(\frac{[\text{B}^-]}{[\text{HB}]}\right) \quad \text{.....(3.41)}$$

สมการ (3.40) และ (3.41) เรียกว่า สมการของเฮนเดอร์สัน-ฮาเซลบัลช์ (Henderson-Hasselbalch's equation)

ตัวอย่าง 3.19 อธิบายวิธีการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 5.0 ปริมาตร 100 mL ระหว่าง 0.50 mol/L CH<sub>3</sub>COOH และ 0.50 mol/L CH<sub>3</sub>COONa

วิธีคิด สมการ (3.40)

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log\left(\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}\right)$$

$$5.0 = 4.76 + \log\left(\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}\right)$$

$$\log\left(\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}\right) = 0.24$$

ทำ anti-log  $\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 1.73$

ดังนั้น จะต้องผสม [CH<sub>3</sub>COONa] กับ [CH<sub>3</sub>COOH] ให้มีอัตราส่วนเป็น 1:1.73

ตัวอย่าง 3.20 จงคำนวณค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมโดยการละลายเกลือ CH<sub>3</sub>COONa หนัก 25.5 g ในน้ำปริมาตร 500 mL ที่มี CH<sub>3</sub>COOH เข้มข้น 0.550 mol/L ละลายผสมอยู่

วิธีคิด



คำนวณความเข้มข้นของเกลือ CH<sub>3</sub>COONa หนัก 25.5 g ในน้ำปริมาตร 500 mL

$$[\text{CH}_3\text{COONa}] = 25.5 \text{ g} \times \left(\frac{1 \text{ mol CH}_3\text{COONa}}{82.4 \text{ g CH}_3\text{COONa}}\right) \left(\frac{1000 \text{ mL}}{500 \text{ mL}}\right) = 0.622 \text{ mol/L}$$

แสดงว่า [CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>] = 0.622 mol/L

คำนวณค่า pH จากสมการ (3.50)

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{pK}_a + \log \left( \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \right) \\ \text{pH} &= 4.76 + \log \left( \frac{0.622}{0.550} \right) \\ &= 4.70 \end{aligned}$$

**วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน**

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

**กิจกรรมที่มอบหมาย**

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 3.2
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

**การวัดผล**

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

**แบบฝึกหัด**

1. แบบฝึกหัด 3.2

### เอกสารอ้างอิง

- โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอน. (2551) เคมี 2. (พิมพ์ครั้งที่ 2). บริษัทด้าน  
สุทธนาการพิมพ์ จำกัด.
- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online).  
[https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-  
v1.0m/index.html](https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html)
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W.  
(2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of  
Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Lattice Structure of Crystals*. (n.d.). [https://www.coursehero.com/sg/general-  
chemistry/lattice-structure-of-crystals/](https://www.coursehero.com/sg/general-chemistry/lattice-structure-of-crystals/)
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry:  
Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing  
Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter  
and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

## หน่วยที่ 4 สารอินทรีย์และหมู่ฟังก์ชัน

### บทเรียนที่ 4.1 สารอินทรีย์

#### จุดประสงค์

1. บอกประเภทสารอินทรีย์
2. บอกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

เคมีอินทรีย์ (organic chemistry) ในสมัยก่อนจะหมายถึงการศึกษาสารประกอบที่ได้จากธรรมชาติและสิ่งมีชีวิตเท่านั้น เช่น ควินินที่ใช้รักษาไข้มาเลเรียสกัดได้จากเปลือกของต้นคินคินา ถ่านหินและสารประกอบปิโตรเลียมต่าง ๆ ได้จากฟอสซิล ซึ่งเกิดจากการทับถมของซากสิ่งมีชีวิต จนกระทั่งในปี ค.ศ.1828 เวอเลอร์ (Friedrich Wöhler) นักเคมีชาวเยอรมัน ได้ค้นพบวิธีเตรียมยูเรีย (urea) ขึ้นในห้องปฏิบัติการ ซึ่งยูเรียนี้เป็นสารประกอบที่พบในปัสสาวะ โดยสังเคราะห์ยูเรียซึ่งเป็นสารอินทรีย์จากการเผาแอมโมเนียมไซยาเนต ( $\text{NH}_4\text{OCN}$ ) ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ ดังสมการ



ภาพที่ 4.1 วิธีเตรียมยูเรีย

ต่อมาได้มีผู้สังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ขึ้นมากมาย ในปัจจุบัน เคมีอินทรีย์ จึงหมายถึง การศึกษาทางเคมีของสารประกอบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เรียกสารประกอบอินทรีย์ (organic compounds) โดยสารประกอบอินทรีย์จากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ขึ้นนั้นปัจจุบันมีมากมายและนำมาใช้ประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันและยังก่อให้เกิดอุตสาหกรรมด้านเคมีอีกด้วย การศึกษาเกี่ยวกับสารอินทรีย์จึงทำให้เข้าใจถึงสมบัติของสารประกอบอินทรีย์ได้อย่างลึกซึ้ง และมีความจำเป็นต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สารประกอบอินทรีย์นั้นมีมากมายหลายชนิด การจำแนกประเภทสารประกอบอินทรีย์นั้นสามารถแบ่งตามโครงสร้าง (structure) และหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ของสาร ซึ่งหมู่ฟังก์ชันจะเป็นตัวบอกสมบัติเฉพาะในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ สมบัติการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบอินทรีย์จะเป็นไปตามหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของสารเหล่านั้น

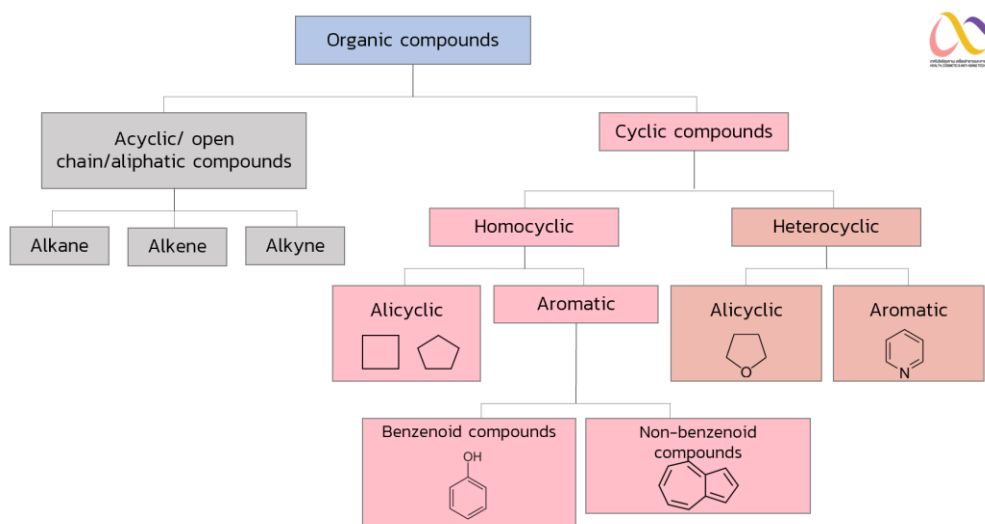
### 4.1.1 ประเภทสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ หมายถึง สารประกอบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ทั้งที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต และจากการสังเคราะห์ ยกเว้นสารต่อไปนี้ที่ไม่จัดเป็นสารอินทรีย์ (แต่เป็นสารอนินทรีย์)

- ออกไซด์ของคาร์บอน เช่น  $\text{CO}_2$
- เกลือคาร์บอเนต และไฮโดรเจนคาร์บอเนต เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ )
- เกลือคาร์ไบด์ เช่น แคลเซียมคาร์ไบด์ ( $\text{CaC}_2$ )
- เกลือไซยาไนด์ เช่น โพแทสเซียมไซยาไนด์ ( $\text{KCN}$ ), โซเดียมไซยาไนด์ ( $\text{NaCN}$ )
- เกลือไอซยาเนต เช่น แอมโมเนียมไอซยาเนต ( $\text{NH}_4\text{OCN}$ )
- สารที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเพียงชนิดเดียว เช่น เพชร แกรไฟต์ และฟูลเลอร์รีน ( $\text{C}_{60}$ )

#### 1) การจำแนกสารอินทรีย์

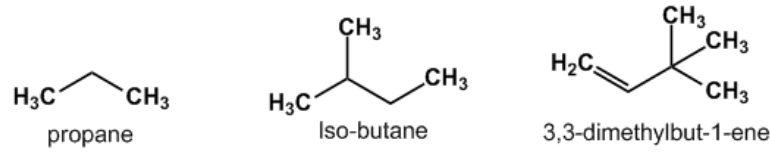
การจำแนกสารอินทรีย์ตามโครงสร้างของสารประกอบ ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 การจำแนกประเภทของสารประกอบอินทรีย์

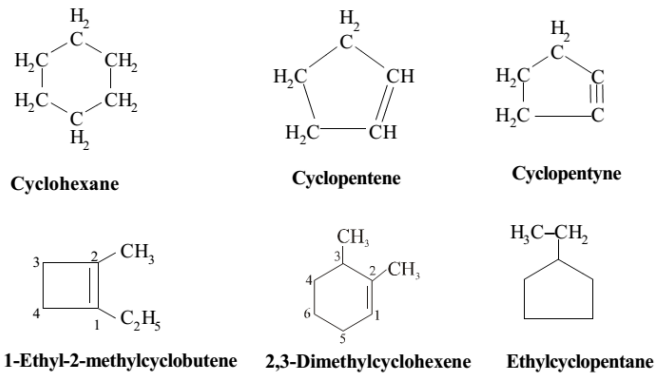
การจำแนกประเภทของสารประกอบอินทรีย์ตามลักษณะของสูตรโครงสร้างโมเลกุล สามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1) สารประกอบแอลิฟาติก (aliphatic compounds) ได้แก่สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นโซ่เปิด (opened-chain) ซึ่งเป็นโซ่ตรง (straight-chain) โซ่ที่มีกิ่งก้านสาขาหรือโซ่แขนง (branched-chain) โดยมีอะตอมของคาร์บอนต่อกับคาร์บอนด้วยพันธะโคเวเลนต์ชนิดพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสาม หรือปนกันก็ได้ เช่น



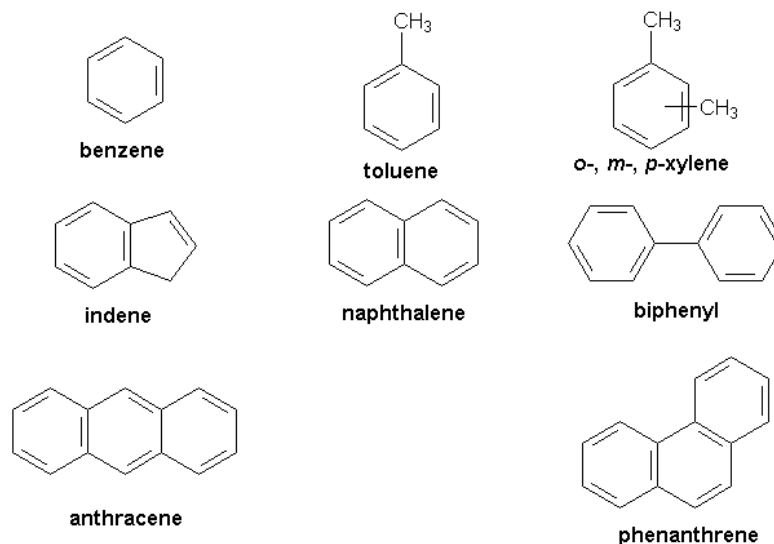
ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างสารประกอบแอลิฟาติก

2) สารประกอบแอลิไซคลิก (alicyclic compounds) ได้แก่สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวง (cyclic) โดยที่อะตอมของคาร์บอนต่อกับคาร์บอนด้วยพันธะเดี่ยวหรือพันธะคู่ ขนาดของวงมีได้ตั้งแต่จำนวนคาร์บอน 3 คาร์บอน จนถึง 9 คาร์บอน หรือมากกว่า เช่น



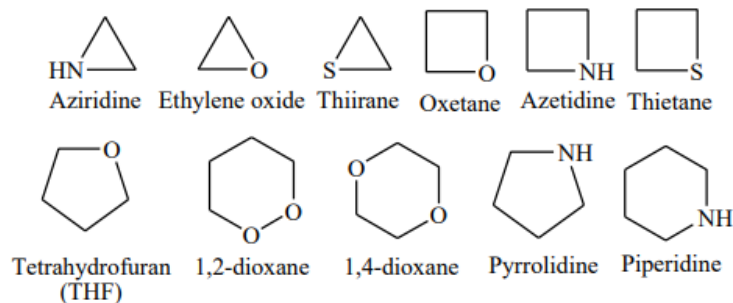
ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างสารประกอบแอลิไซคลิก

3) สารประกอบแอโรแมติก (aromatic compounds) ได้แก่ สารประกอบที่มีอะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นวงมี  $\pi$ -อิเล็กตรอน จำนวน  $4n+2$  (เมื่อ  $n$  คือเลขจำนวนเต็มบวกใด ๆ เช่น 0, 1, 2, 3,...) มีโครงสร้างเป็นรูปแบนราบหรือใกล้เคียงแบนราบ และ  $\pi$ -อิเล็กตรอนนี้มีการเคลื่อนที่เป็นวง และแต่ละอะตอมในวงมักจะเป็น  $sp^2$  ไฮบริดเซชัน เช่น



ภาพที่ 4.5 ตัวอย่างสารประกอบแอโรแมติก

4) สารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic compounds) ได้แก่สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวง แต่มีอะตอมของธาตุอื่น เช่น ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ซัลเฟอร์ (S) มาคั่นอยู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอน ซึ่งอะตอมเหล่านี้ต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวหรือพันธะคู่ เช่น



ภาพที่ 4.6 สารประกอบเฮเทอโรไซคลิก

ยังมีการจำแนกประเภทสารประกอบอินทรีย์นั้นสามารถแบ่งตามหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ของสาร

**ตารางที่ 4.1** การจำแนกประเภทสารประกอบอินทรีย์ตามหมู่ฟังก์ชัน

S. No.	Class of compounds	Functional group	General formula (R - Alkyl group)
1	Alkene	-	$C_n H_{2n}$
2	Alkyne	-	$C_n H_{2n-2}$
3	Alkyl halide	$\begin{array}{c} \text{---F---} \\ \text{---Cl---} \\ \text{---Br---} \\ \text{---I---} \end{array}$	R-X
4	Alcohol	$\text{---OH}$	R-OH
5	Ether	$\text{---O---}$	R-O-R'
6	Aldehyde	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{---C---H} \end{array}$	R-CHO
7	Ketone	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{---C---} \end{array}$	R-CO-R'
8	Carboxylic acid	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{---C---OH} \end{array}$	R-COOH
9	Ester	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{---C---OR} \end{array}$	RCOOR'
10	Acid anhydride	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{---C---O---C---} \end{array}$	R-CO-O-CO-R'
11	Acyl chloride	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{---C---X} \end{array}$	R-COX
12	Sulphonic acid	$\text{---SO}_3\text{H}$	R-SO <sub>3</sub> H
13	Nitro alkane	$\text{---NO}_2$	R-NO <sub>2</sub>
14	Amine	$\text{---NH}_2$	R-NH <sub>2</sub>
15	Amide	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{---C---NH}_2 \end{array}$	R-CO-NH <sub>2</sub>
16	Cyanide (Nitrile)	$\text{---C}\equiv\text{N}$	R-CN
17	Isocyanide	$\text{---NC}$	R-NC
18	Cyanate	$\text{---OCN}$	R-OCN
19	Isocyanate	$\text{---NCO}$	R-NCO
20	Thiocyanate	$\text{---SCN}$	R-SCN
21	Isothiocyanate	$\text{---NCS}$	R-NCS
23	Thioalcohols or thiols	$\text{---SH}$	R-SH
24	Thioethers	$\text{---S---R}$	R-S-R'
25	Imines	$\text{=NH}$	R-CH=NH
26	Nitroso compounds	$\text{---NO}$	R-NO
27	Hydrazines	$\text{---NH---NH}_2$	R-NH-NH <sub>2</sub>
28	Hydrazo compounds	$\text{---NH---NH---}$	R-NH-NH-R
29	Phenols		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
30	Imide	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{R} \quad \text{O} \\ \parallel \quad   \quad \parallel \\ \text{---C---N---C---} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{RCON(R')} \\   \\ \text{COR''} \end{array}$

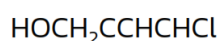
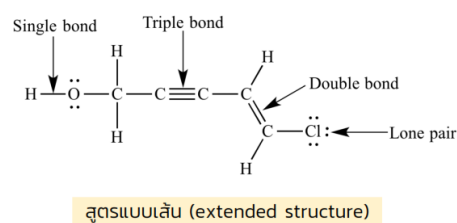
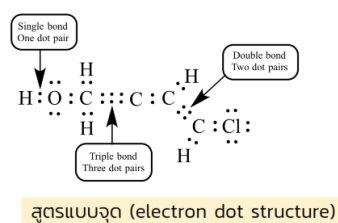
## 2) สูตรโครงสร้างสารอินทรีย์

สูตรโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ เป็นสูตรที่แสดงลักษณะการจัดเรียงอะตอมของธาตุต่าง ๆ ในโมเลกุลซึ่งมีหลายประเภทดังนี้

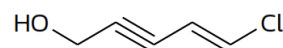
- สูตรโครงสร้างลิวอิส (Lewis structure) หรือโครงสร้างแบบจุดอิเล็กตรอน เป็นวิธีการเขียนเพื่อแสดงเวเลนซ์ อิเล็กตรอนและการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอมในโมเลกุล โดยอะตอมแต่ละอะตอมต้องมีเวเลนซ์ อิเล็กตรอนครบ 8 ยกเว้นกรณีไฮโดรเจนมีเพียง 2 อิเล็กตรอน

- สูตรโครงสร้างแบบย่อ (condense structural formula) เป็นการเขียนสัญลักษณ์ของคาร์บอนต่อเนื่องกัน โดยไม่ต้องแสดงพันธะแบบเส้น (ยกเว้นพันธะคู่และพันธะสาม) ส่วนอะตอมของธาตุอื่น ๆ ที่เกิดพันธะกับคาร์บอนอะตอมใด ให้เขียนไว้ติดกับคาร์บอนอะตอมนั้น โดยไม่ต้องแสดงพันธะ และถ้าโครงสร้างมีลักษณะซ้ำ ๆ กัน ให้ใช้วงเล็บแทนการเขียนทั้งหมด การเขียนโครงสร้างแบบย่อมีข้อดีกว่าการเขียนด้วยโครงสร้างแบบลิวอิส เพราะใช้พื้นที่น้อย เขียนได้สะดวกและรวดเร็ว แต่อาจพิจารณาโครงสร้างของโมเลกุลได้ยากและสับสน นอกจากนี้การเขียนสูตรโครงสร้างสามารถเขียนแบบย่อบางส่วน (Partially extended structural formula) ซึ่งเป็นการเขียนสูตรโครงสร้างผสมระหว่างสูตรโครงสร้างลิวอิสผสมกับสูตรโครงสร้างแบบย่อ โดยใช้ขีดแทนพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนหรือระหว่างคาร์บอนกับหมู่ฟังก์ชันเพื่อต้องการเน้นบางอย่างให้เด่นชัดขึ้น

- สูตรโครงสร้างแบบเส้นและมุม (bond-line structural formula) เป็นการแสดงโครงสร้างตามลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอมใน 2 มิติ โดยใช้เส้นตรงแทนพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน เขียนหักมุมต่อกันแบบซิกแซก และไม่ต้องเขียนอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนเนื่องจาก ปลายเส้นตรงและที่แต่ละมุมของโซ่หมายถึง อะตอมของคาร์บอนที่ต่ออยู่กับไฮโดรเจนในจำนวนที่ทำให้อะตอมคาร์บอนมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8



สูตรแบบโมเลกุล (condensed structure)



ภาพที่ 4.7 ลักษณะสูตรโครงสร้างสารอินทรีย์

ตารางที่ 4.2 ประเภทสูตรโครงสร้างสารอินทรีย์

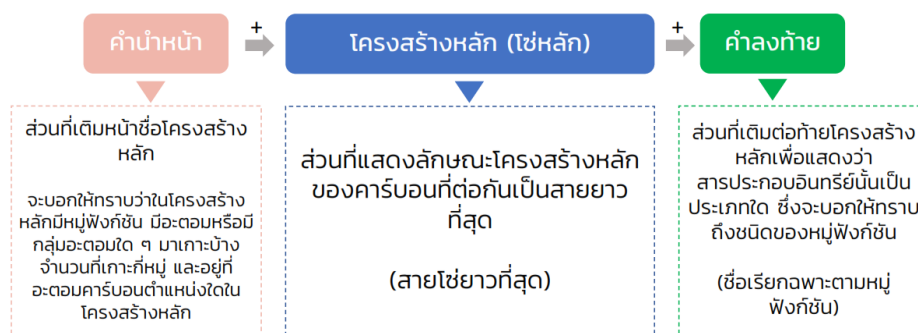
โครงสร้างลิวอิส	โครงสร้างแบบย่อบางส่วน	โครงสร้างแบบย่อ	โครงสร้างแบบเส้นและมุม
$\begin{array}{ccccccc} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ &   &   &   &   &   &   \\ \text{H} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ &   &   &   &   &   &   \\ & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$ <p>สูตรโมเลกุล <math>\text{C}_6\text{H}_{14}</math></p>	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$	
$\begin{array}{ccccccc} & & & & \text{H} & & \\ & & & &   & & \\ & & & & \text{H}-\text{C}-\text{H} & & \\ & & & &   & & \\ & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ &   &   &   &   &   &   \\ \text{H} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{H} \\ &   &   &   &   &   &   \\ & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$ <p>สูตรโมเลกุล <math>\text{C}_7\text{H}_{16}</math></p>	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}(\text{CH}_3)_2$	
$\begin{array}{ccccccc} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & & \text{H} & \\ &   &   &   & &   & \\ \text{H} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & =\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ &   &   &   & &   & \\ & \text{H} & \text{H} & \text{H} & & \text{H} & \\ & & & & &   & \\ & & & & & \text{H}-\text{C}-\text{H} & \\ & & & & &   & \\ & & & & & \text{H} & \end{array}$ <p>สูตรโมเลกุล <math>\text{C}_6\text{H}_{12}</math></p>	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{C}(\text{CH}_3)_2$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{C}(\text{CH}_3)_2$	
$\begin{array}{ccccccc} & \text{H} & & & \text{H} & \text{O} & \\ &   & & &   &    & \\ \text{H} & -\text{C} & -\text{C} & \equiv & \text{C} & -\text{C} & -\text{OH} \\ &   & & &   & & \\ & \text{H} & & & \text{H} & & \end{array}$ <p>สูตรโมเลกุล <math>\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2</math></p>	$\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	$\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_2\text{COOH}$	
$\begin{array}{ccccccc} & \text{H} & \text{H} & & & & \\ &   &   & & & & \\ \text{H} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{N} & -\text{H} \\ &   &   & & & & \\ & \text{H} & \text{H} & & & & \end{array}$ <p>สูตรโมเลกุล <math>\text{C}_2\text{H}_7\text{N}</math></p>	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{NH}_2$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$	
$\begin{array}{ccccccc} & \text{H} & \text{O} & & \text{H} & \text{H} & \\ &   &    & &   &   & \\ \text{H} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{O} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{H} \\ &   & & &   &   & \\ & \text{H} & & & \text{H} & \text{H} & \end{array}$ <p>สูตรโมเลกุล <math>\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2</math></p>	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	$\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$	
$\begin{array}{ccccccc} & \text{H} & \text{H} & & \text{H} & & \\ &   &   & &   & & \\ \text{H} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{H} \\ &   &   & &   & & \\ & \text{H} & \text{H} & & \text{H} & & \end{array}$ <p>สูตรโมเลกุล <math>\text{C}_6\text{H}_{12}</math></p>	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} \\   \\ \text{H}_2\text{C} \end{array}$		

### 3) หลักการเรียกชื่อสารอินทรีย์

เนื่องจากสารอินทรีย์จำนวนมากมาย จึงมีการนิยมเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ออกเป็น 2 ระบบ คือ ชื่อสามัญ (Common name) และ ระบบ IUPAC (International Union of Pure and Applied chemistry) ดังนี้

- ชื่อสามัญเป็นการเรียกชื่อสารอินทรีย์ในสมัยแรก ๆ ไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอน ใช้เรียกชื่อสารอินทรีย์ที่โมเลกุลมีขนาดเล็ก ๆ และโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบง่าย ๆ อาจจะใช้ชื่อตามสิ่งที่พบหรือตามสถานที่ที่พบ หรือตามที่มีส่วนสัมพันธ์กับสมบัติของสารนั้น ๆ แต่บางกรณีการตั้งชื่อสารอาจไม่สัมพันธ์กับสิ่งใด ๆ เลยก็ตาม และเนื่องจากมีสารที่พบไม่มากนักจึงเรียกชื่อตามที่คิดว่าน่าจะเหมาะสม เช่น  $\text{HCOOH}$  เรียกว่า กรดฟอร์มิก (กรดตม)

- ระบบ IUPAC เป็นการเรียกชื่อตามระบบสากล มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอน จึงทำให้เรียกชื่อสารอินทรีย์ได้ทุกชนิด ทั้งที่เป็นโมเลกุลเล็กหรือใหญ่ หรือที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบง่าย และที่ซับซ้อน ซึ่งระบบนี้จะทำให้เราทราบชนิดและลักษณะโครงสร้างของสาร เพราะหลักเกณฑ์ในการเรียกชื่อสารมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างสาร



ภาพที่ 4.8 แนวทางการเรียกชื่อสารอินทรีย์ระบบ IUPAC

หลักเกณฑ์การเรียกชื่อระบบ IUPAC จะเรียกตามจำนวนอะตอมโดยใช้จำนวนนับในภาษากรีก ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 โครงสร้างหลัก ส่วนที่ 2 คำลงท้าย ส่วน 3 คำนำหน้า

(1) **โครงสร้างหลัก** เป็นส่วนที่แสดงลักษณะโครงสร้างหลักของคาร์บอนที่ต่อกันเป็นสายยาวที่สุด การเรียกชื่อโครงสร้างหลักจะเรียกตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนที่ต่อกันเป็นสายยาวที่สุด โดยกำหนดการเรียกชื่อดังนี้



ภาพที่ 4.9 แนวทางการเรียกโครงสร้างหลัก

ตารางที่ 4.3 โครงสร้างหลักอะตอมคาร์บอนที่ต่อกันเป็นสายยาวที่สุด

อะตอมคาร์บอน (ที่ต่อกันเป็นสายยาวที่สุด)	ชื่อภาษาไทย	ชื่ออังกฤษ
1	มี-ท	meth-
2	อี-ท หรือ เอ-ท	eth-
3	โพร-พ	prop-
4	บิว-ท	but-
5	เพน-ท	pent-
6	เฮก-ซ	hex-
7	เฮป-ท	hept-
8	ออก-ท	oct-
9	โน-น	non-
10	เดก-ค	dec-

(2) **คำลงท้าย** เป็นส่วนที่เติมท้ายชื่อของโครงสร้างหลักเพื่อแสดงว่าสารประกอบอินทรีย์นั้นเป็นสารประกอบประเภทใด คำลงท้ายจะบอกให้ทราบถึงชนิดของหมู่ฟังก์ชัน ดังนี้

- สารประกอบแอลเคนลงท้ายด้วยเสียง เอน (-ane)
- สารประกอบแอลคีนลงท้ายด้วยเสียง อีน (-ene)
- สารประกอบแอลไคน์ลงท้ายด้วยเสียง โอน (-ene)
- สารประกอบแอลกอฮอล์ลงท้ายด้วยเสียง ออล (-ol)
- สารประกอบแอลดีไฮด์ ลงท้ายด้วยเสียง แอล (-al)
- สารประกอบคีโตน ลงท้ายด้วยเสียง โอน (-one)
- สารประกอบกรดคาร์บอกซิลิก ลงท้ายด้วยเสียง โออิก แอซิด (-oic acid)
- สารประกอบเอมีน ลงท้ายด้วยเสียง เอมีน (-amine)
- สารประกอบอีเทอร์ ลงท้ายด้วยเสียง อีเทอร์ (-ether)

(3) **คำนำหน้า** เป็นส่วนที่เติมหน้าชื่อของโครงสร้างหลัก จะบอกให้ทราบว่าในโครงสร้างหลักมีหมู่ฟังก์ชัน มีอะตอมหรือมีกลุ่มอะตอมใด ๆ มาเกาะบ้าง จำนวนที่เกาะก็หมู่ และอยู่ที่อะตอมคาร์บอนตำแหน่งใดในโครงสร้างหลัก หลักเบื้องต้นพอสรุปได้ดังนี้

(3.1) ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน อะตอมหรือกลุ่มอะตอม หรือหมู่แทนที่ ที่เกาะในโครงสร้างหลัก ให้ใช้ตัวเลขน้อยที่สุดของคาร์บอนในโครงสร้างหลัก โดยกำหนดเป็นเลขอารบิก (1, 2, 3,...)

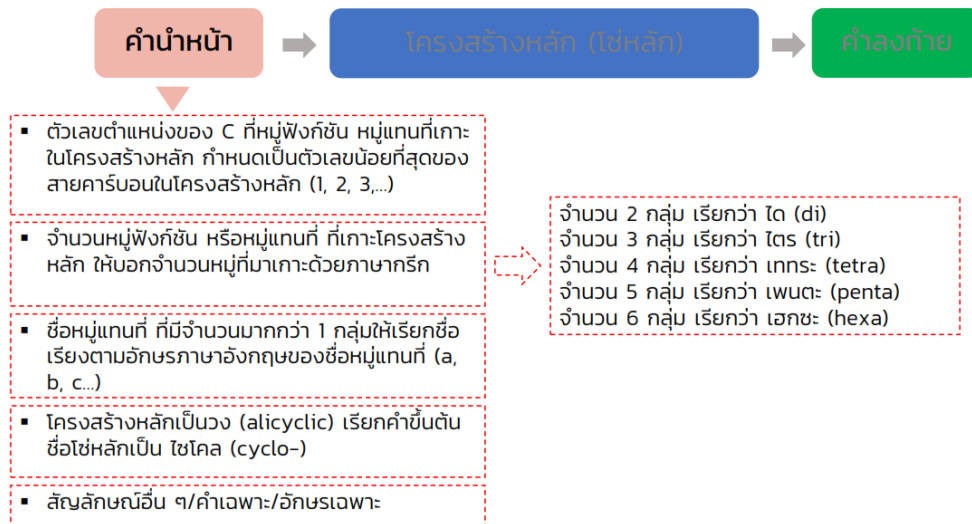
(3.2) จำนวนหมู่ฟังก์ชัน อะตอมหรือกลุ่มอะตอม หรือหมู่แทนที่ ที่เกาะโครงสร้างหลัก ให้บอกจำนวนที่มาเกาะด้วยภาษากรีก ดังนี้

- จำนวน 2 กลุ่ม เรียกว่า ได (di)
- จำนวน 3 กลุ่ม เรียกว่า ไตร (tri)
- จำนวน 4 กลุ่ม เรียกว่า เทตระ (tetra)
- จำนวน 5 กลุ่ม เรียกว่า เพนตะ (penta)

จำนวน 6 กลุ่ม เรียกว่า เฮกซะ (hexa)

จำนวน 7 กลุ่ม เรียกว่า เฮปตะ (hepta)

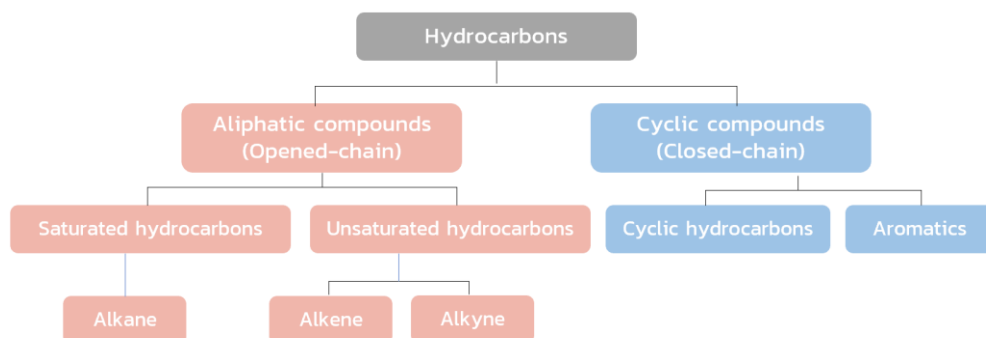
(3.3) ชื่อหมู่แทนที่ ถ้ามีหมู่แทนที่มากกว่า 1 หมู่ ให้เรียกชื่อเรียงตามอักษรภาษาอังกฤษของชื่อหมู่แทนที่



ภาพที่ 4.10 แนวทางการเรียกคำนำหน้า

#### 4.1.2 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) เป็นสารประกอบซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเท่านั้น สำหรับไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะเดี่ยวเรียกว่าไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (saturated hydrocarbon) ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในโมเลกุลมีพันธะคู่หรือพันธะสามเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวเรียกว่าเป็นพวกแอลเคน (alkane) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่เรียกว่า พวกแอลคีน (alkene) ส่วนพวกที่ไม่อิ่มตัวที่มีพันธะสามเรียกว่า พวกแอลไคน์ (alkyne) สารประกอบที่มีวงแหวนเบนซีน (benzene ring) จัดเป็นพวกแอโรแมติก ส่วนพวกแอลเคน แอลคีนและแอลไคน์ จัดเป็นสารประกอบแอลิฟาติก ซึ่งจำแนกได้ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 การจำแนกไฮโดรคาร์บอน

### 1) แอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน

1.1) สารประกอบแอลเคน สารประเภทนี้ในโมเลกุลมีพันธะเดี่ยว จัดเป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว มีสูตรทั่วไปคือ  $C_nH_{2n+2}$  (เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนอะตอมคาร์บอน) และจัดเป็นพวกที่ไม่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา การเรียกชื่อสารประกอบแอลเคนตามหลักเกณฑ์ของ IUPAC ลงท้ายด้วยเสียงเอน (-ane) ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ชื่อเรียกสารประกอบแอลเคนที่เป็นโซ่ตรง

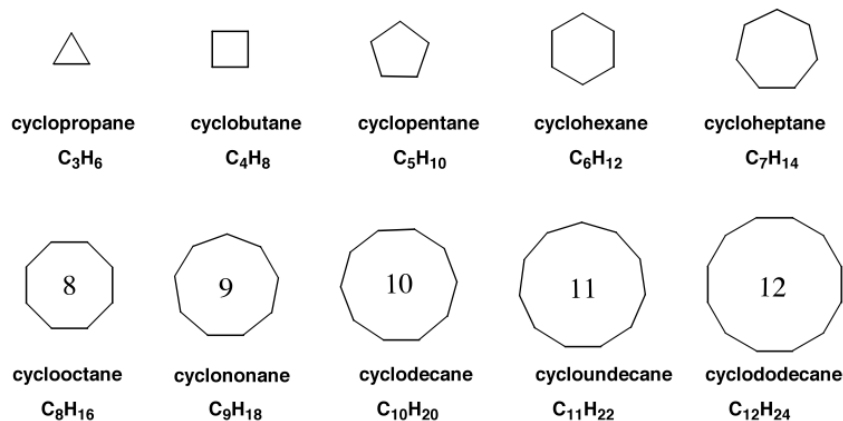
จำนวนคาร์บอน	สูตร ( $C_nH_{2n+2}$ )	ชื่อเรียก (ภาษาไทย)	ชื่อเรียก (ภาษาอังกฤษ)
1	$CH_4$	มีเทน	methane
2	$C_2H_6$	อีเทน	ethane
3	$C_3H_8$	โพรเพน	propane
4	$C_4H_{10}$	บิวเทน	butane
5	$C_5H_{12}$	เพนเทน	pentane
6	$C_6H_{14}$	เฮกเซน	hexane
7	$C_7H_{16}$	เฮปเทน	heptane
8	$C_8H_{18}$	ออกเทน	octane
9	$C_9H_{20}$	โนเนน	nonane
10	$C_{10}H_{22}$	เดเคน	decane

แอลเคนหรือพาราฟินไฮโดรคาร์บอน เป็นสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันดิบ (crude oil) ปิโตรเลียมเป็นของผสมของสารประกอบคาร์บอนที่มีทั้งสถานะแก๊ส ของเหลวและของแข็ง ปิโตรเลียมเกิดจากพืชและสัตว์ที่ตายและถูกฝังอยู่ภายใต้ความร้อนและความดันในเปลือกโลกหลายร้อยล้านปี รวมทั้งการกระทำของแบคทีเรีย ทำให้กลายรูปเป็นน้ำมัน ปิโตรเลียมประกอบด้วยสารเคมีต่าง ๆ มากมาย แต่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นไฮโดรคาร์บอน มีทั้งไฮโดรคาร์บอนที่เป็นโซ่ตรงและโซ่กิ่ง ไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสุดจะเป็นแก๊สซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนปรุงอาหาร และในอุตสาหกรรม เช่น แก๊สธรรมชาติ (natural gas) ส่วนแก๊สหุงต้มที่บรรจุในถังเหล็กนั้น เป็นของผสมซึ่งส่วนใหญ่เป็นแก๊สโพรเพนและบิวเทน ไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงคือมีคาร์บอนอะตอม 5 อะตอมขึ้นไป จะเป็นของเหลวและของแข็งตามลำดับที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 4.5 พาราฟินไฮโดรคาร์บอนที่พบในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (C<sub>1</sub>-C<sub>12</sub>)

สูตรโครงสร้าง	ชื่อ IUPAC	จุดเดือด	ผลิตภัณฑ์
CH <sub>4</sub>	methane	-161	แก๊สธรรมชาติ (natural gas)
CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	ethane	-89	
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	propane	-44	
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	butane	-0.5	ปิโตรเลียม
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	pentane	36	
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH <sub>3</sub>	hexane	68	
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	heptane	98	น้ำมันเบนซิน (gas soline)
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> CH <sub>3</sub>	octane	125	
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH <sub>3</sub>	nonane	151	น้ำมันก๊าด/น้ำมันดีเซล
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>3</sub>	decane	174	
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> CH <sub>3</sub>	dodecane	261	

ไซโคลแอลเคน (cycloalkane) คือแอลเคนที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวง ซึ่งมีสูตรทั่วไปเป็น C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> การเรียกชื่อไซโคลแอลเคนให้เรียกตามจำนวนอะตอมคาร์บอนที่ต่อกันเป็นวง ขึ้นต้นด้วย ไซโคล (cyclo)



ภาพที่ 4.12 ไซโคลแอลเคน

1.2) สารประกอบแอลคีน สารอินทรีย์ประเภทนี้โมเลกุลมีพันธะคู่ จัดเป็นไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว มีสูตรทั่วไป คือ C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> ในการเรียกชื่อ ตัวอย่างดังตาราง 4.5

- สารประกอบแอลคีนจะลงท้ายด้วยเสียงอื่น (-ene)
- ระบุเลขออร์บิกบ่งชี้ตำแหน่งพันธะคู่ไว้ข้างหน้าชื่อโครงสร้างหลัก (นับตำแหน่งอะตอมที่มีพันธะคู่ให้เป็นตำแหน่งน้อยที่สุด)
- กรณีที่มีพันธะคู่มากกว่าหนึ่งแห่งให้ใส่ตัวเลขตำแหน่งของที่อยู่ของพันธะคู่และใช้คำว่า di, tri, tetra อยู่หน้าคำลงท้าย -ene เช่น

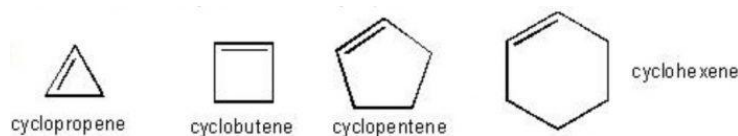
- มีพันธะคู่ 2 แห่งในสูตรโครงสร้าง คำลงท้ายเป็น ไดอีน (diene)

- มีพันธะคู่ 3 แห่งในสูตรโครงสร้าง คำลงท้ายเป็น ไตรอีน (triene)

ตารางที่ 4.6 ชื่อเรียกสารประกอบแอลคีนที่เป็นโซ่ตรง

จำนวนคาร์บอน	สูตร (C <sub>n</sub> H <sub>2n</sub> )	สูตรโครงสร้าง	ชื่อเรียก (ภาษาไทย)	ชื่อเรียก (ภาษาอังกฤษ)
2	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> C=CH <sub>2</sub>	อีทีน	ethene
3	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	H <sub>2</sub> C=CHCH <sub>3</sub>	1-โพรพีน	1-propene (prop-1-ene)
4	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	H <sub>2</sub> C=CHCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	1-บิวทีน	1-butene (but-1-ene)
4	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	H <sub>3</sub> CCH=CHCH <sub>3</sub>	2-บิวทีน	2-butene
5	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	H <sub>3</sub> CCH=CHCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	2-เพนทีน	2-pentene
5	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	H <sub>2</sub> C=CHCH <sub>2</sub> CH=CH <sub>2</sub>	1,4-เพนตะไดอิน	1,4-pentadiene

ไซโคลแอลคีน (cycloalkene) คือแอลคีนที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวง การเรียกชื่อให้เรียกตามจำนวนอะตอมคาร์บอนที่ต่อกันเป็นวง เรียกคำขึ้นต้นด้วย ไซโคล



ภาพที่ 4.13 ไซโคลแอลคีน

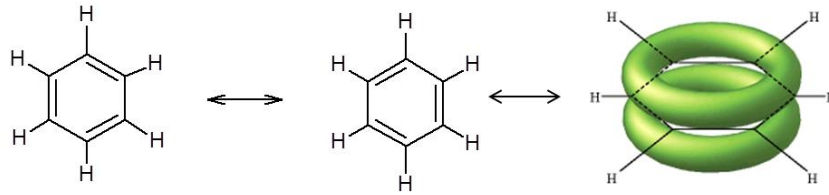
1.3) สารประกอบแอลไคน์ สารอินทรีย์ประเภทนี้เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวที่มีพันธะสาม เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว มีสูตรทั่วไปคือ C<sub>n</sub>H<sub>2n-2</sub> การเรียกชื่อสารประกอบแอลไคน์ใช้หลักการเรียกชื่อเหมือนกับแอลคีน แต่ใช้คำลงท้ายด้วยเสียงไอน์ (-yne)

ตารางที่ 4.7 ชื่อเรียกสารประกอบแอลไคน์ที่เป็นโซ่ตรง

จำนวนคาร์บอน	สูตร (C <sub>n</sub> H <sub>2n-2</sub> )	สูตรโครงสร้าง	ชื่อเรียก (ภาษาไทย)	ชื่อเรียก (ภาษาอังกฤษ)
2	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	HC≡CH	อีไทน	ethyne
3	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	HC≡CCH <sub>3</sub>	1-โพรไพน์	1-propyne
4	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	HC≡CCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	1-บิวไทน์	1-butyne
4	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	H <sub>3</sub> CC≡CCH <sub>3</sub>	2-บิวไทน์	2-butyne
5	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	H <sub>3</sub> CC≡CCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	2-เพนไทน์	2-pentyne
5	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	HC≡CCH <sub>2</sub> C≡CH	1,4-เพนตะไดไทน	1,4-pentadiyne

## 2) สารประกอบแอโรแมติก

สารประกอบแอโรแมติก คือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวง มีจำนวน อิเล็กตรอนเป็น 4n+2 (เมื่อ n = 1, 2, 3) และอิเล็กตรอนเหล่านี้ไม่อยู่ประจำที่ (delocalized electron) สารที่รู้จักกันดีได้แก่ เบนซีน (benzene, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) ซึ่งคาร์บอนทั้งหกอะตอมต่อกันเป็นหกเหลี่ยมและคาร์บอนทุก ๆ อะตอมอยู่ในระนาบเดียวกันและมีจำนวน 6 อิเล็กตรอน แต่อะตอมของคาร์บอนมีความยาวเท่ากัน คือ 139 พิโกเมตร ซึ่งเป็นค่าระหว่างความยาวพันธะของคาร์บอนที่เป็นพันธะเดี่ยว (154 พิโกเมตร) กับพันธะคู่ (134 พิโกเมตร) และมีมุมระหว่างพันธะเท่ากันทุกมุม



ภาพที่ 4.14 โครงสร้างเบนซีน

### 3) สมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

- สารประกอบแอลเคนชนิดโซ่ตรงที่มี  $C_1-C_4$  มีสถานะเป็นแก๊ส ส่วน  $C_5-C_{17}$  เป็นของเหลว และ  $C_{18}$  ขึ้นไปจะมีสถานะเป็นของแข็ง
- สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้ว จึงไม่ละลายน้ำและไม่นำไฟฟ้า มีจุดเดือดจุดหลอมเหลวต่ำ แต่จะเพิ่มขึ้นตามมวล
- การเผาไหม้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ถ้าเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ พร้อมทั้งคายพลังงานออกมา แต่ถ้าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะเกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และน้ำ พร้อมทั้งคายพลังงานออกมา
- ใช้ทำเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ หรือเครื่องจักรต่าง ๆ เช่น น้ำมันดีเซล น้ำมันแก๊สโซลีน น้ำมันเตา น้ำมันก๊าด เป็นต้น
- ใช้ทำเชื้อเพลิงในการหุงต้มอาหาร หรือให้แสงสว่างในครัวเรือน
- ใช้ในการผลิตยารักษาโรคชนิดต่าง ๆ
- ใช้ทำวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชนิดต่าง ๆ
- ใช้ในการผลิตสารเคมีต่าง ๆ เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเคมีต่าง ๆ

### สรุปท้ายบทเรียน

เคมีอินทรีย์เป็นการศึกษาทางเคมีของสารประกอบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ สารประกอบอินทรีย์เกิดจากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ขึ้น การจำแนกประเภทสารประกอบอินทรีย์นั้นสามารถแบ่งตามหมู่ฟังก์ชันของสาร ซึ่งหมู่ฟังก์ชันจะเป็นตัวบอกสมบัติเฉพาะในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ สมบัติการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบอินทรีย์จะเป็นไปตามหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของสารเหล่านั้น สารไฮโดรคาร์บอนใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม เช่น ทำเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ เครื่องจักร ทำเชื้อเพลิงในการหุงต้มอาหาร ใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำวัตถุดิบในการผลิตพลาสติก สารเคมี การเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ออกเป็น 2 ระบบ คือ ชื่อสามัญ และระบบ IUPAC โดยชื่อสามัญเป็นการเรียกชื่อสารอินทรีย์ในสมัยแรก ๆ ไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอน ใช้เรียกชื่อสารอินทรีย์ที่โมเลกุลมีขนาดเล็ก ๆ และโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบง่าย ๆ อาจจะเรียกชื่อตามสิ่งที่พบหรือตามสถานที่ที่พบ ระบบ IUPAC เป็นการเรียกชื่อตามระบบสากล มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอน จึงทำให้เรียกชื่อสารอินทรีย์ได้ทุกชนิด ทั้งที่เป็นโมเลกุลเล็กหรือใหญ่ หรือที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบง่าย และที่ซับซ้อน หลักเกณฑ์การเรียกชื่อระบบ IUPAC จะเรียกตามจำนวนอะตอมโดยใช้จำนวนนับในภาษากรีก ซึ่งประกอบด้วย ส่วนโครงสร้างหลัก ส่วนคาลงท้าย และส่วนคำนำหน้า

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเท่านั้นเป็นองค์ประกอบ สารประกอบแอลิฟาติกจำแนกตามโครงสร้างที่เป็นโซ่เปิด สำหรับไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะเดี่ยวเรียกว่าไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว คือแอลเคน ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในโมเลกุลมีพันธะคู่หรือพันธะสามเป็นไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว คือแอลคีนและแอลไคน์ สารประกอบที่มีวงแหวนเบนซีนจัดเป็นพวกแอโรแมติก

**วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน**

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

**กิจกรรมที่มอบหมาย**

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 4.1
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

**การวัดผล**

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

**แบบฝึกหัด**

1. แบบฝึกหัด 4.1

### เอกสารอ้างอิง

- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online ed.).  
<https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

# หน่วยที่ 4

## สารอินทรีย์และหมู่ฟังก์ชัน

### บทเรียนที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชัน

#### จุดประสงค์

1. บอกหมู่ฟังก์ชัน
2. บอกชื่อสารอินทรีย์

#### 4.2.1 หมู่ฟังก์ชัน

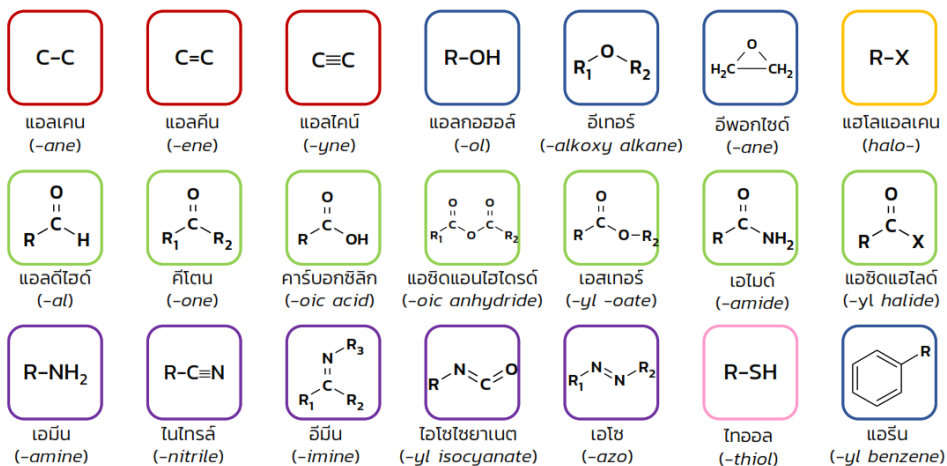
##### 1) หมู่ฟังก์ชัน

หมู่ฟังก์ชัน (functional groups) เป็นส่วนโครงสร้างองค์ประกอบเฉพาะตัว หมู่ฟังก์ชันเป็นตัวกำหนดการทำปฏิกิริยาและสมบัติทางเคมีอื่น ๆ ของโมเลกุล ซึ่งหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์จะเป็นตัวบอกสมบัติเฉพาะในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ สมบัติการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบอินทรีย์จะเป็นไปตามหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์เหล่านั้น นอกจากนี้ หมู่ฟังก์ชันยังเป็นการจำแนกชนิดของสารประกอบอินทรีย์ตามคุณสมบัติ เช่น สารประกอบแอลกอฮอล์จะมีหมู่ฟังก์ชัน -OH เป็นต้น

หมู่ฟังก์ชัน : อะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่มีอยู่ในโมเลกุลสารอินทรีย์ที่แสดงสมบัติทางเคมีของโมเลกุลและทำให้โมเลกุลนั้นมีสมบัติทางเคมีเฉพาะตัว



■ ไฮโดรคาร์บอน 
 ■ สารอินทรีย์ที่มีออกซิเจน 
 ■ แอลไจเนน 
 ■ สารประกอบคาร์บอนิล/คาร์บอกซิล 
 ■ สารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจน 
 ■ สารที่มีฮัลเฟอริ์ 
 ■ แอลไจเนน



R, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> = หมู่แอลคิล, X = หมู่แฮโลเจน, คำใน ( ) เป็นชื่อคำลงท้ายใน IUPAC

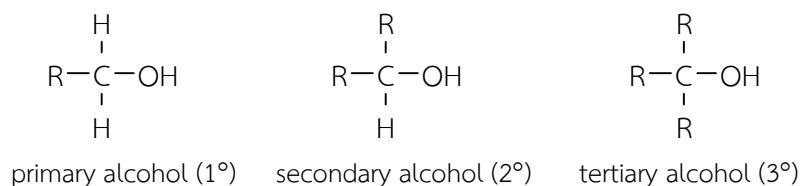
ภาพที่ 4.15 หมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์. โดยผู้แต่ง, 2566

ตารางที่ 4.8 หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์

หมู่ฟังก์ชัน	โครงสร้าง	ชื่อคำลงท้าย	ตัวอย่าง	IUPAC (common name)
แอลเคน (alkane)	C-C	-ane	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	propane
แอลคีน (alkene)	C=C	-ene	H <sub>2</sub> C=CHCH <sub>3</sub>	1-propene
แอลไคน์ (alkyne)	C≡C	-yne	HC≡CCH <sub>3</sub>	1-propyne
แอลกอฮอล์ (alcohol)	R-OH	-ol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -OH	ethanol (ethyl alcohol)
อีเทอร์ (ether)	R-O-R'	-oxy	H <sub>3</sub> C-O-CH <sub>3</sub>	methoxy (dimethylether)
แอลดีไฮด์ (aldehyde)		-al		ethanal (acetaldehyde)
คีโตน (ketone)		-one		2-propanone (acetone)
คาร์บอกซิลิก (carboxylic)		-oic acid		methanoic acid (formic acid)
เอสเทอร์ (ester)		-oate		ethylacetate
เอไมด์ (amide)		-amide		ethanamide (acetamide)
เอมีน (amine)	R-NH <sub>2</sub>	-amine	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -NH <sub>2</sub>	ethanamine

### แอลกอฮอล์

สารประกอบแอลกอฮอล์ เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) เป็นหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว มีสูตรทั่วไป คือ R-OH ซึ่ง R คือหมู่แอลคิล แอลกอฮอล์ จำแนกเป็น 3 ประเภท ขึ้นกับจำนวนหมู่แอลคิลที่จับกับหมู่ C-OH ดังนี้



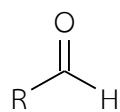
แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ R เพียง 1 หมู่ จับกับ R-CH<sub>2</sub>-OH เรียกว่า primary alcohol หรือแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ และเมื่อมี R จำนวน 2 หมู่ จับกับ R<sub>2</sub>-CH-OH เรียกว่า secondary alcohol

หรือแอลกอฮอล์ทุติยภูมิ และถ้ามี R จำนวน 3 หมู่ จับกับ R<sub>3</sub>-C-OH เรียกว่า tertiary alcohol หรือแอลกอฮอล์ตติยภูมิ

หลักการเรียกชื่อแอลกอฮอล์ตามระบบ IUPAC ให้เรียกตามจำนวนคาร์บอนของไฮโดรคาร์บอน และใช้หลักเกณฑ์ทั่วไปเช่นเดียวกับการเรียกแอลเคน โดยตัด e ออกแล้วเติม ol

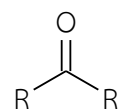
### แอลดีไฮด์และคีโตน

แอลดีไฮด์ (aldehyde) และคีโตน (ketone) มีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวที่เหมือนกันคือ C=O เรียกว่า หมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) ซึ่งแอลดีไฮด์มีหมู่คาร์บอนิลจับกับไฮโดรเจนหนึ่งอะตอม ยกเว้น พอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งมีหมู่คาร์บอนิลจับกับไฮโดรเจน 2 อะตอม สูตรทั่วไปดังนี้



แอลดีไฮด์

เมื่อ R = H หรือ หมู่แอลคิล หรือ แอร์ิล



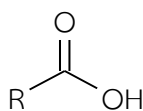
คีโตน

เมื่อ R = หมู่แอลคิล หรือ แอร์ิล

หลักการเรียกชื่อแอลดีไฮด์และคีโตนตามระบบ IUPAC ให้เรียกตามจำนวนคาร์บอนของไฮโดรคาร์บอน และใช้หลักเกณฑ์ทั่วไปเช่นเดียวกับการเรียกแอลเคน โดยตัด e ออกแล้วเติม al สำหรับแอลดีไฮด์ และเติม one สำหรับคีโตน

### กรดคาร์บอกซิลิก

กรดคาร์บอกซิลิก มีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวคือ -COOH เรียกว่า หมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) มีสูตรทั่วไป

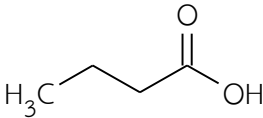
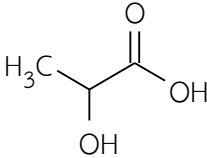
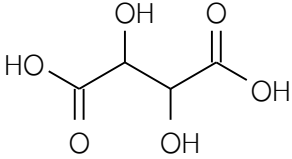
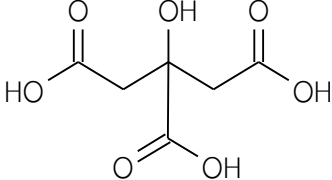


เมื่อ R = H หรือ หมู่แอลคิล หรือ หมู่แอร์ิล

กรดอินทรีย์ทั่วไปจึงเป็นกรดแก่พอสมควร เช่น กรดแอสติก แต่ยังเป็นกรดที่อ่อนมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรดอนินทรีย์ การเรียกชื่อกรดอินทรีย์ตามระบบ IUPAC ให้เรียกตามจำนวนคาร์บอนของไฮโดรคาร์บอน และใช้หลักเกณฑ์เดียวกับการเรียกสารอินทรีย์อื่น ๆ โดยตัด e ออกแล้วเติม -oic acid

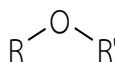
กรดคาร์บอกซิลิก ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ได้สารประกอบเอสเทอร์ (ester) หรือทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียได้สารเอไมด์ (amide) กรดคาร์บอกซิลิกที่เป็นแอลิฟาติกจำนวนมาก สกัดมาจากแหล่งธรรมชาติ ตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 กรดคาร์บอกซิลิกที่พบในธรรมชาติ

ชื่อสามัญ	สูตรโมเลกุล	แหล่งที่พบ
กรดฟอร์มิก (formic acid)	HCOOH	มด ผึ้ง แมลง
กรดแอซติก (acetic acid)	CH <sub>3</sub> COOH	น้ำผลไม้
กรดบิวทิลริก (butyric acid)		ไขมันเนย
กรดแลคติก (lactic acid)		นมบูด
กรดทาร์ทาริก (tartaric acid)		น้ำผลไม้
กรดซิตริก (citric acid)		น้ำผลไม้ประเภทส้มและมะนาว

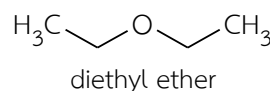
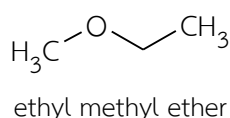
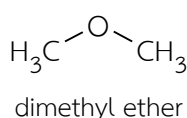
## อีเทอร์

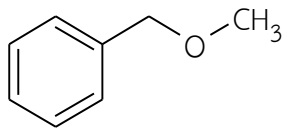
อีเทอร์ (ether) เป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น R-O-R'



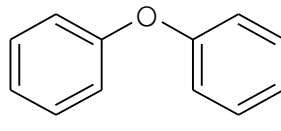
เมื่อ R และ R' เป็นหมู่แทนที่แอลคิลหรือหมู่เอริล หมู่แทนที่ทั้งสองนี้อาจเหมือนกันหรือต่างกันก็ได้ แต่ถ้าเหมือนกันเรียกว่า อีเทอร์อย่างง่ายหรืออีเทอร์สมมาตร (symmetrical ethers) ถ้าแตกต่างกันเรียกว่าอีเทอร์ผสมหรืออีเทอร์ไม่สมมาตร (unsymmetrical ethers)

อีเทอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือแอลิฟาติกและแอโรแมติกอีเทอร์ โดยในส่วนของแอลิฟาติกอีเทอร์นั้นหมู่ R และ R' เป็นหมู่แอลคิล ในขณะที่แอโรแมติกอีเทอร์ จะมีหมู่ R หรือ R' หนึ่งหมู่หรือทั้งสองหมู่เป็นหมู่เอริล อีเทอร์ที่มีหมู่หนึ่งเป็นแอลคิลและอีกหมู่หนึ่งเป็น เอริลเรียกว่า เอริลแอลคิลอีเทอร์หรือฟีนอลิกอีเทอร์ (aryl alkyl ether หรือ phenolic ether) แต่ถ้าทั้งสองหมู่เป็นเอริล เรียกว่า ไดเอริลอีเทอร์ (diaryl ether)

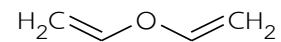




benzyl methyl ether



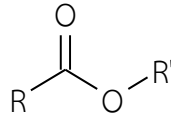
diphenyl ether



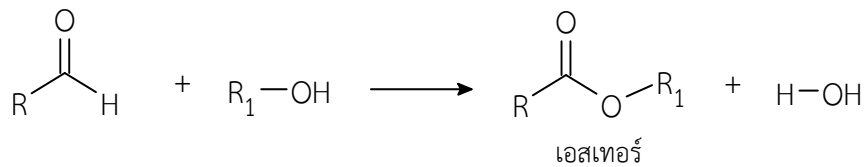
divinyl ether

### เอสเทอร์

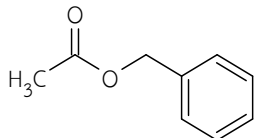
เอสเทอร์ (ester) เป็นอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิก เอสเทอร์มีสูตรทั่วไป



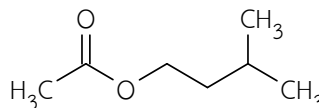
เอสเทอร์เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอล์ เรียกปฏิกิริยานี้ว่า เอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification)



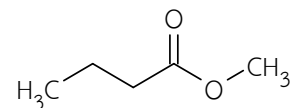
เอสเทอร์ส่วนใหญ่มีกลิ่นหอมแบบผลไม้ เช่น เอมีลแอซิเตต (amyl acetate) มีกลิ่นหอมแบบกล้วย ออกทิลแอซิเตต (octyl acetate) หอมแบบส้ม เอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ จึงใช้เสริมกลิ่นและรสของอาหาร และใช้ทำน้ำหอม เอสเทอร์ที่สำคัญมีกลิ่นเฉพาะตัวมีดังนี้ methyl butyrate ให้กลิ่นแอปเปิล ethylbutyrate ให้กลิ่นสับปะรด และ octyl acetate ให้กลิ่นส้ม เป็นต้น



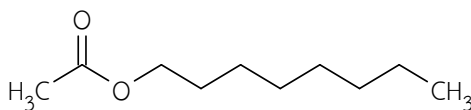
benzyl acetate (jasmine)



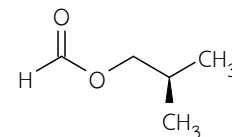
isopentyl acetate (banana)



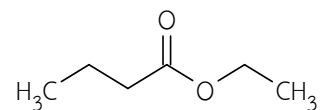
methyl butyrate (apple)



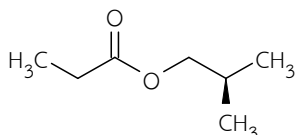
octyl acetate (orange)



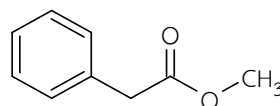
isobutyl formate (raspberry)



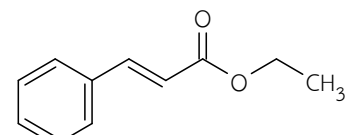
ethyl butyrate (pineapple)



isobutyl propionate (rum)



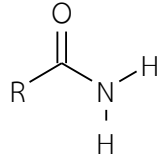
methylphenyl acetate (honey)



ethyl cinnamate (cinnamon)

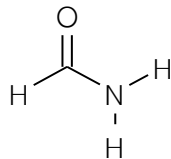
## เอไมด์

เอไมด์ (amides) คือสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุ C, H, O และ N เกิดจากหมู่แอมิโน (-NH<sub>2</sub>) เข้าไปแทนที่หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ในกรดคาร์บอกซิลิก



สูตรทั่วไปของเอไมด์

ตัวอย่างสารประกอบเอไมด์

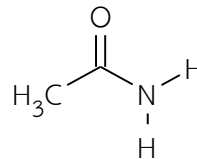


ชื่อสามัญ

formamide

ชื่อ IUPAC

methanamide



acetamide

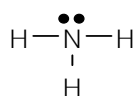
ethanamide

เอไมด์เป็นโมเลกุลมีขั้ว โดยขั้วของโมเลกุลอยู่ที่ CONH<sub>2</sub> ทั้งนี้ออกซิเจนซึ่งเป็นธาตุที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง จะแสดงสภาพไฟฟ้าลบ ส่วนไฮโดรเจนจะแสดงสภาพขั้วไฟฟ้าบวก เนื่องจากเป็นโมเลกุลมีขั้ว จึงละลายน้ำได้ เช่นเดียวกับเอมีน แต่การละลายจะลดลงเมื่อจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้น เพราะส่วนที่ไม่มีขั้วจะเพิ่มขึ้น สารละลายของเอไมด์ ไม่แสดงสมบัติเป็นเบส เพราะเมื่อละลายน้ำจะไม่ให้ OH<sup>-</sup>

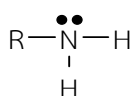
## เอมีน

เอมีน (amines) เป็นสารอินทรีย์ซึ่งมี -NH<sub>2</sub> เป็นหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวจึงจัดเอมีนเป็นอนุพันธ์ของแอมโมเนีย โดยแทนที่ H ของ NH<sub>3</sub> ด้วยหมู่ R หรือ Ar

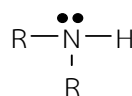
- ถ้ามีหมู่แทนที่แทนที่ไฮโดรเจน 1 อะตอม จะได้เป็น primary amine (1° amine)
- ถ้ามีหมู่แทนที่แทนที่ไฮโดรเจน 2 อะตอม จะได้เป็น secondary amine (2° amine)
- ถ้ามีหมู่แทนที่ (R, Ar) แทนที่ไฮโดรเจนทั้ง 3 อะตอม จะได้ tertiary amine (3° amine)



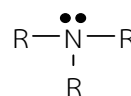
ammonia



1° amine



2° amine



3° amine

ภาพที่ 4.16 เอมีน

เอมีนมีสมบัติเป็นเบสเช่นเดียวกับแอมโมเนีย เพราะไนโตรเจนมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่ เอมีนส่วนใหญ่มีกลิ่นเหม็นและเป็นพิษ เอมีนเป็นโมเลกุลโคเวเลนต์มีขั้ว ส่วนที่มีขั้วคือ -NH<sub>2</sub> โดย N มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงกว่า จะมีสภาพขั้วไฟฟ้าลบ ส่วน H จะมีสภาพขั้วไฟฟ้าบวก เนื่องจากเป็น

โมเลกุลมีขั้ว จึงละลายในน้ำได้ สารละลายของเอมีนแสดงสมบัติเป็นเบส เมื่อทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส

เอมีนบางชนิดไม่ละลายน้ำ แต่แสดงสมบัติเป็นเบสได้ เพราะมีไนโตรเจนที่สามารถรับโปรตอนได้ เมื่อโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น การละลายน้ำจะลดลง เนื่องจากส่วนที่ไม่มีขั้วเพิ่มขึ้น สำหรับเอมีนที่มีโครงสร้างอย่างเดียวกัน เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้น หรือเมื่อจำนวนอะตอมของคาร์บอนเพิ่มขึ้น จุดเดือดและจุดหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้น

เอมีนชนิดที่เรียกว่าแอลคาลอยด์ (alkaloid) พบในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น เมล็ด ใบ ดอก เปลือกและราก ตัวอย่างเช่น มอร์ฟีน พบในดอกฝิ่น ใช้เป็นยาบรรเทาปวด โคเคน พบในใบโคคา ใช้เป็นยาทาผิวหนัง ควินินพบใบของต้นชินโคนา ใช้รักษาโรคมาลาเรีย

## 2) หมู่แทนที่

หมู่แทนที่ คือหมู่ที่มาเกาะในโครงสร้างหลัก โดยหมู่แทนที่อาจเป็นอะตอมหรือโมเลกุล พอสรุปได้ดังนี้

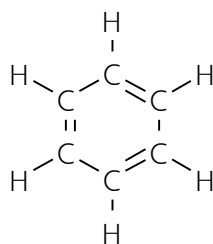
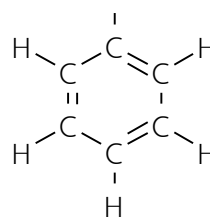
### 2.1) หมู่แอลคิล

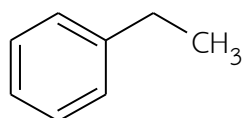
หมู่แอลคิล (alkyl group) คือหมู่แทนที่ที่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนน้อยกว่าสารประกอบแอลเคนอยู่หนึ่งอะตอม เขียนแทนด้วย R- ชื่อเรียกหมู่แอลคิลจะเรียกตามแอลเคน แต่เปลี่ยนเสียงลงท้ายเป็น อิล (-yl) หมู่แอลคิลที่เล็กที่สุดคือหมู่เมทิล ( $-\text{CH}_3$ ) ซึ่งได้มาจากมีเทน ( $\text{CH}_4$ )

$\text{CH}_3-$	ชื่อเรียก เมทิล (methyl)
$\text{CH}_2\text{CH}_2-$	ชื่อเรียก เอทิล (ethyl)
$\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$	ชื่อเรียก นอร์มัล-โพรพิล (n-propyl)
$\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$	ชื่อเรียก นอร์มัล-บิวทิล (n-butyl)
$\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-$	ชื่อเรียก ไอโซ-บิวทิล (iso-butyl)

### 2.2) หมู่แอลริล

กลุ่มแอลริล (aryl group) มักประกอบด้วยวงแหวนแอโรแมติก หมู่แอลริลเป็นสารประกอบแอโรแมติกธรรมดาที่อะตอมไฮโดรเจนหนึ่งอะตอมจะถูกปล่อยออกจากวงแหวน เพื่อให้สามารถยึดติดกับสายคาร์บอนได้ วงแหวนแอโรแมติกที่พบมากที่สุดคือเบนซีน หมู่เอริลทั้งหมดมาจากโครงสร้างเบนซีน (benzene,  $\text{C}_6\text{H}_6$ )

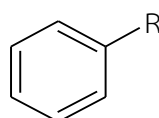
benzene ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )phenyl ( $\text{C}_6\text{H}_5-$ )



เบนซิล (benzyl)

$C_6H_5-$

$C_6H_5-CH_2-$



ฟินิล (phenyl)

ชื่อเรียก ฟินิล (phenyl)

ชื่อเรียก เบนซิล (benzyl)

### 2.3) หมู่แทนที่อื่น

-F	ชื่อเรียก ฟลูออโร (fluoro)
-Cl	ชื่อเรียก คลอโร (chloro)
-Br	ชื่อเรียก โบรโม (bromo)
-I	ชื่อเรียก ไอโอด (iodo)
-NO <sub>2</sub>	ชื่อเรียก ไนโตร (nitro)
-NH <sub>2</sub>	ชื่อเรียก แอมิโน (amino)
-OH	ชื่อเรียก ไฮดรอกซี (hydroxy)

## 4.2.2 ชื่อสารอินทรีย์

### 1) แอลเคนและไซโคลแอลเคน

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมด หลักการเรียกชื่อ ดังนี้

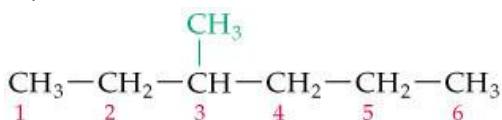
(1) หาโซ่ที่มีจำนวนคาร์บอนต่อกันยาวมากที่สุด แล้วเรียกโซ่หลักนี้เป็นชื่อ โครงสร้างหลัก (ตารางที่ 4.3) และคำลงท้ายเป็น -ane

(2) กำหนดลำดับอะตอมคาร์บอน โดยพิจารณาดำแหน่งที่มีไซกิง หรือหมู่แทนที่มาเกาะกับคาร์บอนในโซ่หลัก ให้กำหนดอะตอมคาร์บอนของโซ่หลักที่ใกล้หมู่แทนที่ให้เป็นเลขที่น้อยที่สุด

(3) หมู่แทนที่หนึ่งหมู่ ให้ระบุตำแหน่งคาร์บอนที่หมู่แทนที่เกาะ ตามด้วยเครื่องหมายขีด (-) ตามด้วยชื่อหมู่แทนที่และตามด้วยชื่อโครงสร้างหลัก โดยไม่ต้องเว้นวรรค

(4) หมู่แทนที่มากกว่า 1 หมู่ (ไม่เหมือนกัน) ให้ระบุตำแหน่งคาร์บอนที่หมู่แทนที่เกาะทุกหมู่ โดยเรียงชื่อหมู่แทนที่ตามอักษรภาษาอังกฤษ

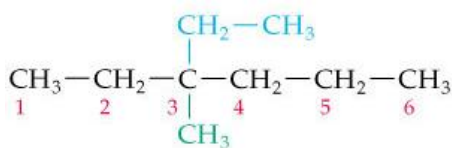
(5) หมู่แทนที่มากกว่า 1 หมู่ (เหมือนกัน) ให้ระบุตำแหน่งคาร์บอนที่หมู่แทนที่เกาะทุกหมู่ คั่นด้วยเครื่องหมายจุดภาค (.) โดยระบุจำนวนหมู่แทนที่ที่เหมือนกันเป็นภาษากรีก (2 = di, 3 = tri, 4 = tetra)



3-methylhexane

โซ่หลัก คือ hexane

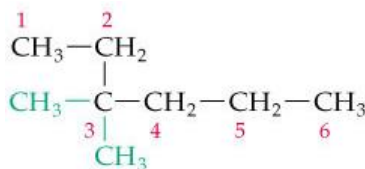
ไซกิง (หมู่แทนที่) คือ methyl เกาะตำแหน่งที่ 3 ของโซ่หลัก



3-ethyl-3-methylhexane

โซ่หลัก คือ hexane

โซ่กิ่ง (หมู่แทนที่) คือ methyl และ ethyl เกาะตำแหน่งที่ 3 เดียวกันของโซ่หลัก



3,3-dimethylhexane

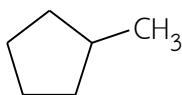
โซ่หลัก คือ hexane

โซ่กิ่ง (หมู่แทนที่) คือ methyl 2 หมู่เกาะตำแหน่งที่ 3 เดียวกันของโซ่หลัก

(6) ไฮโดรคาร์บอน (cycloalkane) โดยใช้ชื่อไฮโดรคาร์บอนเป็นชื่อโครงสร้างหลัก

- กรณีหมู่แทนที่หนึ่งหมู่ ให้เรียกชื่อหมู่แทนที่แล้วตามด้วยชื่อโครงสร้างหลัก เช่น methylcyclopentane

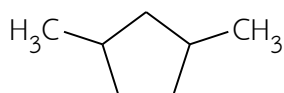
- กรณีหมู่แทนที่มากกว่าหนึ่งหมู่ ให้ระบุตำแหน่งหมู่แทนที่ที่มีอักษรที่มาก่อนมีตำแหน่งคาร์บอนต่ำสุด แล้วระบุตำแหน่งของหมู่แทนที่ตัวต่อไป



methylcyclopentane

โซ่หลัก คือ cyclopentane

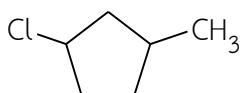
หมู่แทนที่ คือ methyl เกาะตำแหน่งที่ 1 ของโซ่หลัก



1,3-dimethylcyclopentane

โซ่หลัก คือ cyclopentane

หมู่แทนที่ คือ methyl 2 หมู่ เกาะตำแหน่งที่ 1 และ 3 ของโซ่หลัก กำหนดตำแหน่งคาร์บอนหมู่แทนที่ใดเป็นตำแหน่ง 1 ได้เหมือนกัน



1-chloro-3-methylcyclopentane

โซ่หลัก คือ cyclopentane

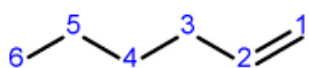
หมู่แทนที่ คือ chloro และ methyl เกาะคนละตำแหน่งของโซ่หลัก กำหนดตำแหน่งคาร์บอนที่หมู่ chloro เป็น 1 และหมู่ methyl เป็น 3 (เรียงตามตัวอักษร)

## 2) แอลคีน

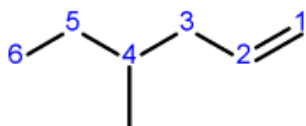
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะคู่ภายในโมเลกุล หลักการเรียกชื่อแอลคีน เช่นเดียวกับแอลเคนและไซโคลแอลเคน แต่มีข้อแตกต่าง ดังนี้

(1) ระบุตำแหน่งคาร์บอนของโซ่หลักโดยให้พันธะคู่เป็นตำแหน่งน้อยที่สุด ให้เรียกชื่อโซ่หลักตามจำนวนคาร์บอน (ตารางที่ 4.3) ตามด้วยตำแหน่งพันธะคู่ ตามด้วย -ene

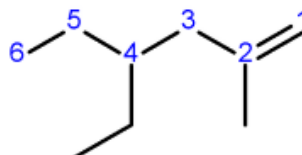
(2) หลักการเรียกชื่อหมู่แทนที่ เช่นเดียวกับแอลเคนและไซโคลแอลเคน



hex-1-ene  
(1-hexene)

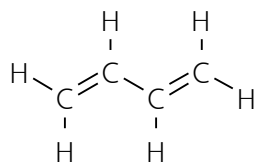


4-methylhex-1-ene  
(4-methylhexene)



4-ethyl-2-methylhex-1-ene  
(4-ethyl-2-methylhexene)

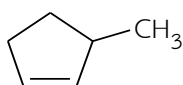
(2) กรณีที่มีพันธะคู่มากกว่าหนึ่งแห่งให้ใส่ตัวเลขตำแหน่งของที่อยู่ของพันธะคู่และใช้คำว่า diene และ triene เป็นคำลงท้ายสำหรับพันธะคู่ 2 และ 3 ตำแหน่ง ตามลำดับ



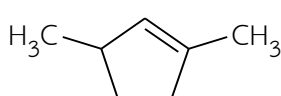
1,3-butadiene

(3) ไซโคลแอลคีน (cycloalkene) โดยใช้ชื่อไซโคลแอลคีนเป็นชื่อโครงสร้างหลัก

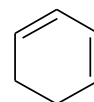
- กำหนดตำแหน่งพันธะคู่เป็นตำแหน่งที่ 1
- นับตำแหน่งหมู่แทนที่ให้เป็นเลขน้อยที่สุด
- อ่านชื่อหมู่แทนที่ตามลำดับตัวอักษร



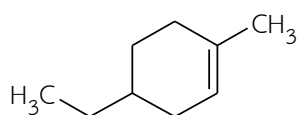
3-methylcyclopentene



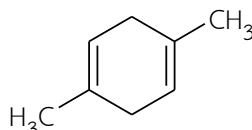
1,3-dimethylcyclopent-1-ene



cyclohexa-1,3-diene



4-ethyl-1-methylcyclohexene

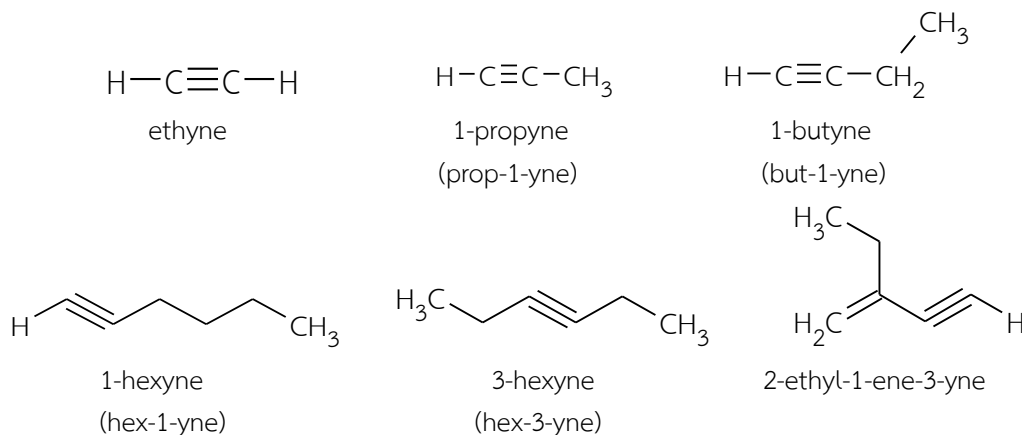


1,4-dimethylcyclohexa-1,4-diene

### 3) แอลไคน์

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะสามภายในโมเลกุล หลักการเรียกชื่อแอลไคน์ เช่นเดียวกับแอลคีนและไซโคลแอลคีน แต่มีเสียงลงท้ายเป็น -yne

กรณีที่มีพันธะสามมากกว่าหนึ่งแห่งให้ใส่ตัวเลขตำแหน่งของที่อยู่ของพันธะสามและใช้คำว่า diyne และ triyne เป็นคำลงท้ายสำหรับพันธะสาม 2 และ 3 ตำแหน่ง ตามลำดับ



หลักการเรียกชื่อแอลเคน แอลคีน และแอลไคน์จะใช้หลักเดียวกัน แตกต่างกันในการกำหนดตำแหน่งอะตอมคาร์บอนและคำลงท้ายของหมู่ฟังก์ชัน

ตารางที่ 4.10 หลักการเรียกชื่อแอลเคน แอลคีน และแอลไคน์

	Alkane	Alkene	Alkyne
โครงสร้างหลัก (โซ่ยาวที่สุด)	เรียกตามจำนวนอะตอม C		
หมู่ฟังก์ชัน	C-C	C=C	C≡C
การนับสายโซ่	โซ่กิ่ง/หมู่แทนที่ ตำแหน่งเลขน้อยสุด	พันธะคู่ตำแหน่ง C น้อยสุด	พันธะสามตำแหน่ง C น้อยสุด
คำลงท้าย	เอน (-ane)	อิน (ene)	ไอน์ (-yne)
ชื่อโซ่กิ่ง/หมู่แทนที่	เรียกตามชื่อหมู่แอลคิล (R-) และแอลริล (Ar-)		
โซ่กิ่ง/หมู่แทนที่ เหมือนกันซ้ำกัน	แทนจำนวนซ้ำด้วยภาษากรีก (di=2, tri=3, tetra=4)		
โซ่กิ่ง/หมู่แทนที่ หลายหมู่	เรียกตามตัวอักษรของชื่อหมู่แทนที่		
มีหมู่ฟังก์ชันเดียวกัน 2 หมู่	-	ลงท้ายด้วย -diene	ลงท้ายด้วย -diyne
มีหมู่ฟังก์ชันเดียวกัน 3 หมู่	-	ลงท้ายด้วย -triene	ลงท้ายด้วย -triyne
โครงสร้างเป็นวง	เรียก cyclo หน้าโครงสร้างหลัก		
ตัวอย่าง	butane	1-butene	1-butyne

ตัวอย่าง 4.1 จงเขียนชื่อของสารอินทรีย์ต่อไปนี้

**โครงสร้างหลัก (โซ่หลัก)**

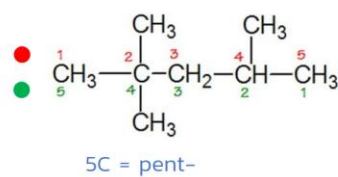
- (1) หาโซ่ที่มีจำนวนคาร์บอนต่อกันยาวมากที่สุด
- (2) กำหนดลำดับคาร์บอนโซ่หลัก ให้ตำแหน่งที่มีโซ่กิ่งหรือหมู่แทนที่มาเกาะเป็นเลขที่น้อยที่สุด
- (3) ชื่อโครงสร้างหลัก เรียกตามจำนวน C

**คำนำหน้า**

- (1) ชื่อหมู่แทนที่ และตำแหน่ง C ที่หมู่แทนที่เกาะ
- (2) ถ้ามีหมู่แทนที่มากกว่า 1 หมู่ (ไม่เหมือนกัน) ระบุตำแหน่งและเรียงชื่อหมู่แทนที่ตามอักษร
- (3) ถ้ามีหมู่แทนที่มากกว่า 1 หมู่ (เหมือนกัน) ระบุตำแหน่ง และระบุจำนวนหมู่แทนที่ที่ซ้ำกัน (2 = di, 3 = tri, 4 = tetra)

**คำลงท้าย**

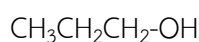
- (1) ตัวเลขบอกตำแหน่งหมู่ฟังก์ชัน
- (2) ชื่อเรียกเฉพาะของหมู่ฟังก์ชัน

หมู่แทนที่ CH<sub>3</sub> 3 หมู่เกาะที่ C2, C2, C4หมู่ฟังก์ชัน เป็น แอลเคน  
คำลงท้าย เป็น pentane**2,2,4-trimethylpentane****4) แอลกอฮอล์**

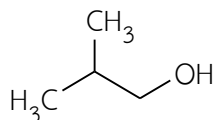
สารประกอบแอลกอฮอล์ มีสูตรทั่วไป คือ R-OH

การเรียกชื่อสามัญของแอลกอฮอล์ เรียกหมู่แอลคิล ตามด้วยคำว่าแอลกอฮอล์ เช่น เมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)

การอ่านชื่อ IUPAC ของแอลกอฮอล์มีหลักการเช่นเดียวกับแอลเคน แอลคีนและแอลไคน์ แต่คำลงท้ายเป็น -ออล (-ol) กำหนดตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่หมู่ -OH เกาะให้เป็นตำแหน่งน้อยที่สุด

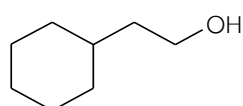


1-butanol

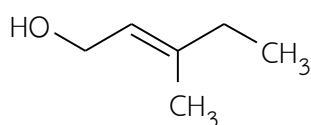


2-methylpropanol

(iso-butanol)

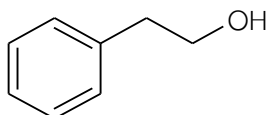


4-cyclohexyl-1-butanol



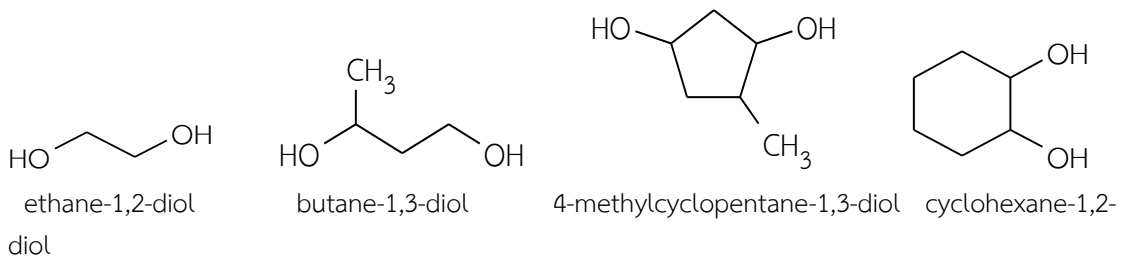
3-methyl-2-pentenol

(3-methyl-2-penten-1-ol)



2-phenylethanol

โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชัน OH สองหมู่ให้เรียกคำลงท้ายเป็น ไดออล (diol)

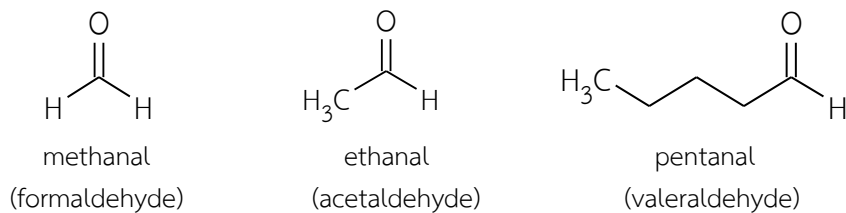


### 5) แอลดีไฮด์

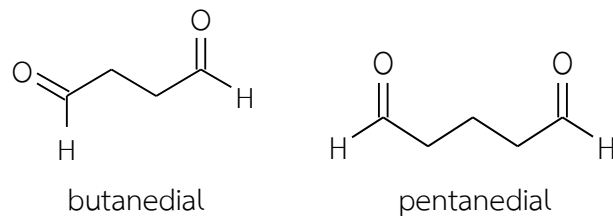
สารประกอบแอลดีไฮด์ เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล ( $-C=O$ ) เป็นหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว

ชื่อสามัญของแอลดีไฮด์ เรียกตามชื่อสามัญทั่วไปตามด้วยคำว่า ดีไฮด์ เช่น ฟอर्मัลดีไฮด์ (formaldehyde) หรือ แอซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde)

การเรียกชื่อแอลดีไฮด์ตามระบบ IUPAC มีหลักการเช่นเดียวกับแอลเคน แอลคีนและแอลไคน์ แต่คำลงท้ายเป็น -แอล (-al) กำหนดตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่หมู่คาร์บอนิลเกาะให้เป็นที่ 1



โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลสองหมู่ให้เรียกคำลงท้ายเป็น ไดแอล (-dial)

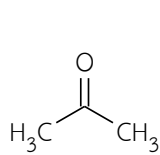


### 6) คีโตน

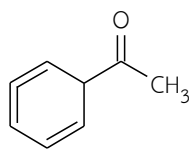
สารประกอบคีโตน เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล ( $-C=O$ ) เป็นหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว

ชื่อสามัญของคีโตนเรียกตามชื่อสามัญทั่วไปตามด้วยเสียงลงท้ายเป็น โอน เช่น แอซีโตน (acetone)

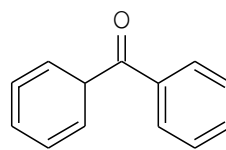
การเรียกชื่อคีโตนตามระบบ IUPAC มีหลักการเช่นเดียวกับแอลดีไฮด์ แต่คำลงท้ายเป็น -โอน (-one) กำหนดตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่หมู่คาร์บอนิลเกาะให้เป็นที่น้อยที่สุด



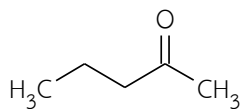
propanone  
(acetone)



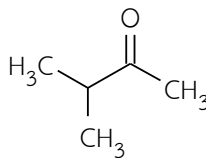
acetophenone  
(methyl phenyl ketone)



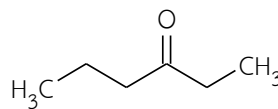
benzophenone  
(diphenyl ketone)



2-pentanone  
(methyl propyl ketone)



3-methyl-2-butanone  
(methyl isopropyl ketone)

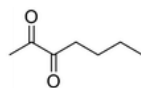


3-hexanone  
(ethyl propyl ketone)

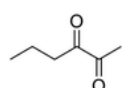
โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ให้เรียกคาลงท้ายเป็น ไดโอน (-dione)



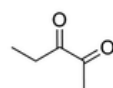
2,3-butanedione



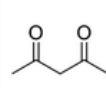
2,3-heptanedione



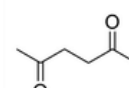
2,3-hexanedione



2,3-pentanedione



2,4-pentanedione



2,5-hexanedione

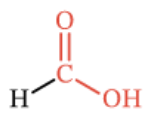
## 7) คาร์บอกซิลิก

สารประกอบคาร์บอกซิลิก เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล ( $-\text{COOH}$ ) เป็นหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว

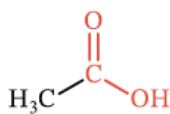
ชื่อสามัญของคาร์บอกซิลิก เรียกตามชื่อสามัญทั่วไปตามด้วยเสียงลงท้ายเป็น แอซิด เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดแอซิดิก (acetic acid)

การเรียกชื่อคาร์บอกซิลิก ตามระบบ IUPAC มีหลักการเช่นเดียวกับสารประกอบอินทรีย์ แต่คาลงท้ายเป็น -อ็อก แอซิด (-oic acid) กำหนดตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่หมู่คาร์บอกซิลเกาะให้เป็นตำแหน่งที่ 1

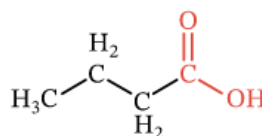
โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ให้เรียกคาลงท้ายเป็น -dioic acid



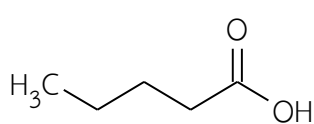
methanoic acid  
(formic acid)



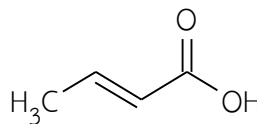
ethanoic acid  
(acetic acid)



butanoic acid  
(butyric acid)

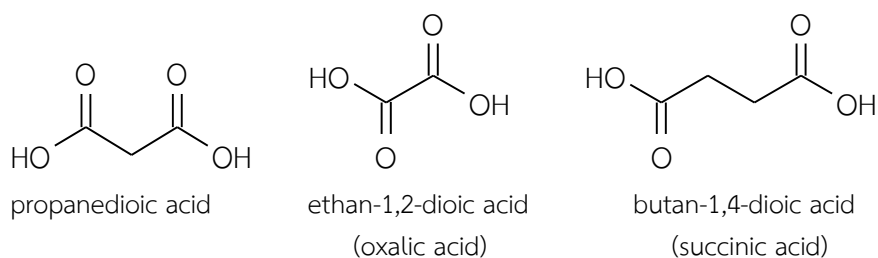


pentanoic acid



2-butenoic acid

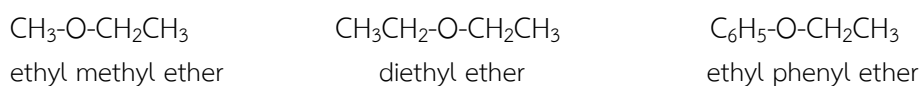
โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ให้เรียกคาลงท้ายเป็น ไดอ็อก แอซิด (-dioic acid)



### 8) อีเทอร์

อีเทอร์ (Ether) เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่แอลคิลหรือหมู่แอริลต่อกับออกซิเจน มีสูตรทั่วไปคือ R-O-R' ซึ่ง R และ R' แทนหมู่แทนที่ (หมู่แอลคิล หรือหมู่แอริล)

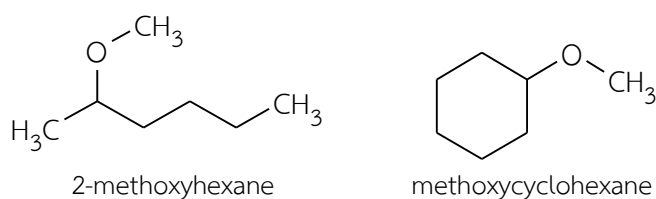
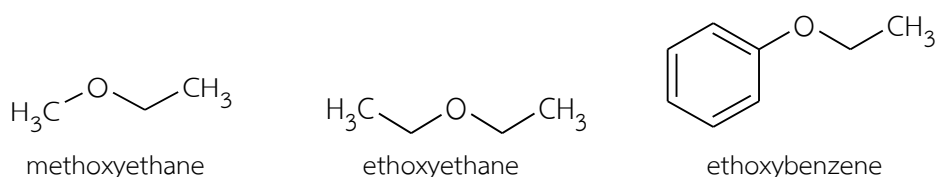
การเรียกชื่อสามัญของอีเทอร์ให้เรียกหมู่แอลคิล 2 หมู่ ที่เกาะกับออกซิเจน ถ้าหมู่ที่ติดอยู่กับออกซิเจนเป็นแอลคิลหรือหมู่แอริลทั้งสองหมู่ให้เรียกชื่อเรียงตามลำดับอักษร แล้วลงท้ายด้วยอีเทอร์ แต่ถ้าเป็นอีเทอร์อย่างง่ายให้ใช้คำ ว่า di- นำหน้าหมู่แอลคิล



การเรียกชื่อระบบ IUPAC ของอีเทอร์จะเรียกเป็นแอลคอกซี แอลเคน (alkoxyalkanes) กำหนดให้หมู่แอลคิล/หมู่แอริล ที่มีขนาดใหญ่กว่าเป็นชื่อหลัก เรียกหลังสุดตามชื่อของแอลเคน ส่วนหมู่แอลคิล/หมู่แอริลขนาดเล็กให้เรียกชื่อในรูปของหมู่แอลคอกซี (alkoxy) ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 หมู่แอลคอกซี

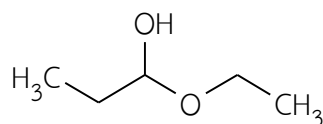
หมู่แอลคิล/หมู่แอริล	ชื่อหมู่แอลคิล/หมู่แอริล	หมู่แอลคอกซี	ชื่อหมู่แอลคอกซี
CH <sub>3</sub> -	methyl	CH <sub>3</sub> O-	methoxy
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -	ethyl	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> O-	ethoxy
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH-	isopropyl	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHO-	<i>iso</i> -propoxy
(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C-	tert-butyl	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> CO-	<i>tert</i> -butoxy
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -	phenyl	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O-	phenoxy



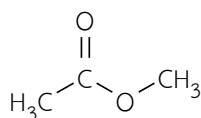
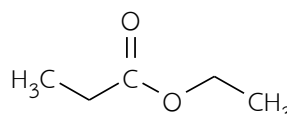
### 9) เอสเทอร์

เอสเทอร์คือกรดอินทรีย์ที่ไฮโดรเจนอะตอมของหมู่ OH ถูกแทนที่ด้วย หมู่แอลคิล ส่วนใหญ่มีกลิ่นหอม มีสูตรทั่วไปเป็น R-CO-OR หรือ R'COOR หรือ R'CO<sub>2</sub>R มีสูตรโมเลกุลทั่วไปเป็น C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>O<sub>2</sub> (เหมือนกรดอินทรีย์) และมีหมู่แอลคอกซีคาร์บอนิล (-COOR) เป็นหมู่ฟังก์ชัน

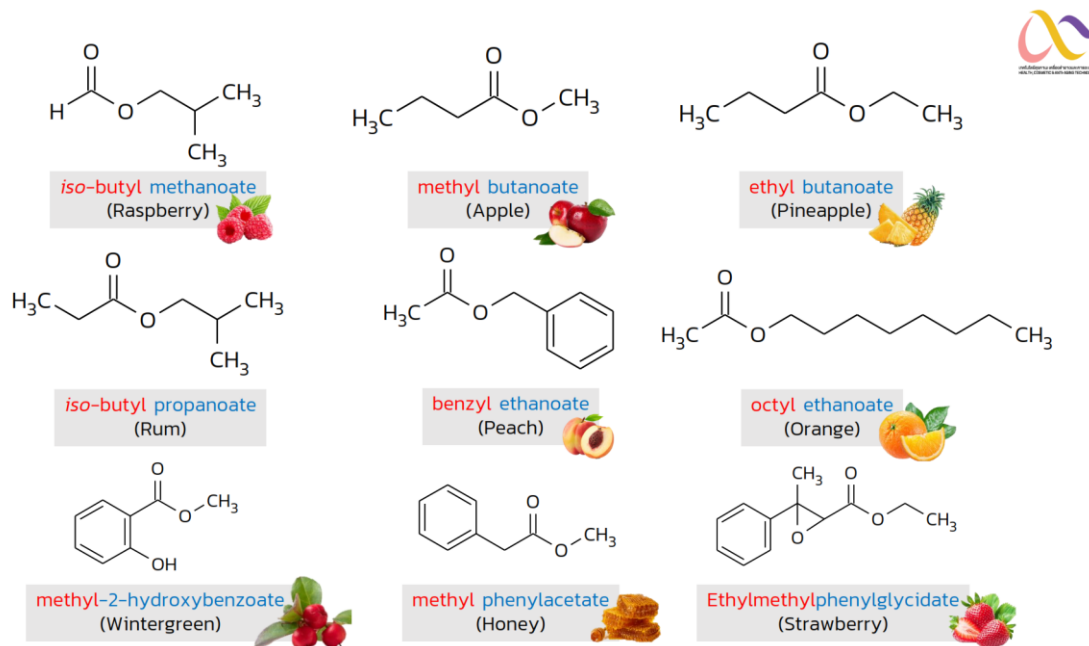
การเรียกชื่อระบบ IUPAC ของเอสเทอร์ต้องเรียกชื่อหมู่แอลคิลหรือหมู่เอริลที่มาจากหมู่แอลกอฮอล์ แล้วตามด้วยชื่อของกรดคาร์บอกซิลิก แต่เปลี่ยนคำลงท้ายจาก -อิก (-ic) เป็น โอเอต (-oate)



ethylpropanoate

methyl ethanoate  
(methyl acetate)

ethyl propanoate

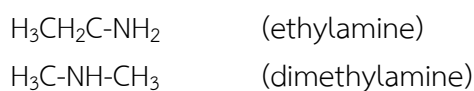


ภาพที่ 4.17 เอสเทอร์ที่พบในธรรมชาติ

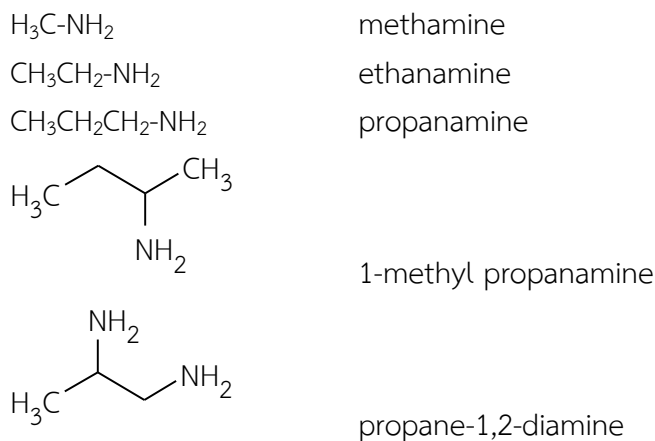
### 10) เอมีน

สารประกอบเอมีน เป็นสารอินทรีย์ที่มีอะตอม N เป็นหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว ชื่อสามัญให้เรียกแบบ แอลคิลเอมีน (alkylamine) เรียกชื่อหมู่แอลคิลที่ต่อที่อะตอมไนโตรเจน ตามลำดับตัวอักษร และเติมคำลงท้ายว่าเอมีน (-amine) เช่น

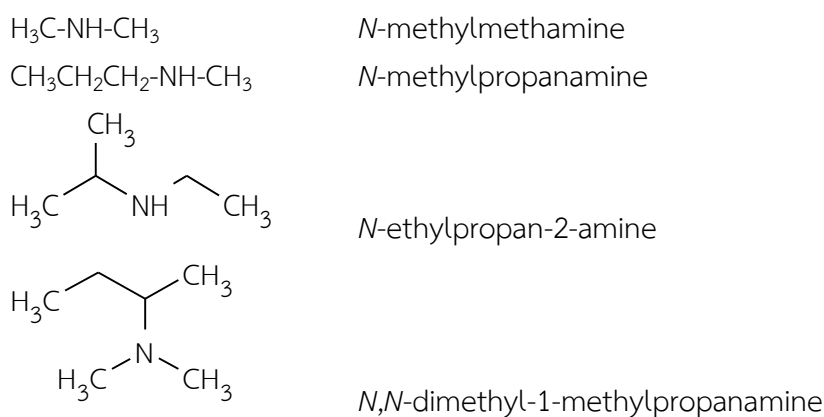




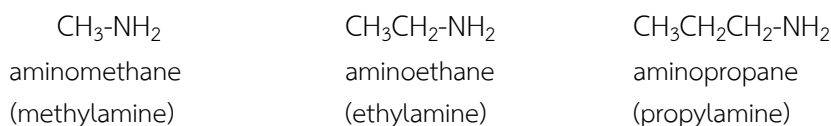
การเรียกชื่อ IUPAC ให้เรียกแบบ แอลเคนเอมีน (alkanamine) ใช้หลักเกณฑ์เดียวกับการเรียกชื่อสารอินทรีย์อื่น ๆ โดยที่เอมีนปฐมภูมิ ( $1^\circ$ amine) ลงท้ายด้วยเอมีน (amine) เช่น

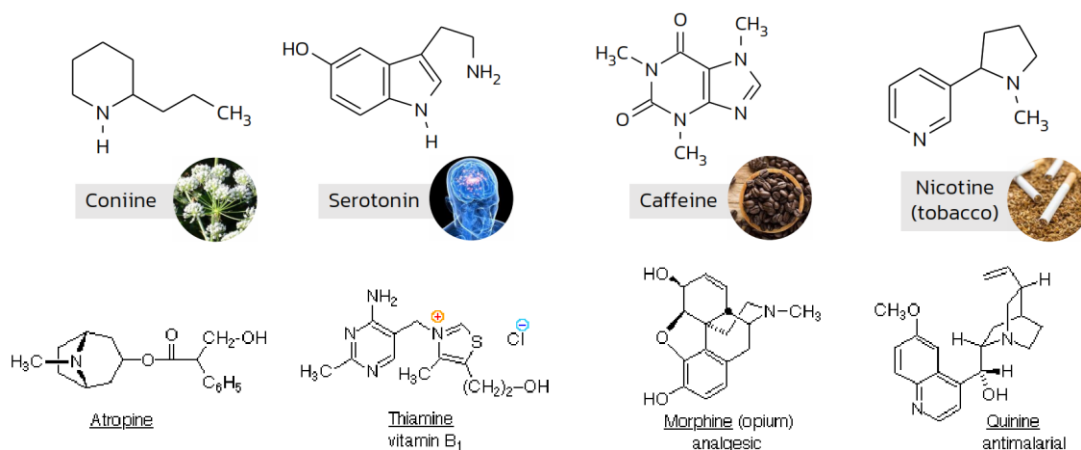


กรณีเอมีนทุติยภูมิ ( $2^\circ$ amine) และเอมีนตติยภูมิ ( $3^\circ$ amine) เรียกชื่อหมู่แอลคิลที่ต่อที่อะตอมไนโตรเจน ตามลำดับตัวอักษร และเขียน *N* นำหน้าหมู่แอลคิล และลงท้ายด้วยเอมีน เช่น *N*-methylpropanamine



นอกจากนี้ยังสามารถเรียกชื่อโดยใช้ชื่อหมู่แทนที่  $-\text{NH}_2$  (amino) ได้เช่น

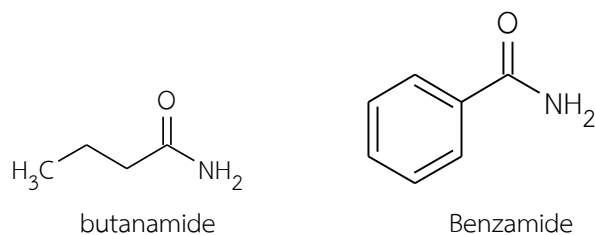




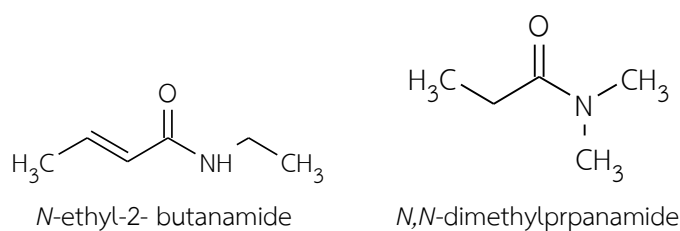
ภาพที่ 4.18 สารเอมีนที่พบในธรรมชาติ

### 11) เอไมด์

การเรียกชื่อสามัญให้เรียกตามกรดอินทรีย์ โดยตัด -ic acid ออกแล้วเติม -amide เข้าไปแทนส่วนการเรียกชื่อระบบ IUPAC ให้เรียกชื่อตามกรดอินทรีย์เช่นเดียวกัน โดยตัด -oic acid ออกแล้วเติม -amide เข้าไปแทน



กรณี 2°amide และ 3°amide เรียกชื่อหมู่แอลคิลที่ต่อที่อะตอมไนโตรเจน ตามลำดับตัวอักษร และเขียน *N* นำหน้าหมู่แอลคิล และลงท้ายด้วยเอไมด์

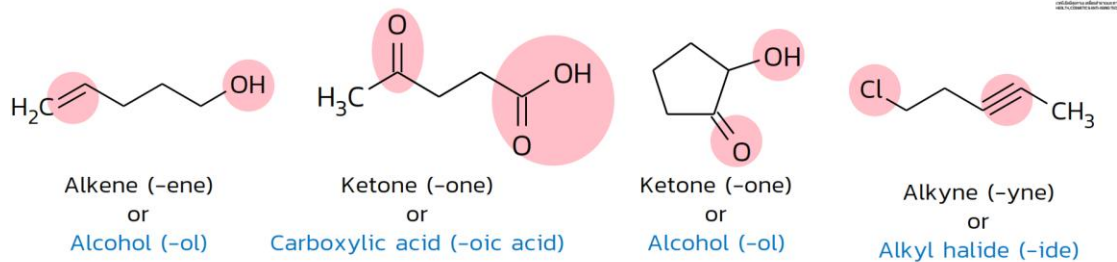


ในกรณีที่สารอินทรีย์มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่าหนึ่งหมู่ (ประเภท) ในการพิจารณาลำดับความสำคัญของหมู่ฟังก์ชันให้เรียงตามตาราง

ตารางที่ 4.12 ความสำคัญของหมู่ฟังก์ชัน

Structure	Classification	Prefix	Suffix
$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	Carboxylic	Carboxy-	- oic acid - carboxylic acid
$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OR}'$	Ester	Alkoxycarbonyl	- oate
$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$	Amide	Carbonyl-	- amide
$\text{R}-\text{C}\equiv\text{N}$	Nitrile	Cyano-	- nitrile
$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$	Aldehyde	Formyl-	- al
$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}'$	Ketone	Oxo-	- one
$\text{R}-\text{OH}$	Alcohol	Hydroxy-	- ol
$\text{R}-\text{NH}_2$	Amine	Amino-	- amine
$\text{R}_2\text{C}=\text{CR}_2$	Alkene	Alkenyl	- ene
$\text{RC}\equiv\text{CR}$	Alkyne	Alkynyl	- yne
$\text{R}$	Alkane	Alkyl	- ane
$\text{R}-\text{O}-\text{R}'$	Ether	Alkoxy	- ane
$\text{R}-\text{X}$	Alkyl halide		

ตัวอย่างสารอินทรีย์ในภาพที่ 4.19 จะต้องพิจารณาลำดับความสำคัญของหมู่ฟังก์ชัน เพื่อกำหนดตำแหน่งอะตอมคาร์บอนของโครงสร้างหลัก เช่น แอลคีนกับแอลกอฮอล์ พบว่าแอลกอฮอล์มีลำดับความสำคัญสูงกว่า ดังนั้นการกำหนดตำแหน่งอะตอมคาร์บอนต้องให้หมู่ฟังก์ชัน OH มีลำดับที่น้อยสุด



pen-4-en-1-ol  
(4-pentenol)

4-oxo-pentanoic acid

2-hydroxycyclopentanone

5-chloropent-2-yne

ภาพที่ 4.19 ตัวอย่างสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่าหนึ่งหมู่

### สรุปท้ายบทเรียน

หมู่ฟังก์ชันเป็นส่วนโครงสร้างองค์ประกอบเฉพาะตัว หมู่ฟังก์ชันเป็นตัวกำหนดการทำปฏิกิริยาและสมบัติทางเคมีอื่น ๆ ของโมเลกุล ซึ่งหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์จะเป็นตัวบอกสมบัติเฉพาะในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ หมู่แทนที่ คือหมู่ที่มาเกาะในโครงสร้างหลัก โดยหมู่แทนที่อาจเป็นอะตอมหรือโมเลกุล เช่นหมู่แอลคิลคือหมู่แทนที่มาจากแอลเคนแต่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนน้อยกว่าแอลเคนอยู่หนึ่งอะตอม เขียนแทนด้วย R- ชื่อเรียกหมู่แอลคิลจะเรียกตามแอลเคน แต่เปลี่ยนเสียงลงท้ายเป็น อิล กลุ่มแอริล มักประกอบด้วยวงแหวนแอโรแมติก หมู่แอริลเป็นสารประกอบแอโรแมติกธรรมดาที่อะตอมไฮโดรเจนหนึ่งอะตอมจะถูกกลบออกจากวงแหวน หลักการเรียกชื่อสารอินทรีย์จะเรียกได้ทั้งแบบชื่อสามัญและชื่อตาม IUPAC โดยสารแต่ละชนิดจะมีชื่อเรียกแต่ต่างกันตามชนิดของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ แต่เราอาจสรุปเป็นหลักใหญ่ได้คือ หาโซ่ที่มีจำนวนคาร์บอนต่อกันยาวมากที่สุด แล้วเรียกโซ่หลักนี้เป็นชื่อโครงสร้างหลัก กำหนดลำดับอะตอมคาร์บอน โดยพิจารณาตำแหน่งที่มีโซ่กิ่ง หรือหมู่แทนที่มากเกาะกับคาร์บอนในโซ่หลัก ให้กำหนดอะตอมคาร์บอนของโซ่หลักที่ใกล้หมู่แทนที่ให้เป็นเลขที่น้อยที่สุด หมู่แทนที่หนึ่งหมู่ ให้ระบุตำแหน่งคาร์บอนที่หมู่แทนที่เกาะ ตามด้วยชื่อหมู่แทนที่และตามด้วยชื่อโครงสร้างหลัก ถ้ามีหมู่แทนที่มากกว่า 1 หมู่ (ไม่เหมือนกัน) ให้ระบุตำแหน่งคาร์บอนที่หมู่แทนที่เกาะทุกหมู่ โดยเรียงชื่อหมู่แทนที่ตามอักษรภาษาอังกฤษ เป็นต้น

### วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

### สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

### กิจกรรมที่มอบหมาย

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 4.2
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

### การวัดผล

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

### แบบฝึกหัด

1. แบบฝึกหัด 4.2

### เอกสารอ้างอิง

- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online).  
<https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

# หน่วยที่ 5

## ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์

### บทเรียนที่ 5.1 ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์เบื้องต้น

#### จุดประสงค์เฉพาะ

1. บอกประเภทตัวเข้าทำปฏิกิริยา
2. บอกประเภทปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์
3. บอกปฏิกิริยาของแอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน

#### 5.1.1 ประเภทตัวเข้าทำปฏิกิริยา

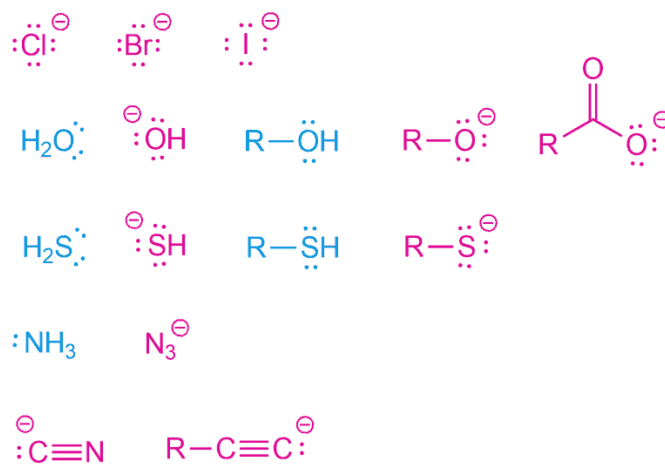
##### 1) ตัวเข้าทำปฏิกิริยา

1.1) นิวคลีโอไฟล์ (nucleophilic) คือ พวกที่โมเลกุลมีตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง เนื่องจากมีคู่อิเล็กตรอนที่ไม่ได้ใช้ร่วม มีพันธะที่มีขั้วแบบ  $\delta^-$  และมีพ้ออิเล็กตรอน ( $\pi$ -electron) ของ  $C=C$

เรียกตัวเข้าทำปฏิกิริยานี้ว่า นิวคลีโอไฟล์ (nucleophile) หรือตัวให้อิเล็กตรอน (electron donor) แบ่งได้สองประเภท ดังนี้

(1) นิวคลีโอไฟล์ที่มีประจุ (charge nucleophile) เช่น  $-OH$ ,  $-OR$ ,  $CH_3COO^-$ ,  $-N_3^-$ ,  $-CN$ ,  $HC\equiv C^-$ ,  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $I^-$ ,  $HS^-$ ,  $RS^-$

(2) นิวคลีโอไฟล์ที่ไม่มีประจุ (neural nucleophile) เช่น  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $R-NH_2$ ,  $H_2S$ ,  $R-SH$



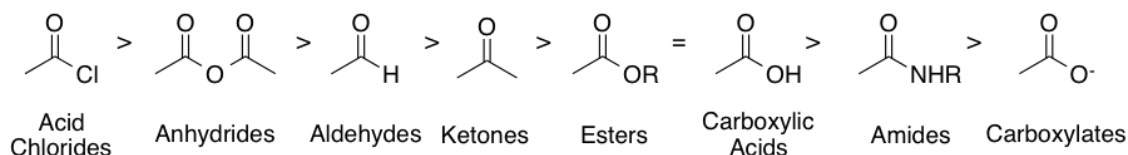
ภาพที่ 5.1 นิวคลีโอไฟล์

1.2) อิเล็กโตรฟิลิก (electrophilic) คือ พวกที่โมเลกุลมีตำแหน่งขาดอิเล็กตรอน เนื่องจากมีตำแหน่งที่รับคู่อิเล็กตรอนได้มาก และพันธะที่มีขั้วแบบ  $\delta^+$

เรียกตัวเข้าทำปฏิกิริยานี้ว่า อิเล็กโตรไฟล์ (electrophile) หรือตัวรับอิเล็กตรอน (electron acceptor)

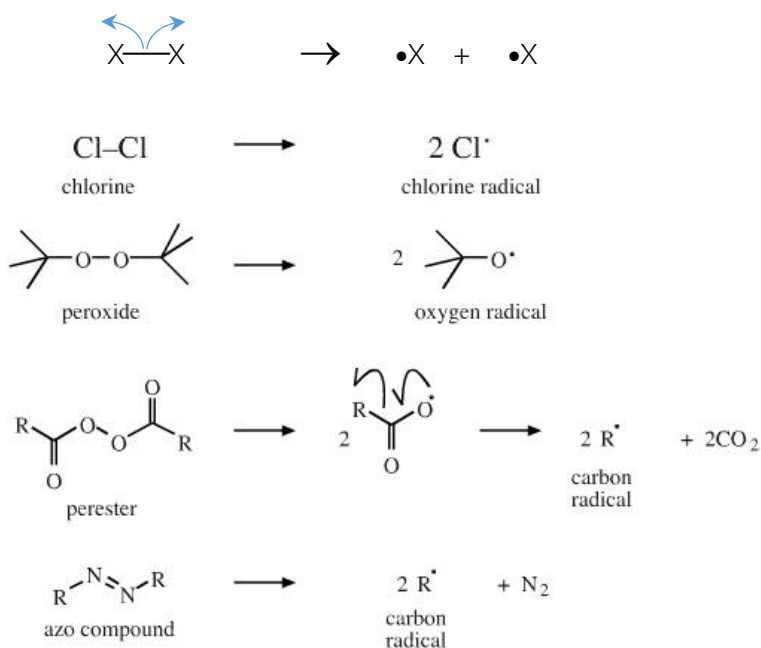
(1) อิเล็กโตรไฟล์ที่เป็นกลาง (E) เช่น  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{SO}_3$

(2) อิเล็กโตรไฟล์ที่มีประจุ ( $\text{E}^+$ ) เช่น  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{R}^+$  (carbocation)



ภาพที่ 5.2 ลำดับความสามารถรับอิเล็กตรอนของอิเล็กโตรไฟล์ที่มีหมู่คาร์บอนิลเป็นองค์ประกอบ

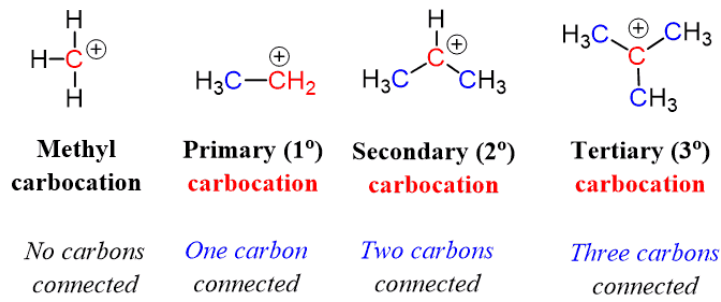
1.3) แรดิคัล (radical) เป็นหมู่ที่ไม่มีประจุ เนื่องจากเกิดการแตกตัวอย่างเสมอภาค ซึ่งเป็นการแตกพันธะโดยคู่อิเล็กตรอนของพันธะแยกออกจากกันไปอยู่ที่อะตอมข้างละ 1 ตัว เมื่อมีการแตกเรียกแต่ละข้างที่แตกออกไปนี้ว่า แรดิคัล หรือ แรดิคัลอิสระ (free radical)



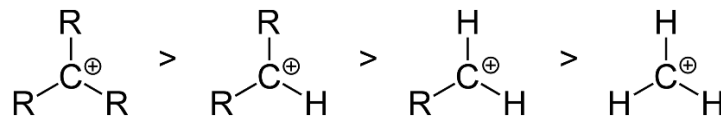
## 2) สารมัธยันต์

สารมัธยันต์ (intermediate) เป็นคือสารที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเคมี แต่ไม่ได้ปรากฏในสมการรวม เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ในปฏิกิริยาเคมี สารมัธยันต์ในปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์

2.1) คาร์โบแคตไอออน (carbocation) อะตอมคาร์บอนที่มีประจุบวก มี 6 electron และ 3 พันธะ ความเสถียรเรียงจากมากไปน้อย  $3^\circ > 2^\circ > 1^\circ$



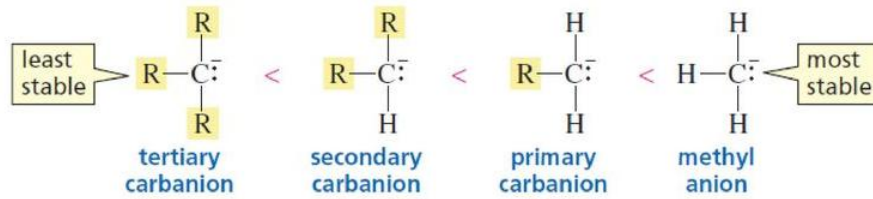
(ก)



(ข)

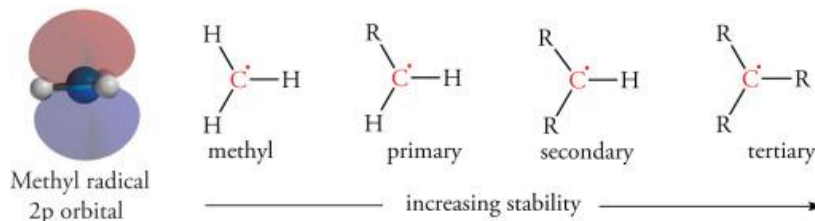
ภาพที่ 5.3 คาร์โบแคตไอออน (ก) ประเภทคาร์โบแคตไอออน และ (ข) ความเสถียรคาร์โบแคตไอออน

2.2) คาร์แบนไอออน (carbanion) อะตอมคาร์บอนที่มีประจุลบ มี 6 electron และ 3 พันธะ และมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 1 คู่ ความเสถียรเรียงจากมากไปน้อย  $1^{\circ} > 2^{\circ} > 3^{\circ}$



ภาพที่ 5.4 ประเภทและลำดับความเสถียรของคาร์แบนไอออน

2.3) แรดิคัล (radical)

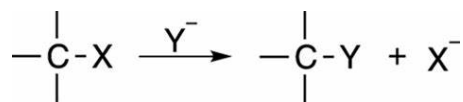


ภาพที่ 5.5 ประเภทและลำดับความเสถียรของแรดิคัล

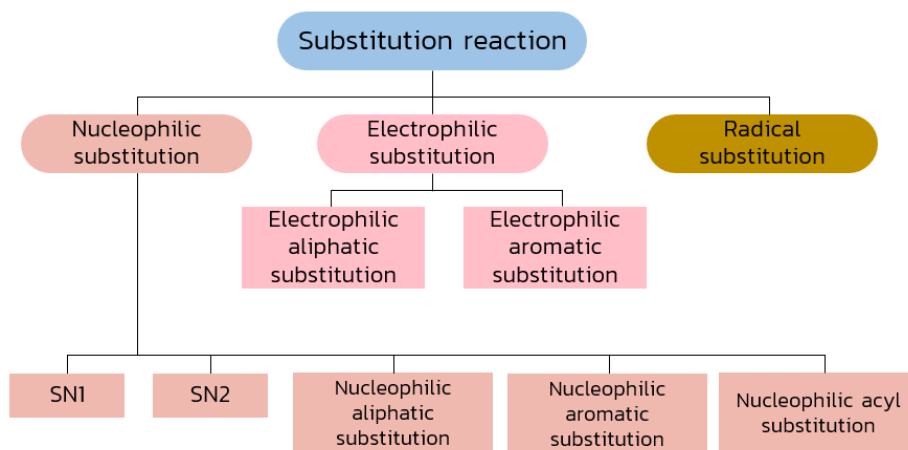
### 5.1.2 ประเภทปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์

#### 1) ปฏิกิริยาการแทนที่

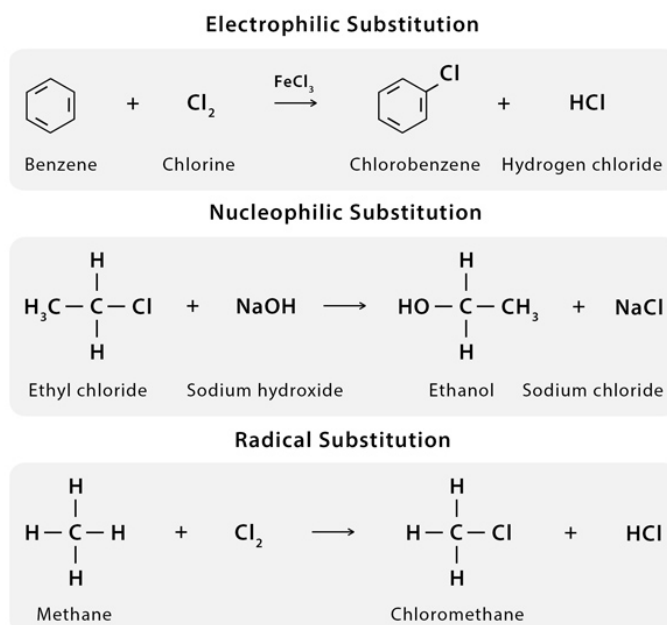
ปฏิกิริยาการแทนที่ (substitution reaction) เป็นปฏิกิริยาที่อะตอมหรือหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลหนึ่งถูกแทนที่โดยอะตอมหรือหมู่ฟังก์ชันอื่นที่ต่างออกไป



ปฏิกิริยาการแทนที่จำแนกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามการแทนที่ดังภาพที่ 5.6



ภาพที่ 5.6 การจำแนกปฏิกิริยาการแทนที่

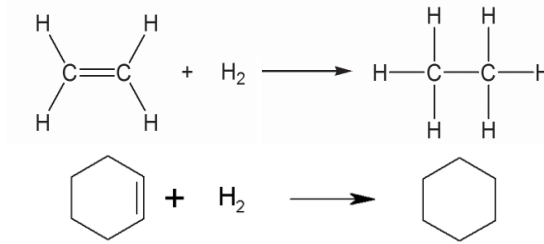


ภาพที่ 5.7 ตัวอย่างปฏิกิริยาการแทนที่

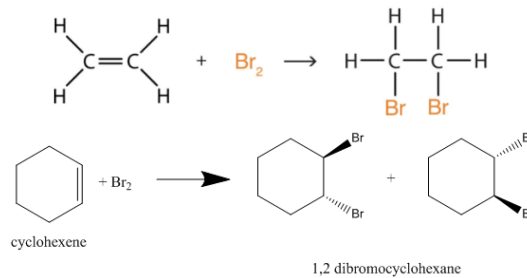
## 2) ปฏิกิริยาการเติม

ปฏิกิริยาการเติม (addition reaction) เป็นปฏิกิริยาที่สารสองโมเลกุลทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น สารที่เข้าทำปฏิกิริยาตัวใดตัวหนึ่งต้องเป็นสารไม่อิ่มตัว (มีพันธะคู่ หรือพันธะสาม)

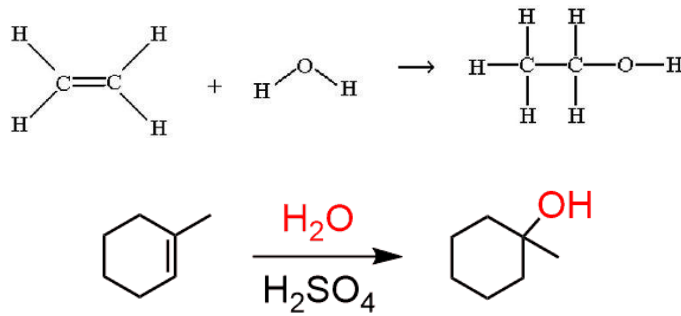
- ไฮโดรจิเนชัน (hydrogenation) เป็นปฏิกิริยาการเติมอะตอมไฮโดรเจนเพิ่มเข้าไปในโมเลกุลของสารประกอบไม่อิ่มตัว



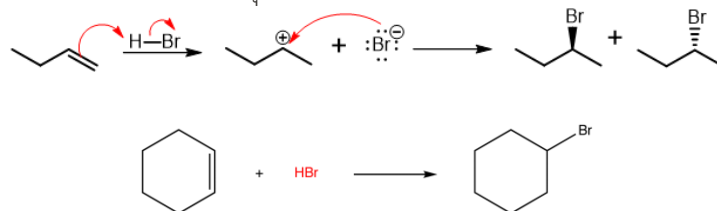
• แฮโลจิเนชัน (halogenation) เป็นปฏิกิริยาการเติม อะตอมธาตุแฮโลเจน (F, Cl, Br, I) เข้าในโมเลกุลของสารประกอบไม่อิ่มตัว โดยอะตอมแฮโลเจนจะเติมเข้าตำแหน่งพันธะคู่หรือพันธะสาม



• ไฮเดรชัน (hydration) เป็นปฏิกิริยาการเติม โมเลกุลของน้ำ ( $H_2O$ ) เข้าในโมเลกุลของสารประกอบไม่อิ่มตัว เช่น แอลคีน หรือแอลไคน์



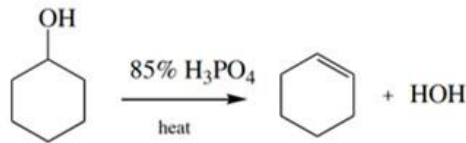
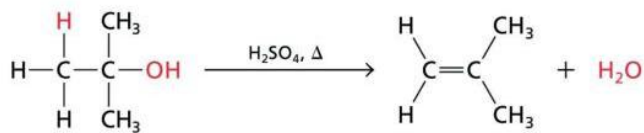
• ไฮโดรแฮโลจิเนชัน (hydrohalogenation reaction) เป็นปฏิกิริยาการเติมอะตอมไฮโดรเจนและแฮโลเจน เพิ่มเข้าในโมเลกุลของสารประกอบไม่อิ่มตัว



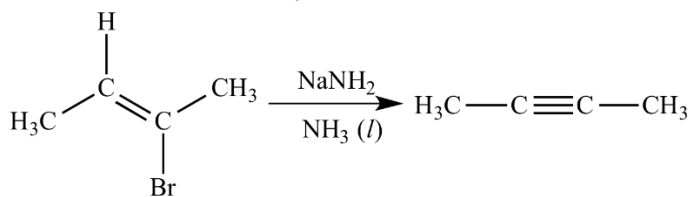
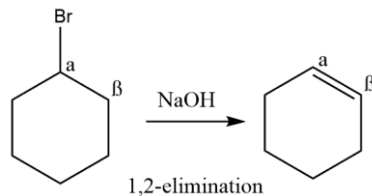
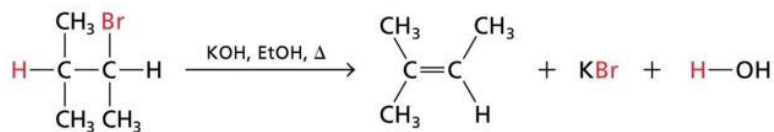
### 3) ปฏิกิริยาการกำจัด

ปฏิกิริยาการกำจัด (elimination reaction) ปฏิกิริยาที่มีการกำจัดโมเลกุลเล็ก ๆ ออกจากโมเลกุลสารตั้งต้น โดยอะตอมหรือโมเลกุลที่หลุดออกต้องอยู่ที่คาร์บอนที่ติดกัน

• ปฏิกิริยาการกำจัดน้ำ (dehydration) เป็นปฏิกิริยาการกำจัด  $H_2O$  โดยอะตอมคาร์บอนที่มี H และ OH ต้องติดกัน และได้ผลผลิตเป็นแอลคีน

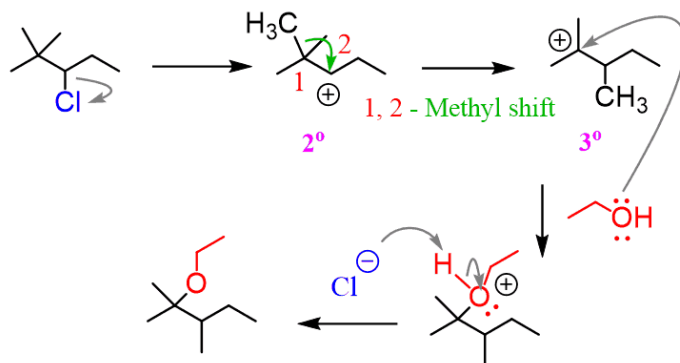


- ปฏิกิริยาการกำจัด Br



#### 4) ปฏิกิริยาการจัดเรียงตัวใหม่

ปฏิกิริยาการจัดเรียงตัวใหม่ (rearrangement reaction) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการจัดเรียงตัวใหม่ของสารตั้งต้นโดยมีการถ่ายโอน (transfer) หมู่เล็ก ๆ ภายในโมเลกุล



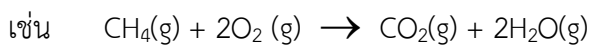
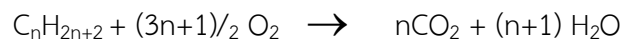
ภาพที่ 5.8 ปฏิกิริยาการจัดเรียงตัวใหม่

### 5.1.3 ปฏิกิริยาของแอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน

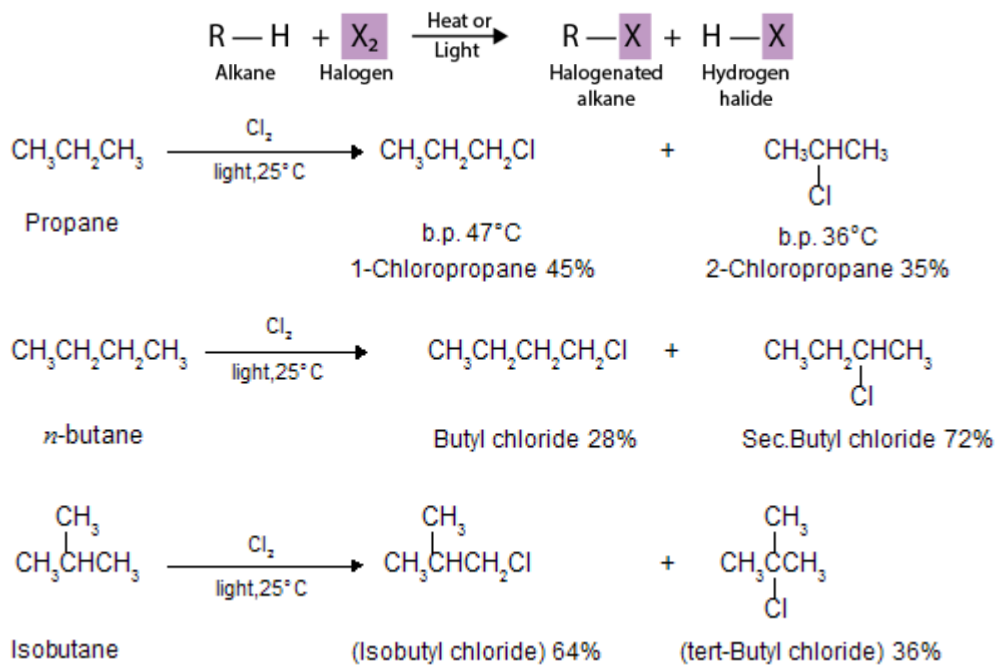
#### 1) แอลเคน

แอลเคนและไซโคลแอลเคนเป็นสารอินทรีย์ที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์อื่น ๆ แอลเคนมีชื่อวาราพาราฟิน (paraffins) เพราะนักเคมีพบว่าแอลเคนไม่เกิดปฏิกิริยากับกรดหรือเบส หรือรีเอเจนต์อื่น ๆ เกือบทุกชนิด แม้ว่าแอลเคนจะเกิดปฏิกิริยาได้ยาก แต่ก็สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาได้บางภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ปฏิกิริยาที่สำคัญของแอลเคน มีดังนี้

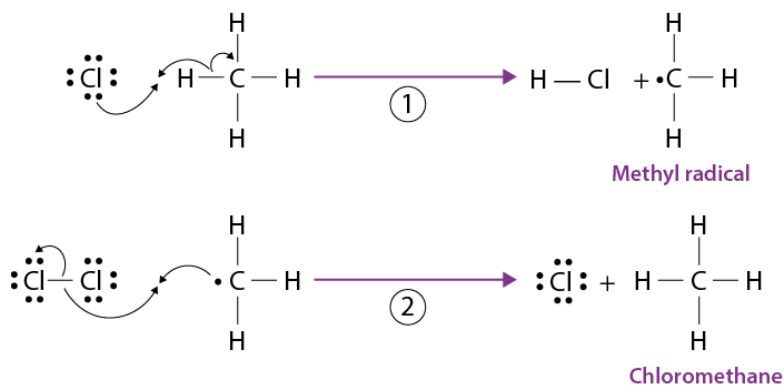
1.1) การเผาไหม้ (combustion) แอลเคนเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้อย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิสูง ทำให้แอลเคนเปลี่ยนไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ



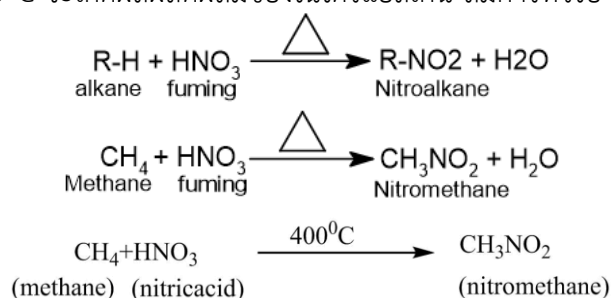
1.2) แฮโลจิเนชัน (halogenation) ปฏิกิริยาแฮโลจิเนชัน เกิดจากการที่แอลเคนทำปฏิกิริยาธาตุแฮโลเจน (Br, Cl, I) ในสภาวะที่มีแสงเกิดเป็น แอลคิลแฮไลด์ (alkyl halide)



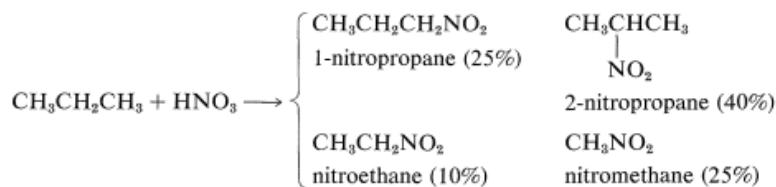
โดยมีกลไกดังนี้



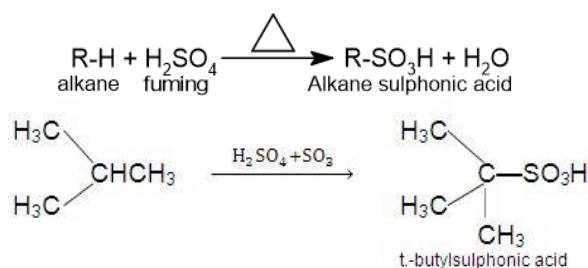
1.3) ไนเตรชัน (nitration) เมื่อนำไอของแอลเคนผสมกับไอของกรดไนตริกและให้ความร้อนระหว่าง 150-475°C จะเกิดผลผลิตผสมของไนโตรแอลเคน สมการทั่วไป



เช่น ถ้าใช้โพรเพน (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>) ทำปฏิกิริยาจะได้ 1-nitropropane, 2-nitropropane, nitroethane และ nitromethane

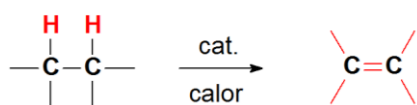


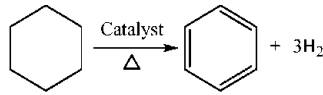
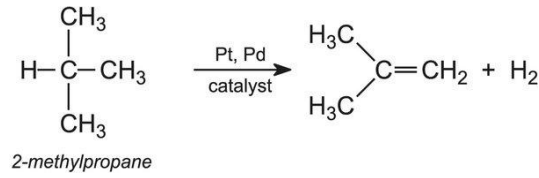
1.4) ซัลโฟเนชัน (sulphonation) ปฏิกิริยานี้ อะตอมของไฮโดรเจนของพันธะ C-H ถูกแทนที่ด้วยหมู่ -SO<sub>3</sub>H



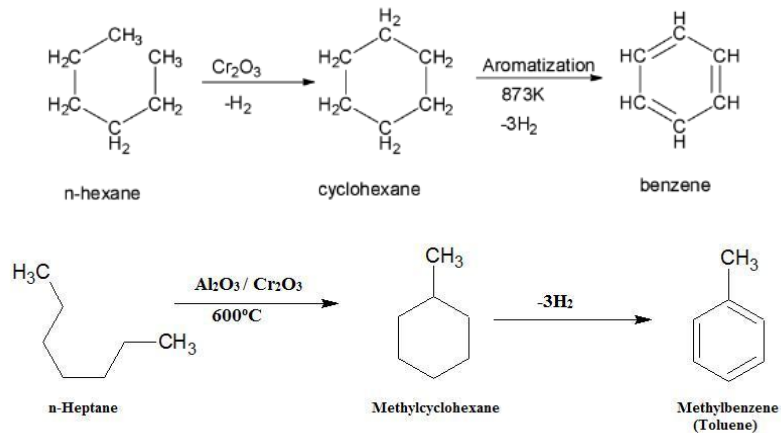
### 1.5) ปฏิกิริยาการกำจัด

1.5.1) การกำจัดไฮโดรเจน (hydrogenation) แอลเคนเกิดปฏิกิริยาการกำจัดไฮโดรเจนในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

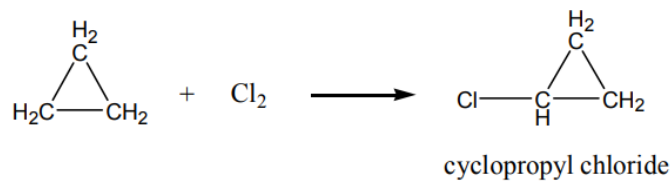
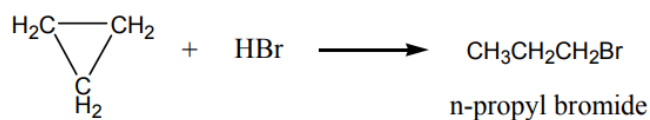




1.5.2) การเกิดวงแอรอแมติก (aromatization, hydroforming หรือ catalytic reforming) การเปลี่ยนโครงสร้างจากแอลิฟาติกเป็นแอรอแมติก โดยแอลเคนที่มีคาร์บอน 6 อะตอมหรือมากกว่า เมื่อได้รับความร้อนที่ 600°C ในสภาวะที่มีตัวเร่ง เช่น Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> หรือ Pt



ไซโคลแอลเคนส่วนมากมีปฏิกิริยาเคมีคล้ายคลึงกับแอลเคน ยกเว้น ไซโคลโพรเพนและไซโคลบิวเทน การที่ไซโคลโพรเพนและไซโคลบิวเทนมีปฏิกิริยาแตกต่างออกไปนั้น เพราะโมเลกุลไซโคลโพรเพนอยู่ในระนาบเดียวกัน (Planar) มีมุมระหว่างพันธะ 60° ซึ่งน้อยกว่ามุมของพันธะชนิดทรงสี่หน้าซึ่งถือว่าเสถียร (มีมุม 109° 28' มุมของพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนที่ควรจะเป็น) จึงทำให้วงแหวนของไซโคลโพรเพนมีความเครียด ความเครียดของวงแหวนจะลดลงเมื่อวงแหวนถูกเปิด ไซโคลโพรเพนจึงเกิดปฏิกิริยาให้ผลผลิตชนิดวงแหวนเปิด

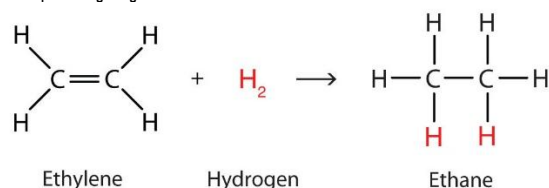


## 2) แอลคีน

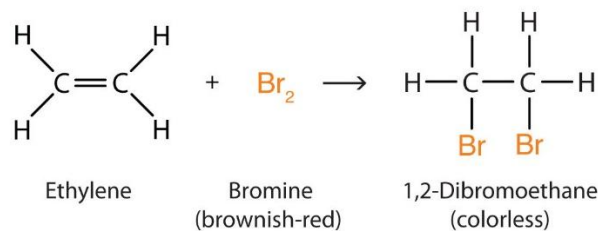
ปฏิกิริยาของแอลคีนส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับพันธะโอสีฟีนิก คือปฏิกิริยาการเติมอิเล็กโทรไฟล์ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ และอื่น ๆ

### 2.1) ปฏิกิริยาการเติม

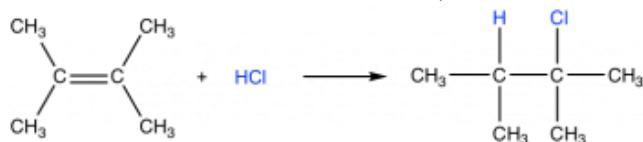
2.1.1) ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน คือปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนให้กับแอลคีนจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาและอยู่ภายใต้บรรยากาศของแก๊สออกซิเจน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพจะเป็นพวกผงโลหะ เช่น แพลทินัม (Pt) แพลเลเดียม (Pd) หรือนิกเกิลซับบนถ่านไม้เพื่อทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาและใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 250-300°C



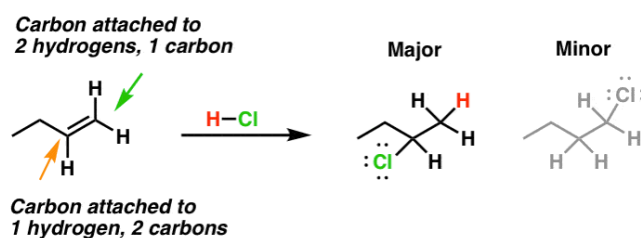
2.1.2) ปฏิกิริยาการเติมแฮโลเจน แอลคีนจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับแฮโลเจนในตัวทำละลายที่เฉื่อย เช่น CS<sub>2</sub>, CCl<sub>4</sub> และอื่น ๆ ได้ผลผลิตเป็น vicinal dihalides ที่อุณหภูมิห้อง



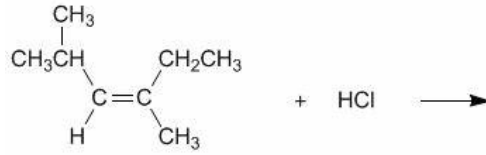
2.1.3) ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนแฮไลด์ เป็นปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนแฮไลด์ของแอลคีนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วให้ผลผลิตเป็นแอลคิลแฮไลด์ (alkyl halides)



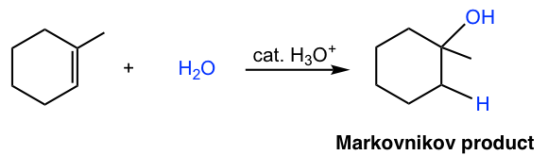
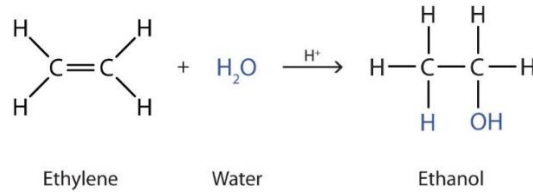
ปฏิกิริยาการเติมนี้เป็นชนิดการเติมอิเล็กโทรไฟล์ โดยกลไกเกิดผ่านกระบวนการเกิดคาร์บอนเนียมไอออนที่เสถียร (carbonium ion) และการเติม HX ให้กับแอลคีนไม่สมมาตร (R-CH=CH<sub>2</sub>) เป็นไปตามกฎของกฎของมาร์คอฟนิคอฟ (Markownikoff's rule) ซึ่งกล่าวว่า “ส่วนที่เป็นลบจะถูกเติมที่อะตอมคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนน้อยกว่า”



ตัวอย่างที่ 4.1 จงทำนายผลิตภัณฑ์หลัก

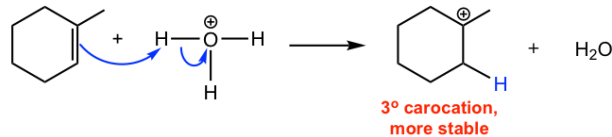


2.1.4) ปฏิกิริยาการเติมน้ำ (hydration) เป็นปฏิกิริยาที่แอลคีนทำปฏิกิริยากับ  $\text{H}_2\text{O}$  ในกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  จะได้เป็นแอลกอฮอล์ โดยในตอนแรกแอลคีนจะรวมตัวกับ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ได้เป็น alkyl hydrogen sulfate ซึ่งทำปฏิกิริยาต่อกับน้ำ ได้เป็นแอลกอฮอล์

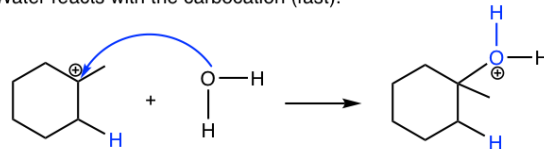


**Mechanism**

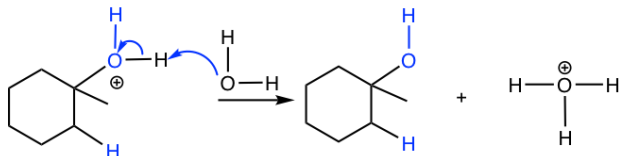
**Step 1:** Electrophilic attack of  $\text{H}_3\text{O}^+$  to the alkene, carbocation intermediate formed (slow).



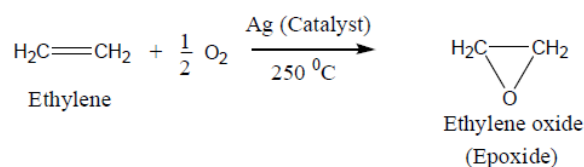
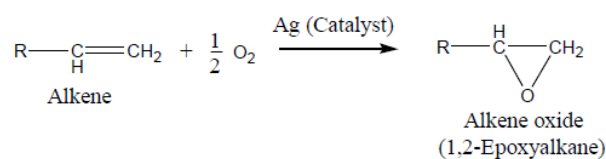
**Step 2:** Water reacts with the carbocation (fast).



**Step 3:** Deprotonation to get neutral product (fast).

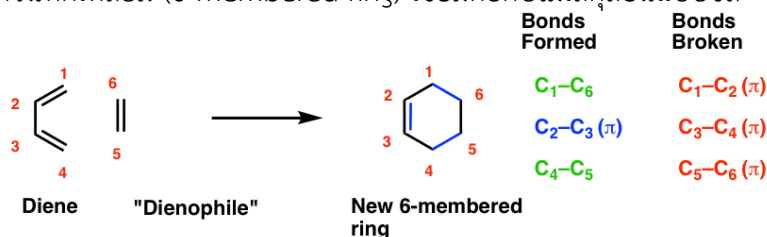


2.1.5) การเติมออกซิเจน (oxygenation) แอลคีนโมเลกุลเล็ก เมื่อทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจนในสภาวะที่มีตัวเร่ง จะได้ผลผลิตเป็นอีพอกไซด์ (epoxides หรือ oxiranes)

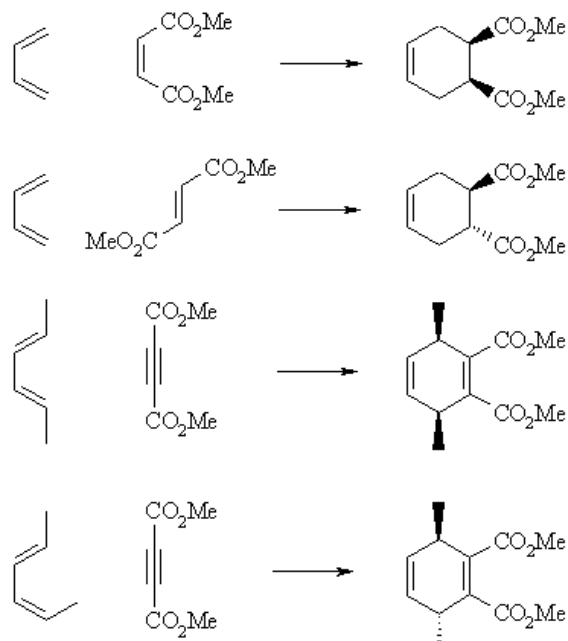


2.1.6) ปฏิกิริยาการเติมแบบเป็นวง (cycloaddition reaction) กลไกการเติมแบบเป็นวงเกิดขึ้นน้อยกว่าการเพิ่มแบบไอออนหรือแบบอนุมูลอิสระ ซึ่งกลไกของปฏิกิริยานี้เกิดผ่านสถานะทรานซิชันแบบวง (cyclic transition state) จึงเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาการเติมแบบเป็นวง

ปฏิกิริยา Diels-Alder เป็นปฏิกิริยาการเติมเป็นวงและเป็นปฏิกิริยาที่เป็นประโยชน์ในการสังเคราะห์วงแหวนหกเหลี่ยม (6-membered ring) เชื่อมต่อกับโมเลกุลอื่นแบบซิส



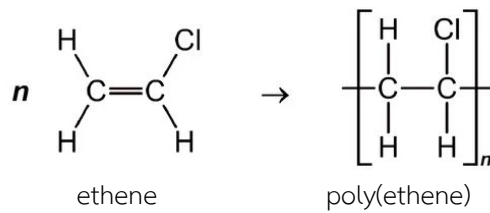
ตัวอย่างที่ 4.2 ปฏิกิริยา Diels-Alder



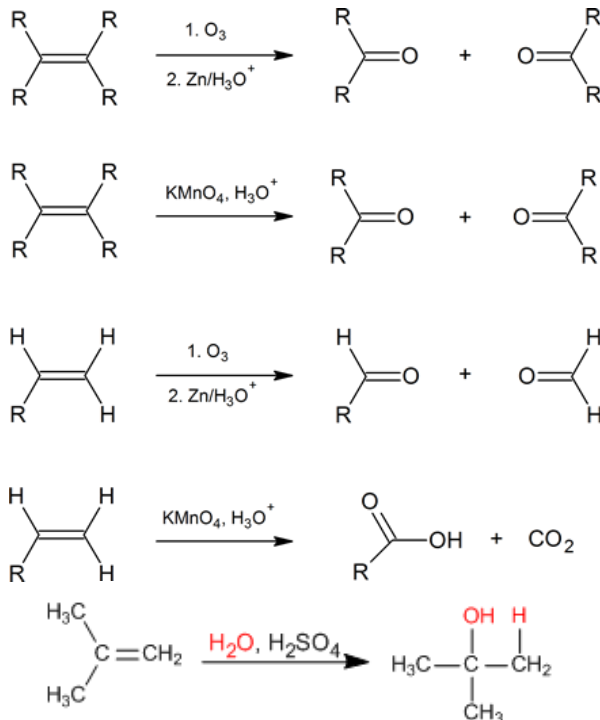
### 2.2) ปฏิกริยาการเกิดพอลิเมอร์

ปฏิกริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization reaction) เป็นปฏิกริยารวมตัวอีกแบบหนึ่งเกิดจากแอลคีนโมเลกุลเล็ก ๆ หลาย ๆ โมเลกุลเกิดปฏิกริยารวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ ปฏิกริยาการเกิดพอลิเมอร์จะเกิดขึ้นเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกริยาความดันและความร้อนจะเกิดตรงบริเวณพันธะคู่ เนื่องจากส่วนนี้มีพลังงานสูงจึงว่องไวในการเกิดปฏิกริยากว่าส่วนอื่น ๆ

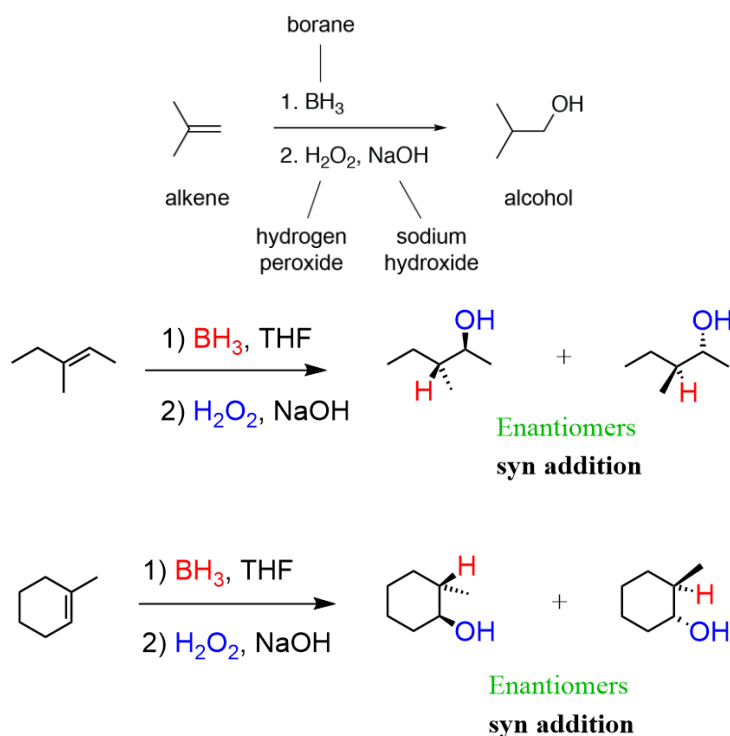
แอลคีนโมเลกุลเล็ก ๆ ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นเรียกว่ามอนอเมอร์ (monomer) เช่น  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  หรือ  $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$  เป็นต้น โมเลกุลใหญ่ที่เกิดขึ้นเรียกว่า พอลิเมอร์ (polymer) ซึ่งมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันตามชนิดของมอนอเมอร์ เช่น ถ้าใช้เอทิลีนเป็นมอนอเมอร์ จะเรียกว่า พอลิเอทิลีน ถ้าใช้โพรพิลีนเป็นมอนอเมอร์ จะเรียกว่า พอลิโพรพิลีน เป็นต้น



2.3) ปฏิกริยาออกซิเดชันของแอลคีน (oxidation) แอลคีนถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็ว ด้วยตัวออกซิไดส์หลายชนิด ผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติ ความแรงของตัวออกซิไดส์และสภาวะที่ใช้ทำปฏิกริยา ตัวออกซิไดส์ที่ไม่รุนแรง โดยใช้สภาวะที่เย็นสารละลายที่เจือจางของ  $\text{KMnO}_4$  (Baeyer's reagent) แอลคีนจะถูกเติมหมู่ไฮดรอกซีในด้านเดียวกัน (cis-hydroxylated) ได้ผลผลิตเป็นสารประกอบไดไฮดรอกซี หรือที่เรียกว่า ไกลคอล (glycol)



ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) และโบเรน ( $\text{BH}_3$ ) เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮโดรโบเรชัน (hydroboration reaction) เกิดเป็นแอลกอฮอล์ที่ตำแหน่งหมู่แอลคิลที่มีอะตอม H น้อยกว่า



### 3) แอลไคน์

ปฏิกิริยาของแอลไคน์ เหมือนกับแอลคีน

ตัวเข้าทำปฏิกิริยาประเภทนิวคลีโอไฟล์ คือพวกที่โมเลกุลมีตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง เนื่องจาก มีคู่อิเล็กตรอนที่ไม่ได้ใช้ร่วม พันธะที่มีขั้วแบบ  $\delta^-$  มีพ้อยอิเล็กตรอน ( $\pi$ ) ของ  $\text{C}=\text{C}$  เรียกตัวเข้าทำปฏิกิริยานี้ว่า นิวคลีโอไฟล์ หรือตัวให้อิเล็กตรอน แบ่งชนิดเป็นนิวคลีโอไฟล์ที่มีประจุ เช่น  $-\text{OH}$ ,  $-\text{OR}$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $-\text{N}_3^-$ ,  $-\text{CN}$ ,  $\text{HC}\equiv\text{C}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{RS}^-$  และนิวคลีโอไฟล์ที่ไม่มีประจุ เช่น  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{R-NH}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{R-SH}$  ตัวเข้าทำปฏิกิริยาประเภทอิเล็กโทรฟิลิก คือพวกที่โมเลกุลมีตำแหน่งขาดอิเล็กตรอน เนื่องจาก มีตำแหน่งที่รับคู่อิเล็กตรอนได้มากพันธะที่มีขั้วแบบ  $\delta^+$  เรียกตัวเข้าทำปฏิกิริยานี้ว่า อิเล็กโทรฟิลหรือตัวรับอิเล็กตรอน

ปฏิกิริยาของสารอินทรีย์มีหลายประเภท ปฏิกิริยาการแทนที่เป็นปฏิกิริยาที่อะตอมหรือหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลหนึ่งถูกแทนที่โดยอะตอมหรือหมู่ฟังก์ชันอื่นที่ต่างออกไป ปฏิกิริยาการเติมเป็นปฏิกิริยาที่สารสองโมเลกุลทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น สารที่เข้าทำปฏิกิริยาตัวใดตัวหนึ่งต้องเป็นสารไม่อิ่มตัว (มีพันธะคู่ หรือ พันธะสาม) ปฏิกิริยาการกำจัดเป็นปฏิกิริยาที่มีการกำจัดโมเลกุลเล็ก ๆ ออกจากโมเลกุลสารตั้งต้น โดยอะตอมหรือโมเลกุลที่หลุดออกต้องอยู่ที่คาร์บอนที่ติดกัน และปฏิกิริยาการจัดเรียงตัวใหม่ เป็นปฏิกิริยาที่เกิดเนื่องจากการจัดเรียงตัวใหม่ของสารตั้งต้นโดยมีการถ่ายโอน (transfer) หมู่เล็ก ๆ ภายในโมเลกุล

### วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

### สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

### กิจกรรมที่มอบหมาย

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 5.1
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

### การวัดผล

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

### แบบฝึกหัด

1. แบบฝึกหัด 5.1

### เอกสารอ้างอิง

- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online ed.).  
<https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

# หน่วยที่ 5

## ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์

### บทเรียนที่ 5.2 ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ขั้นสูง

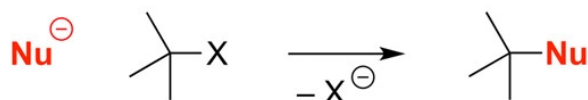
#### จุดประสงค์เฉพาะ

1. อธิบายกลไกปฏิกิริยาการแทนที่
2. อธิบายกลไกปฏิกิริยาการเติม
3. อธิบายกลไกปฏิกิริยาการกำจัด

#### 5.2.1 กลไกปฏิกิริยาการแทนที่

##### 1) ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์

เป็นปฏิกิริยาการแทนที่ที่มีนิวคลีโอไฟล์ทำหน้าที่เข้าเกาะกับสารตั้งต้น

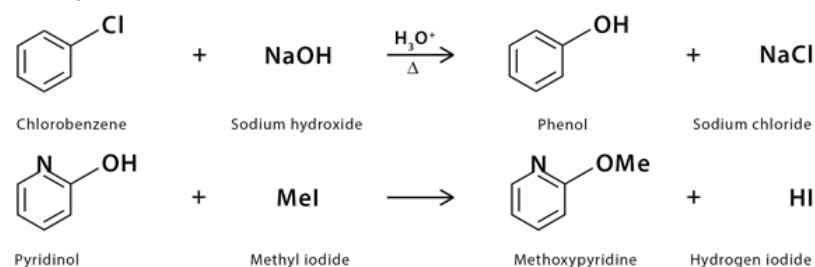


เราสามารถจำแนกปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ ตามชนิดของสารตั้งต้น คือ ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ในสารแอลิฟาติก และปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ในสารแอโรแมติก ดังตัวอย่างปฏิกิริยา

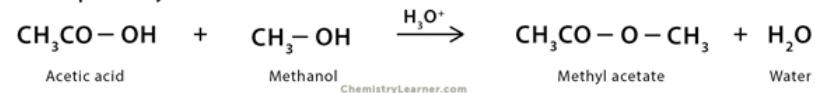
#### Nucleophilic Aliphatic Substitution



#### Nucleophilic Aromatic Substitution



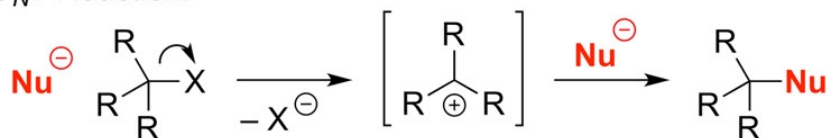
#### Nucleophilic Acyl Substitution



ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวเกิดขึ้นได้สองแบบ คือ SN1 และ SN2

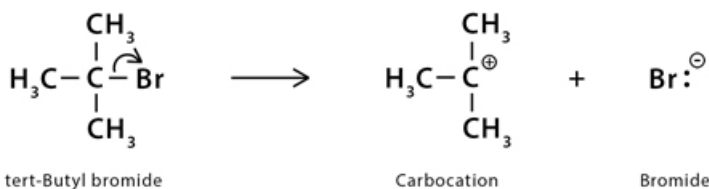
1.1) SN1 (Substitution Nucleophilic Unimolecular) กลไกจะเกิดปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน ขั้นแรกเป็นการแตกตัวของสารตั้งต้น เป็นขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ขั้นที่สองเป็นการทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ระหว่างคาร์โบแคตไอออนซึ่งเป็นสารมัธยันต์กับนิวคลีโอไฟล์

*S<sub>N</sub>1 Reaction:*

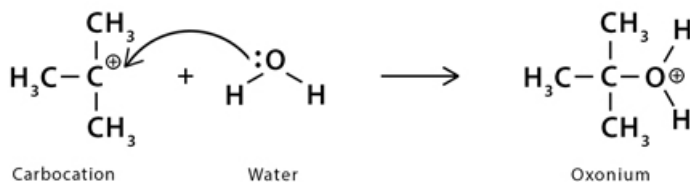


ภาพที่ 5.9 กลไกปฏิกิริยาการแทนที่แบบ SN1

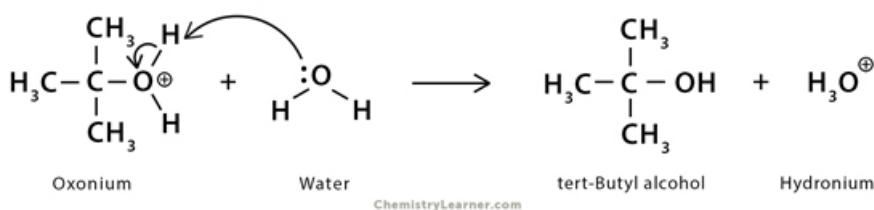
**Step 1: Formation of a tert-butyl carbocation by separation of a bromide anion from the carbon atom of tert-butyl bromide.**



**Step 2: Nucleophilic attack of the carbocation by a water molecule, resulting in an oxonium ion intermediate.**



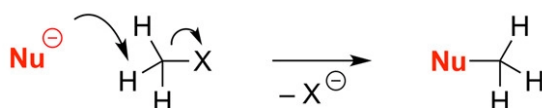
**Step 3: Deprotonation of the protonated nucleophile by a second water molecule, which acts as a base, resulting in an alcohol and a hydronium ion.**



ภาพที่ 5.10 ขั้นตอนปฏิกิริยาการแทนที่แบบ SN1

1.2) SN2 (Substitution Nucleophilic Bimolecular) กลไกจะเกิดปฏิกิริยา 1 ขั้นตอน ไม่เกิดสารมัธยันต์

*S<sub>N</sub>2 Reaction:*



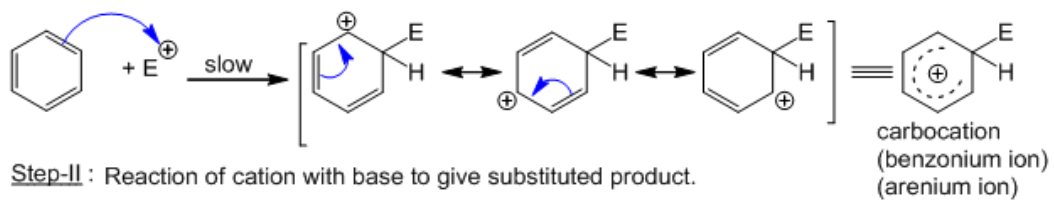
ภาพที่ 5.11 กลไกปฏิกิริยาการแทนที่แบบ SN2

## 2) ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์

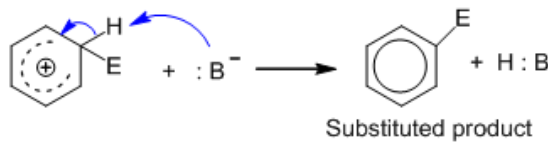
ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์ จำแนกตามชนิดของสารตั้งต้นได้สองแบบคือ การแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์ในสารประกอบแอลิฟาติก และการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์ในสารประกอบแอโรแมติก

การแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์ในสารประกอบแอโรแมติก คือปฏิกิริยาที่อิเล็กโตรไฟล์เข้าแทนที่อะตอมไฮโดรเจนที่เกาะกับวงเบนซีน กลไกปฏิกิริยามีสองขั้นตอน ขั้นแรก อิเล็กโตรไฟล์เข้าเกาะกับวงเบนซีน กลายเป็นคาร์โบแคตไอออน ซึ่งเรียกว่า แอรินเนียมไอออน (arenium ion) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ขั้นที่สองเป็นขั้นที่โปรตอนหลุดออกไปทำให้ได้วงเบนซีนกลับคืนมา

**Step-I :** Reaction of electrophile with benzene to give intermediate cation.

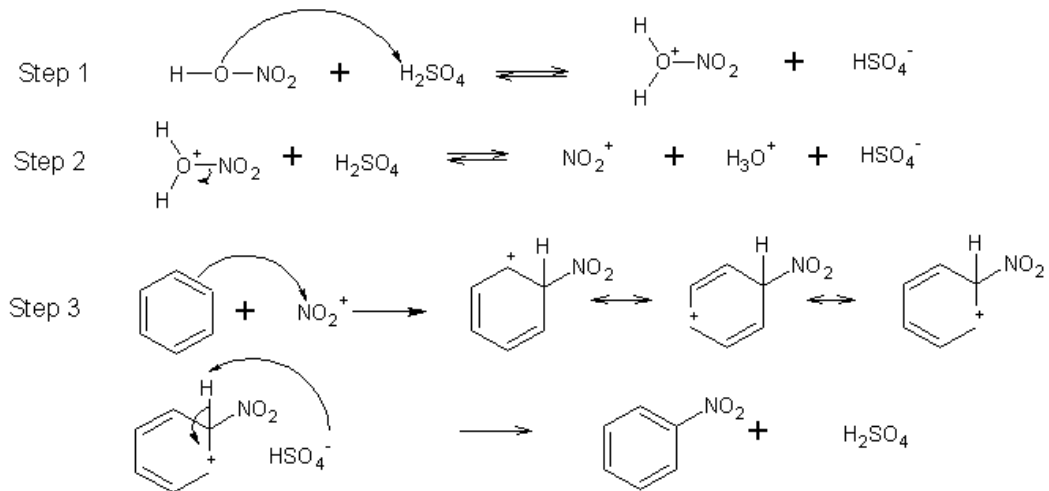


**Step-II :** Reaction of cation with base to give substituted product.



ภาพที่ 5.12 กลไกปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์

ตัวอย่างกลไกการแทนที่ด้วย  $\text{NO}_2$

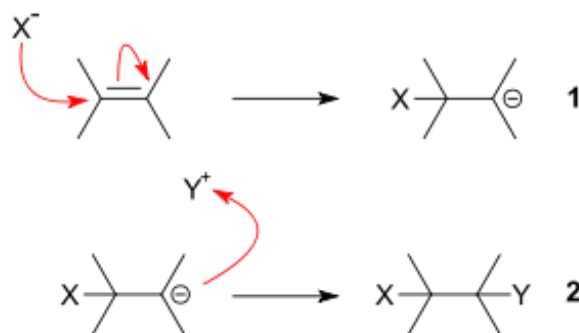


### 5.2.2 กลไกปฏิกิริยาการเติม

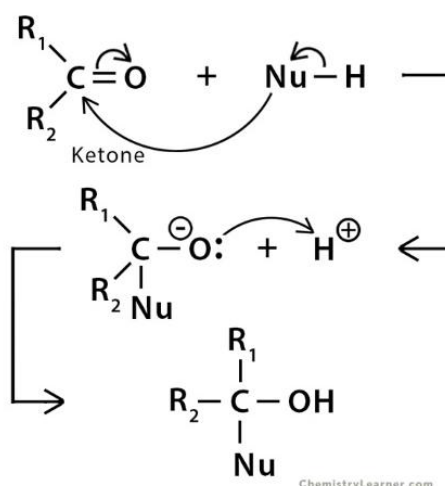
#### 1) ปฏิกิริยาการเติมด้วยนิวคลีโอไฟล์

ในขั้นแรกนิวคลีโอไฟล์ซึ่งนำอิเล็กตรอนมาคู่หนึ่ง จะเข้าเกาะกับคาร์บอนข้างใดข้างหนึ่งของพันธะคู่หรือพันธะสามเพื่อสร้างพันธะใหม่ ทำให้อิเล็กตรอนไปรวมอยู่ที่คาร์บอนอีกข้างหนึ่งของ

พันธะคู่หรือพันธะสาม ในขั้นนี้จะให้สารมัธยันต์เป็นคาร์แบนไอออน ในขั้นที่สองคาร์แบนไอออนจะให้อนุมูลไฟฟ้าบวกมาก่อน



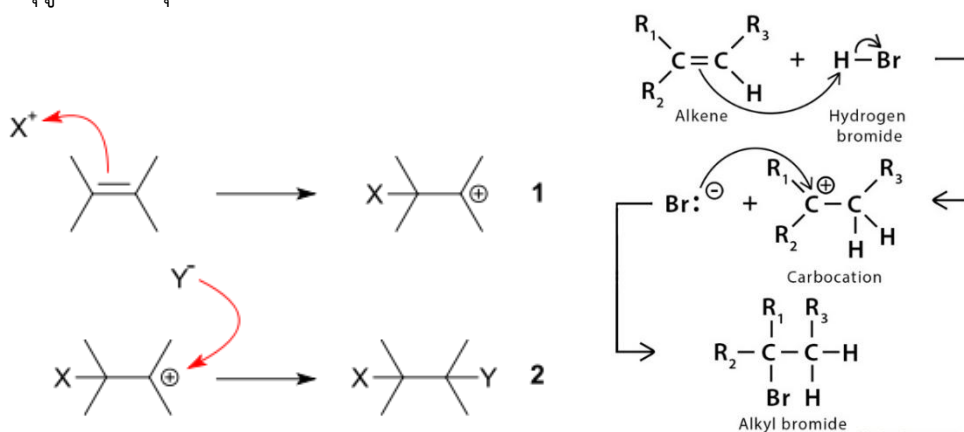
ภาพที่ 5.13 กลไกปฏิกิริยาการเติมด้วยนิวคลีโอไฟล์



ภาพที่ 5.14 กลไกปฏิกิริยาการเติมด้วยนิวคลีโอไฟล์สารกลุ่มคาร์บอนิล

## 2) ปฏิกิริยาการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์

กลไกปฏิกิริยาในขั้นแรก อนุมูลไฟฟ้าบวก จะเข้าเกาะที่พันธะคู่หรือพันธะสาม ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นพันธะไพ เป็นพันธะซิกมา เกิดเป็นคาร์โบแคตไอออน ในขั้นที่สอง อนุมูลที่มีอิเล็กตรอนคู่อิสระ หรืออนุมูลที่มีประจุไฟฟ้าลบ จะเข้าเกาะกับคาร์โบแคตไอออน

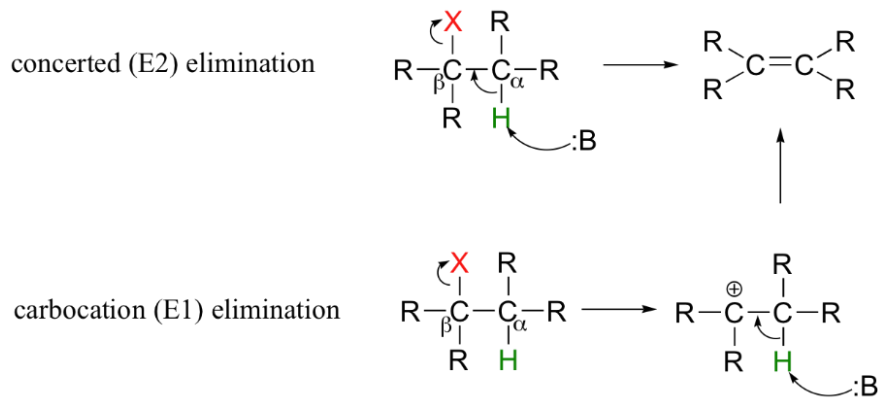


ภาพที่ 5.15 ปฏิกิริยาการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์

### 5.2.3 กลไกปฏิกิริยาการกำจัด

กลไกการกำจัดแบบ E2 เป็นการกำจัดชนิดสองโมเลกุล กล่าวคือ อะตอมหรือหมู่อะตอมทั้งสองหลุดออกไปพร้อมกัน โดยมีเบสช่วยดึงโปรตอนให้หลุดออกไป กลไกการกำจัดแบบ E2 เกิดขึ้นในขั้นตอนเดียว

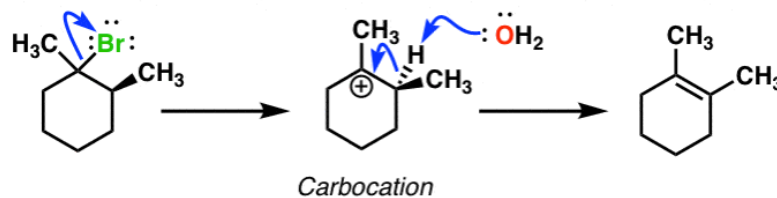
ส่วนกลไกกำจัดแบบ E1 มีสองขั้นตอน ขั้นแรกเป็นการกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งเป็นขั้นที่หมู่หลุด (leaving group) ออกไปจากสารตั้งต้น ทำให้สารตั้งต้นกลายเป็นคาร์โบแคตไอออน ขั้นที่สอง คาร์โบแคตไอออน จะให้โปรตอนแก่เบส



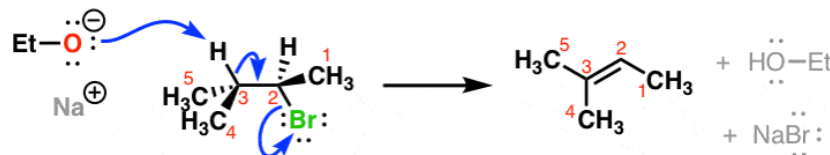
ภาพที่ 5.16 กลไกปฏิกิริยาการกำจัด

#### The E<sub>1</sub> Mechanism

Step 1: Loss of leaving group    Step 2: Deprotonation



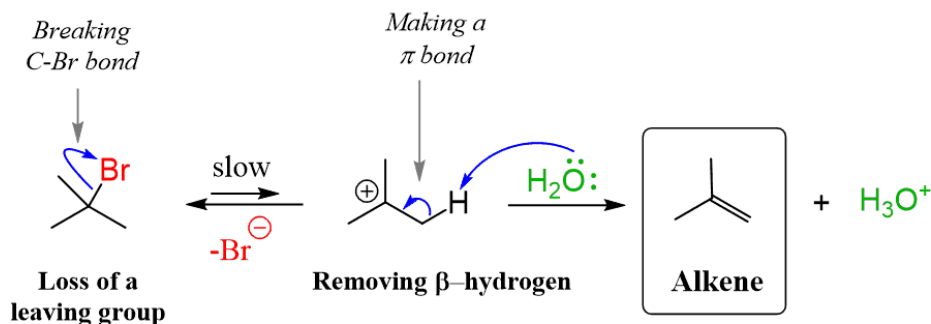
#### The E<sub>2</sub> Mechanism



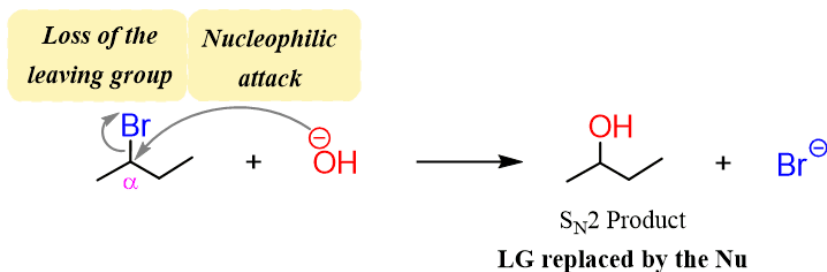
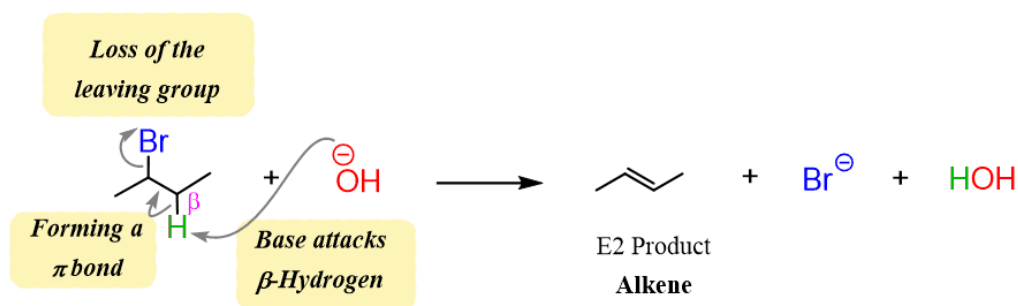
One step! Hydrogen removed must be "anti" to the leaving group (dihedral angle 180°)

ภาพที่ 5.17 ขั้นตอนกลไกปฏิกิริยาการกำจัด

**The E1 is a stepwise mechanism**



**The mechanisms of E2 Elimination and S<sub>N</sub>2 Nucleophilic Substitution Reactions**



ภาพที่ 5.18 กลไกปฏิกิริยาการจัดแบบ E2 และกลไกปฏิกิริยาการแทนที่แบบ S<sub>N</sub>2

ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวเกิดขึ้นได้สองแบบ คือ S<sub>N</sub>1 และ S<sub>N</sub>2 กลไกจะเกิดปฏิกิริยา S<sub>N</sub>1 เกิดสองขั้นตอน ขั้นแรกเป็นการแตกตัวของสารตั้งต้น ขั้นที่สองเป็นการทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ระหว่างคาร์โบแคตไอออนซึ่งเป็นสารมัธยันต์กับนิวคลีโอไฟล์ ส่วนกลไก S<sub>N</sub>2 จะเกิดปฏิกิริยา 1 ขั้นตอน ไม่เกิดสารมัธยันต์

ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์ จำแนกตามชนิดของสารตั้งต้นได้สองแบบคือ การแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์ในสารประกอบแอลิฟาติก และการแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์ในสารประกอบแอโรแมติก

### วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

### สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

### กิจกรรมที่มอบหมาย

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 5.2
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

### การวัดผล

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

### แบบฝึกหัด

1. แบบฝึกหัด 5.2

### เอกสารอ้างอิง

- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online).  
<https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Crystallographic Defects*. (n.d.). <https://www.tec-science.com/material-science/structure-of-metals/crystallographic-defects/>
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

## หน่วยที่ 6 แอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน

### บทเรียนที่ 6.1 แอลกอฮอล์ ฟีนอลและอีเทอร์

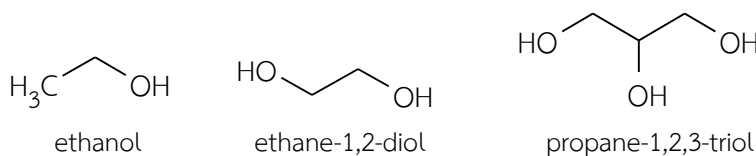
#### จุดประสงค์เฉพาะ

1. อธิบายแอลกอฮอล์
2. อธิบายอีเทอร์
3. อธิบายฟีนอล

#### 6.1.1 แอลกอฮอล์

##### 1) โครงสร้างและชนิดของแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์ เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หนึ่งหมู่หรือมากกว่าอยู่ในโมเลกุลแอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน โดยแอลกอฮอล์หมู่ไฮดรอกซิลต่ออยู่กับหมู่แอลคิล มีสูตรทั่วไปเป็น R-OH เมื่อ R คือหมู่แอลคิล ภายในโมเลกุลของแอลกอฮอล์อาจเป็นเส้นตรงหรือวงแหวน หรืออาจมีพันธะคู่ก็ได้ ดังนั้นสารในกลุ่มนี้จึงสามารถแบ่งออกเป็น โมโนไฮดริกแอลกอฮอล์ (mono-) ไดไฮดริกแอลกอฮอล์ (di-) และไตรไฮดริกแอลกอฮอล์ (tri-) ขึ้นอยู่กับหมู่ของ -OH ที่เกาะอยู่ในโมเลกุลเป็น 1, 2 และ 3 หมู่ ตามลำดับ



แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ -OH ตั้งแต่ 4 ขึ้นไปจะเรียกว่าพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohols) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงที่หมู่แอลคิลจะมีผลต่อปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์และในบางครั้งอาจมีผลต่อชนิดของปฏิกิริยาอีกด้วยแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ -OH มากกว่าหนึ่งหมู่เกาะอยู่ที่คาร์บอนอะตอมเดียวกัน โมเลกุลจะไม่เสถียรภาพและจะสูญเสียน้ำเพื่อเปลี่ยนเป็นแอลดีไฮด์หรือคีโตนที่มีเสถียรภาพมากขึ้น

โครงสร้างของแอลกอฮอล์มาจากโครงสร้างทางโมเลกุลของน้ำซึ่งเกิดจากหมู่แอลคิล (R-) เข้าไปแทนที่อะตอมไฮโดรเจนของน้ำ 1 อะตอม ภาพที่ 6.1 เป็นการเปรียบเทียบโครงสร้างของน้ำกับเมทิลแอลกอฮอล์ จะเห็นว่าอะตอมออกซิเจนทั้งของน้ำและแอลกอฮอล์ใช้ไฮบริดออร์บิทัล sp<sup>3</sup> แต่มุมพันธะ C-O-H ในเมทานอล (108.9°) ใหญ่กว่ามุมพันธะ H-O-H ในโมเลกุลของน้ำ (104.5°) เพราะหมู่เมทิล (-CH<sub>3</sub>) ใหญ่กว่าอะตอมไฮโดรเจน สำหรับความยาวพันธะ O-H ในโมเลกุลของน้ำเท่ากับใน

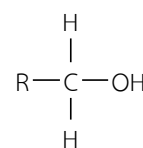
เมทานอล (0.96 Å) แต่ความยาวพันธะ C-O จะยาวกว่า (1.4 Å) ซึ่งมีผลมาจากรัศมีโคเวเลนต์ของอะตอมคาร์บอนที่มีมากกว่าอะตอมไฮโดรเจน



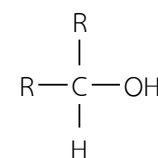
ภาพที่ 6.1 โครงสร้างของน้ำและเมทานอล

โมโนไฮดริคแอลกอฮอล์สามารถแบ่งย่อยได้อีกเป็น 3 ชนิด คือ แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ (primary alcohol) แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ (secondary alcohol) และแอลกอฮอล์ตติยภูมิ (tertiary alcohol)

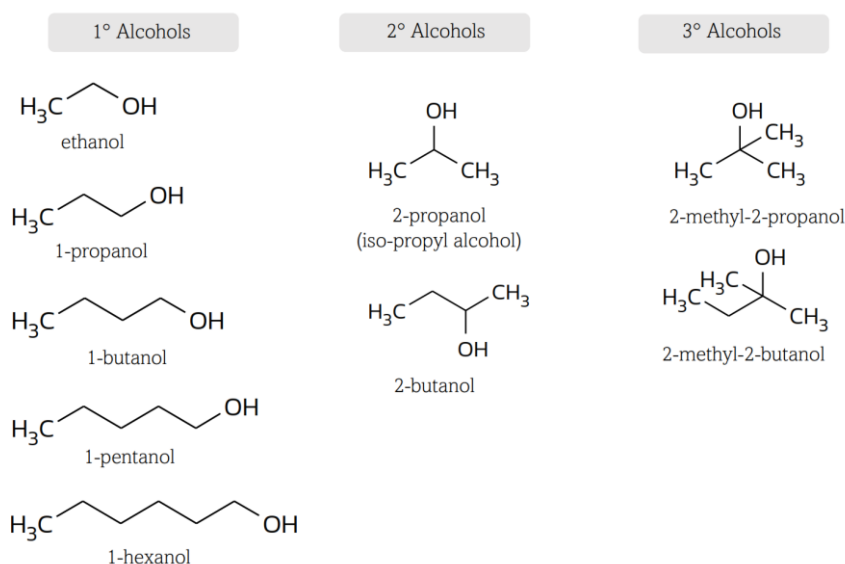
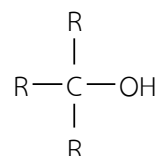
1) แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ ( $1^\circ$ ) เป็นแอลกอฮอล์ที่มีหมู่  $-OH$  เกิดพันธะกับอะตอมคาร์บอนปฐมภูมิ ซึ่งเป็นอะตอมคาร์บอนที่เกิดพันธะกับคาร์บอนข้างเคียง 1 พันธะ



2) แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ ( $2^\circ$ ) เป็นแอลกอฮอล์ที่มีหมู่  $-OH$  เกิดพันธะกับอะตอมคาร์บอนทุติยภูมิ ซึ่งเป็นอะตอมคาร์บอนที่เกิดพันธะกับคาร์บอนข้างเคียง 2 พันธะ

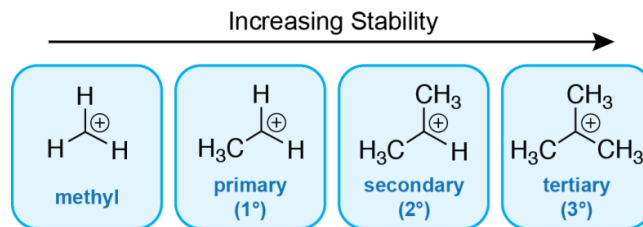


3) แอลกอฮอล์ตติยภูมิ ( $3^\circ$ ) เป็นแอลกอฮอล์ที่มีหมู่  $-OH$  เกิดพันธะกับอะตอมคาร์บอนตติยภูมิ ซึ่งเป็นอะตอมคาร์บอนที่เกิดพันธะกับคาร์บอนข้างเคียง 3 พันธะ



ภาพที่ 6.2 โมโนไฮดริคแอลกอฮอล์

ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับไฮโดรเจนของหมู่  $-OH$  ซึ่งส่งผลให้แอลกอฮอล์แต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยปกติแล้วแอลกอฮอล์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่อัตราหรือกลไกการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งเกี่ยวกับสมบัติทางโครงสร้างของแอลกอฮอล์เหล่านั้น แต่การมีหมู่แทนที่ที่แตกต่างกันส่งผลให้แอลกอฮอล์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันได้ ความเสถียรของแอลกอฮอล์เรียงลำดับจากไปน้อย คือ  $3^\circ > 2^\circ > 1^\circ$  ดังภาพที่ 6.3



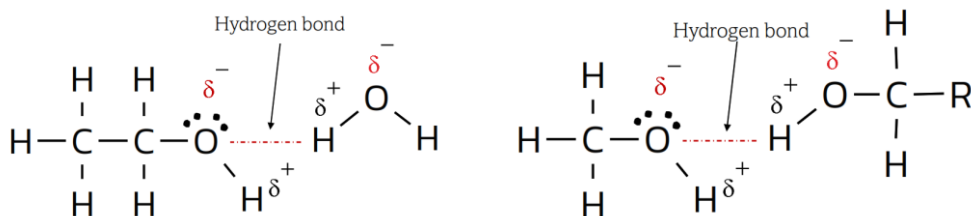
ภาพที่ 6.3 ความเสถียรของแอลกอฮอล์

## 2) สมบัติของแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์ส่วนใหญ่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีสมบัติแตกต่างจากแอลเคนและแอลคีนที่มีมวลโมเลกุลหรือความยาวของโซ่เท่ากัน เมทานอลและเอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่ระเหยง่าย มีกลิ่นฉุน แอลกอฮอล์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีโครงสร้างเป็นกิ่ง บางชนิดมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง สมบัติทางกายภาพของแอลกอฮอล์จะมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของแอลเคนและน้ำ

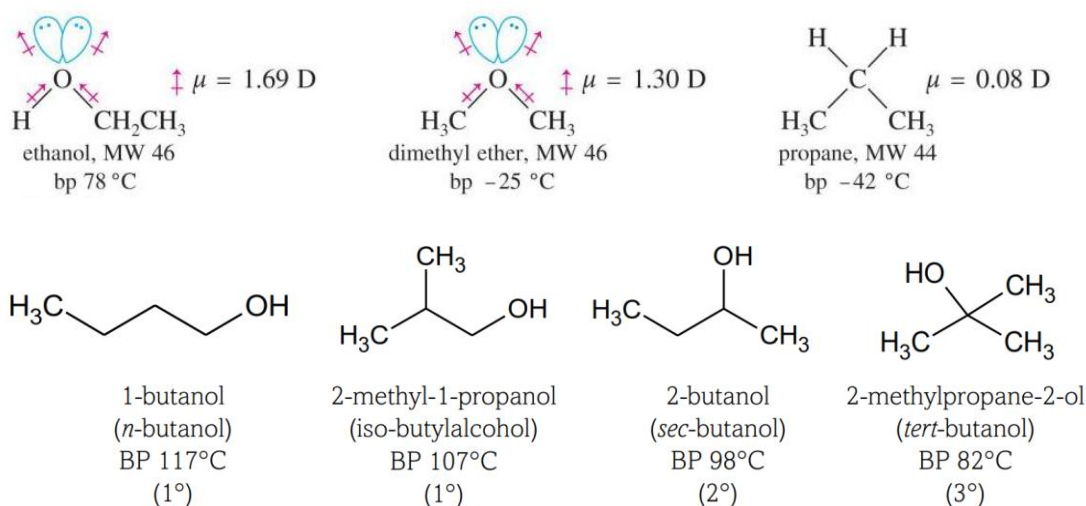
R-H	H-OH	R-OH
alkane	water	alcohol

โดยแอลกอฮอล์มีหมู่แอลคิล (R) คล้ายแอลเคน และมีหมู่  $-OH$  คล้ายกับน้ำ โดยหมู่  $-OH$  จะเป็นตัวแสดงสมบัติของแอลกอฮอล์ ส่วนหมู่แอลคิลจะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างที่จะส่งผลต่อสมบัติของแอลกอฮอล์ ซึ่งหมู่  $-OH$  จะมีขั้วและมีความสำคัญที่สุด โดยมีไฮโดรเจนที่เกิดพันธะกับออกซิเจนซึ่งเป็นธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ส่งผลให้หมู่  $-OH$  ของแอลกอฮอล์เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุลของแอลกอฮอล์ด้วยกันเองหรือกับโมเลกุลที่ประกอบด้วยธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงอื่น ๆ ทั้งโมเลกุลที่เป็นกลาง และไอออนลบ ดังนี้



1. จุดเดือด ปัจจัยที่ส่งผลต่อจุดเดือดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั้งหลายคือ มวลโมเลกุลและรูปร่างของโมเลกุล นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์อีกด้วย สำหรับน้ำและแอลกอฮอล์จะมีจุดเดือดสูง เพราะน้ำและแอลกอฮอล์มีแรงยึดเหนี่ยว

ระหว่างโมเลกุลสูงเนื่องจากเกิดพันธะไฮโดรเจน และมีแรงดึงดูดระหว่างขั้ว (dipole-dipole attraction) เพราะเอทานอลมีไดโพลโมเมนต์ (dipole moment,  $\mu$ ) สูงถึง 1.70 D ในขณะที่โพรเพนไม่มีแรงดึงดูดเหล่านี้จึงมีจุดเดือดต่ำกว่าเอทานอลมาก



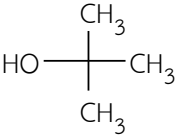
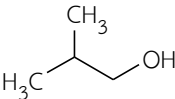
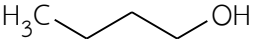
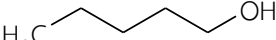
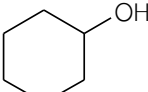
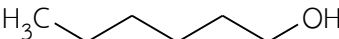
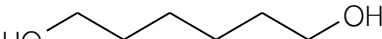
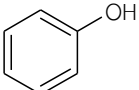
ภาพที่ 6.4 จุดเดือดของแอลกอฮอล์

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบจุดเดือดระหว่างโมเลกุลที่มีพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลที่ไม่มีพันธะไฮโดรเจน

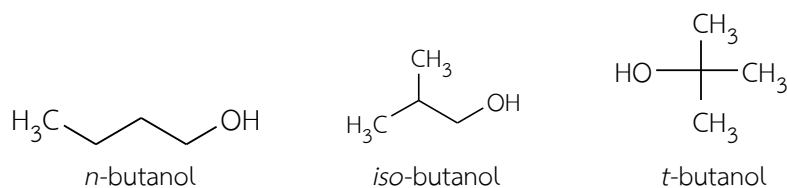
สารอินทรีย์	สูตรเคมี/โครงสร้าง	น้ำหนักโมเลกุล	จุดเดือด (°C)
มีเทน (methane)	CH <sub>4</sub>	16	-162
น้ำ (water)	H <sub>2</sub> O	18	100
เมทานอล (methanol)	CH <sub>3</sub> OH	32	65
อีเทน (ethane)	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	30	-89
อีทีน (ethene)	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	28	-102
เอทานอล (ethanol)	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	46	78
โพรเพน (propane)	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	44	-42
โพรพีน (propene)	CH <sub>2</sub> =CHCH <sub>3</sub>	42	-48
โพรพานอล (n-propanol)	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	60	97.2

2. การละลาย น้ำและแอลกอฮอล์มีสมบัติคล้ายคลึงกันมาก เพราะต่างก็มีหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ ถ้าเป็นแอลกอฮอล์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำก็จะละลายน้ำได้ดี ถ้ามีมวลโมเลกุลสูงขึ้นการละลายจะลดลง การละลายน้ำของแอลกอฮอล์บางชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ค่าการละลาย น้ำและแอลกอฮอล์ที่ 25°C

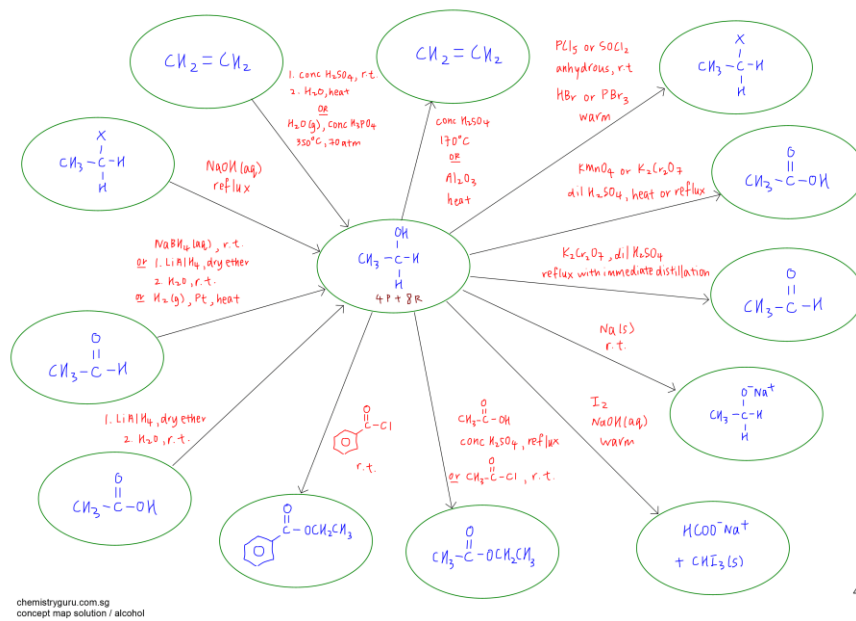
แอลกอฮอล์	โครงสร้าง	ค่าการละลาย (g/100 g ของน้ำ)
methanol	CH <sub>3</sub> OH	ละลาย
ethanol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	ละลาย
<i>n</i> -propanol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	ละลาย
<i>t</i> -butanol		ละลาย
<i>iso</i> -butanol		10.0
<i>n</i> -butanol		9.1
<i>n</i> -pentanol		2.7
cyclohexanol		3.6
<i>n</i> -hexanol		0.6
hexan-1,6-diol		ละลาย
phenol		9.3

จากตารางที่ 6.2 ซึ่งแสดงค่าการละลายน้ำของแอลกอฮอล์บางชนิดนั้น จะเห็นว่าการละลายลดลง เมื่อหมู่แอลคิลมีขนาดใหญ่ขึ้น หมู่แอลคิลที่มีคาร์บอน 1, 2 หรือ 3 อะตอมละลายน้ำได้ดี แต่หมู่แอลคิลที่มีคาร์บอน 4 อะตอมขึ้นไป สมบัติละลายได้เล็กน้อย เช่น *n*-butanol และ *iso*-butanol แต่ *t*-butanol ละลายได้ดีเพราะโมเลกุลมีรูปร่างกลม



### 3) ปฏิกริยาการเตรียมแอลกอฮอล์

ปฏิกริยาการเตรียมแอลกอฮอล์สรุปเป็นแผนผังได้ดังภาพที่ 6.5

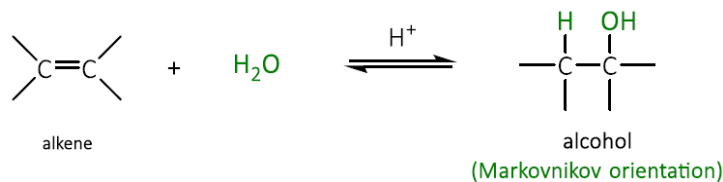


ภาพที่ 6.5 แผนผังปฏิกิริยาการเตรียมแอลกอฮอล์

(<https://chemistryguru.com.sg/alcohol-reactions-organic-chemistry>)

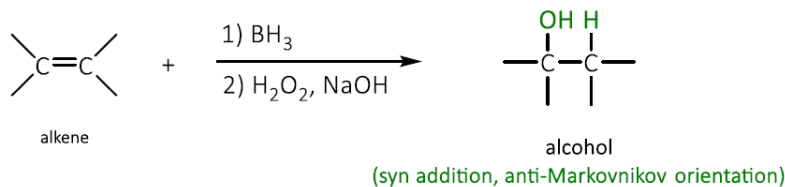
### 3.1) ปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid-catalyzed hydration)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันเป็นการเติมน้ำ (H<sub>2</sub>O) เข้าไปที่พันธะคู่ของแอลคีนโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้สารผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นผลิตภัณฑ์ของ Markovnikov



### 3.2) ปฏิกิริยาไฮโดรโบเรชัน-ออกซิเดชัน (Hydroboration-Oxidation)

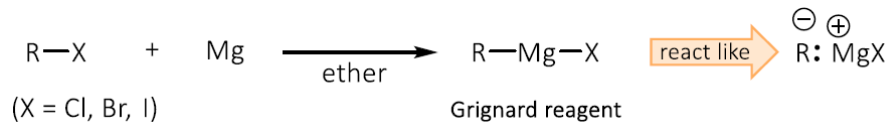
ปฏิกิริยาไฮโดรโบเรชัน-ออกซิเดชัน เป็นการเติมน้ำเข้าไปที่พันธะ-π ของแอลคีนได้สารผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นแบบ anti-Markovnikov



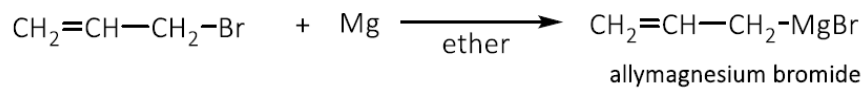
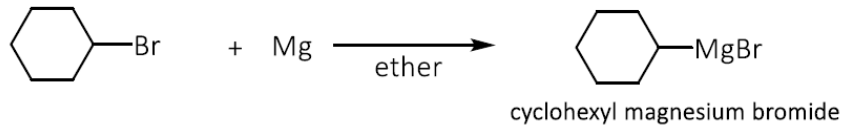
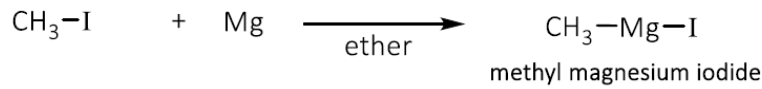
### 3.3) การเตรียมแอลกอฮอล์โดยใช้กริญูรารีเอเจนต์ (Grignard Reagent)

กริญูรารีเอเจนต์ถูกเตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างอัลคิลเฮไลด์และโลหะ Mg ในตัวทำละลายอีเทอร์ และต้องเตรียมภายใต้สภาวะที่ปราศจากน้ำ

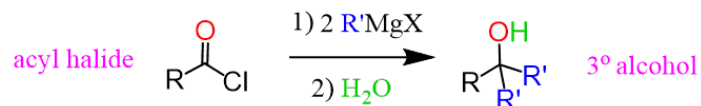
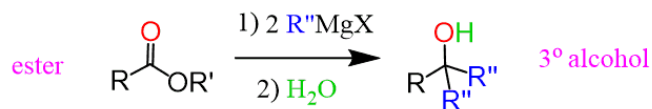
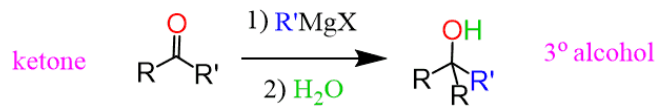
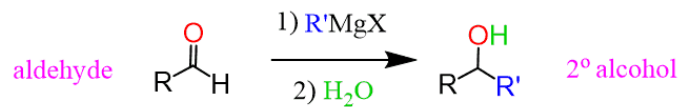
ปฏิกิริยาการเตรียมกริญูรารีเอเจนต์



ตัวอย่างปฏิกิริยาการเตรียมกริญญารีเอเจนต์



ปฏิกิริยาของกริญญารีเอเจนต์กับสารประกอบอัลดีไฮด์ คีโตน และ ฟอรัมาตีไฮด์ เพราะเมื่อทำปฏิกิริยาแล้วสารผลิตภัณฑ์จะได้สารประกอบแอลกอฮอล์ต่างชนิดกัน ดังนี้

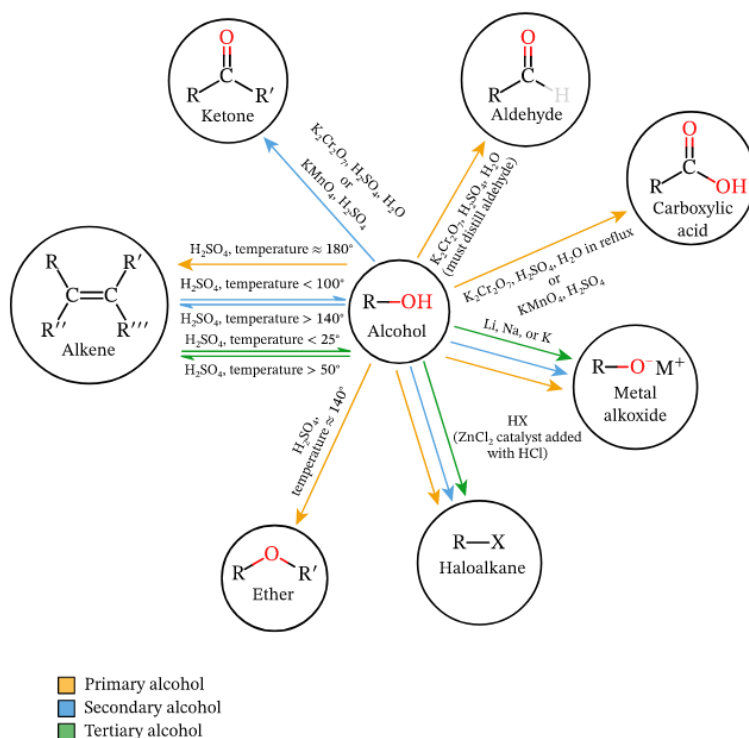


#### 4) ปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์มีหมู่ OH ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในสารประกอบอินทรีย์ โดยหมู่ OH สามารถเปลี่ยนเป็นอะตอมหรือหมู่ฟังก์ชันอื่นได้ ในหัวข้อนี้จะศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์ที่สำคัญ ๆ รวมทั้งรีเอเจนต์ที่มักใช้ในการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ตารางที่ 6.3 แสดงการสรุปชนิดของปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์

ตารางที่ 6.3 ปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์

R-OH		type of reaction	Product
R-OH	dehydration	→	alkenes
R-OH	oxidation	→	ketones, aldehydes and, carboxylic acids
R-OH	substitution	→	R-X halides
R-OH	reduction	→	R-H alkanes
R-OH	esterification	→	R-O-C(=O)-R' esters
R-OH	tosylation	→	R-OTs Tosylate ester (good leaving group)
R-OH	1) form alkoxide 2) R'-X	→	R-O-R' ether

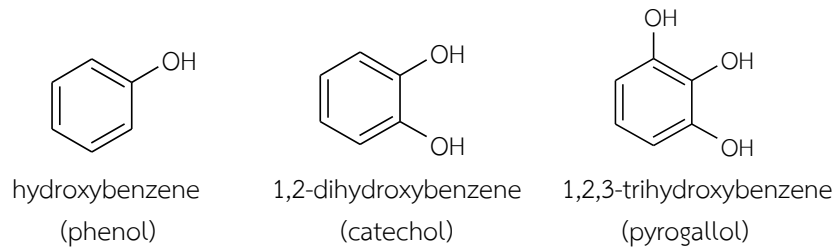


ภาพที่ 6.6 ปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์

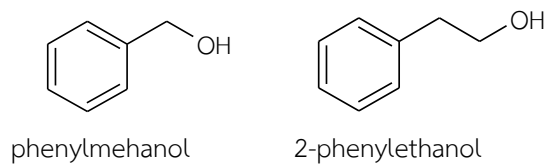
### 6.1.2 ฟีนอล

#### 1) โครงสร้างและชนิดของฟีนอล

ฟีนอล (phenol) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หนึ่งหมู่หรือมากกว่า หนึ่งหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนของวงเบนซีน มีสูตรทั่วไปเป็น Ar-OH เมื่อ Ar คือหมู่แอริล ดังนั้นสาร ในกลุ่มนี้จึงสามารถแบ่งออกเป็น โมโนไฮดริก (mono-) ไดไฮดริก (di-) และไตรไฮดริก (tri-) ตาม จำนวนหมู่ -OH ที่แทนที่อะตอม H ของวงเบนซีนเป็น 1, 2 และ 3 หมู่ ตามลำดับ

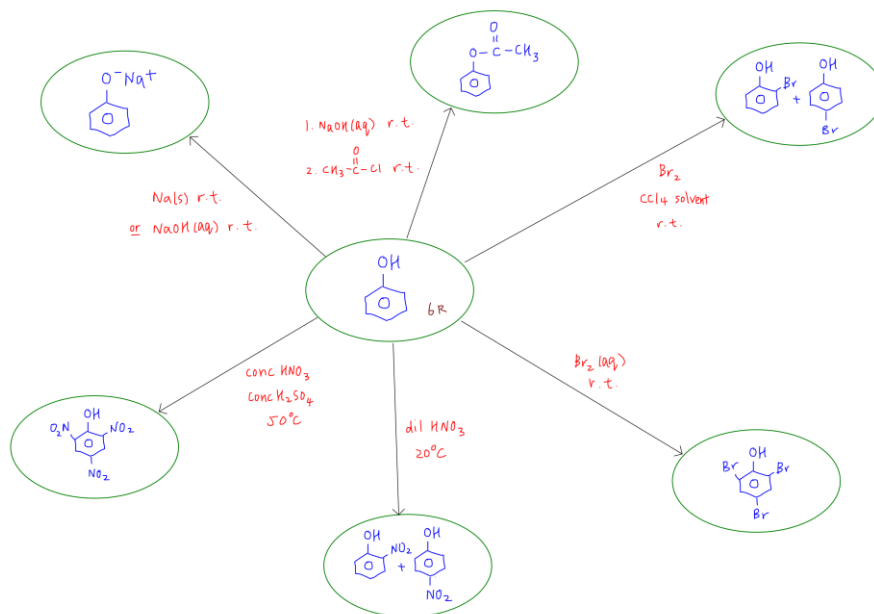


สารประกอบแอโรแมติกที่หมู่ -OH ไม่ได้แทนที่อะตอม H ของวงเบนซีน จัดว่าไม่เป็นสารประกอบฟีนอล แต่เรียกว่า แอโรแมติกแอลกอฮอล์ (aromatic alcohols)

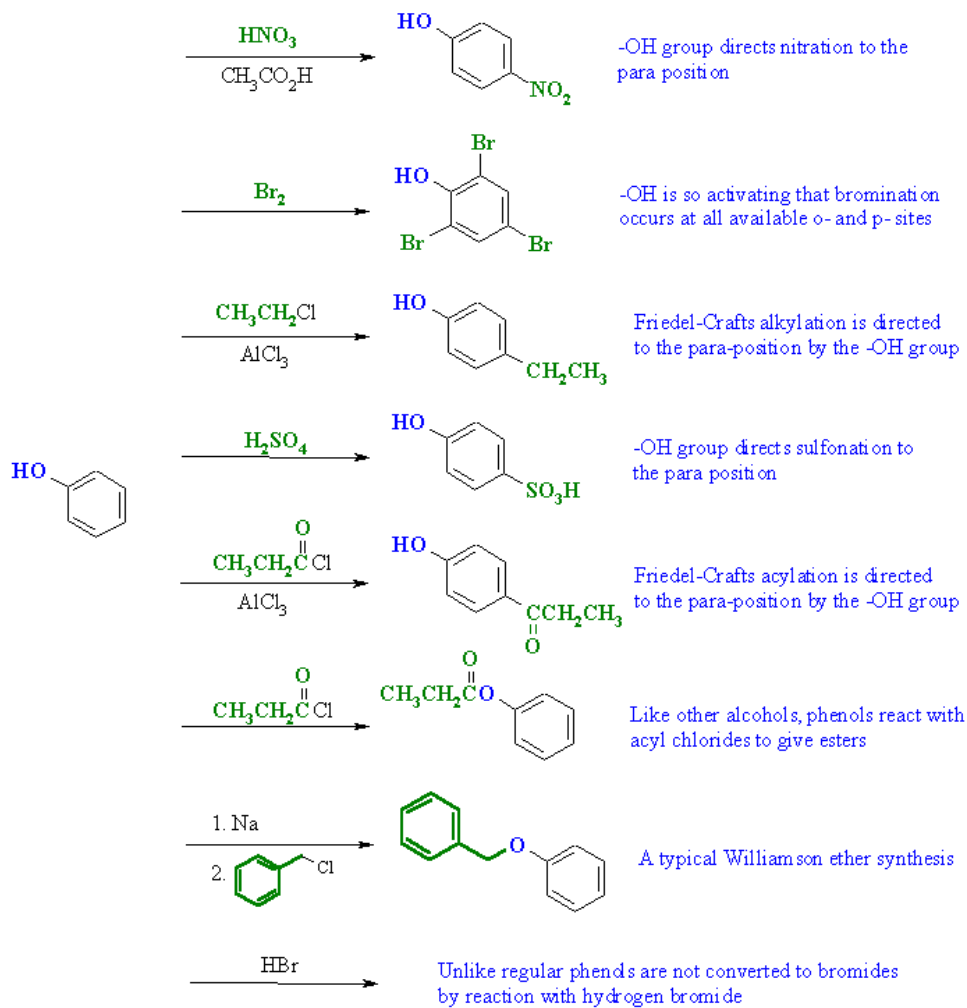


สำหรับฟีนอลละลายได้ดีกว่าแอลกอฮอล์ต่าง ๆ ที่มีคาร์บอน 6 อะตอม เพราะโมเลกุลฟีนอลเป็นวงและเกิดพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงระหว่างหมู่ -OH ของฟีนอลกับโมเลกุลของน้ำ

## 2) ปฏิกิริยาของฟีนอล



ภาพที่ 6.7 แผนผังปฏิกิริยาฟีนอล  
(<https://chemistryguru.com.sg/alcohol-reactions-organic-chemistry>)



ภาพที่ 6.8 ปฏิกิริยาฟีนอล

### 6.1.3 อีเทอร์และอีพอกไซด์

#### 1) โครงสร้างอีเทอร์และอีพอกไซด์

อีเทอร์ (Ethers หรือ Alkoxyalkanes) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรทั่วไปเป็น  $\text{C}_n\text{H}_{2n}+2\text{O}$  ซึ่งเหมือนกับโมโนไฮโดรเจนแอลกอฮอล์และมีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น  $\text{R}-\text{O}-\text{R}'$  เมื่อ R และ R' เป็นหมู่แทนที่แอลคิลหรือหมู่แฮริล (วงเบนซีน) หมู่แอลคิลทั้งสองนี้อาจเหมือนกันหรือต่างกันได้ แต่ถ้าเหมือนกันเรียกว่า อีเทอร์อย่างง่าย (Simple ethers) หรืออีเทอร์สมมาตร (Symmetrical ethers) ถ้าแตกต่างกัน เรียกว่า อีเทอร์ผสม (Mixed ethers) หรืออีเทอร์ไม่สมมาตร (Unsymmetrical ethers) เช่น

$\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$	อีเทอร์อย่างง่าย
$\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_3$	อีเทอร์อย่างง่าย
$\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_3$	อีเทอร์ผสม

อีเทอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ แอลิฟาติก และแอโรมาติกอีเทอร์ โดยในส่วนของแอลิฟาติกอีเทอร์นั้นหมู่ R และ R' เป็นหมู่แอลคิล ในขณะที่แอโรมาติกอีเทอร์ จะมีหมู่ R หรือ R' หนึ่งหมู่หรือทั้งสองหมู่เป็นหมู่แฮริล อีเทอร์ที่มีหมู่หนึ่งเป็นแอลคิลและอีกหมู่หนึ่งเป็นแฮริลเรียกว่า

แอริลแอลคิลอีเทอร์หรือฟีนอลิกอีเทอร์ (aryl alkyl ether หรือ phenolic ether) แต่ถ้าทั้งสองหมู่เป็นแอริล เรียกว่า ไดแอริลอีเทอร์ (diaryl ether)

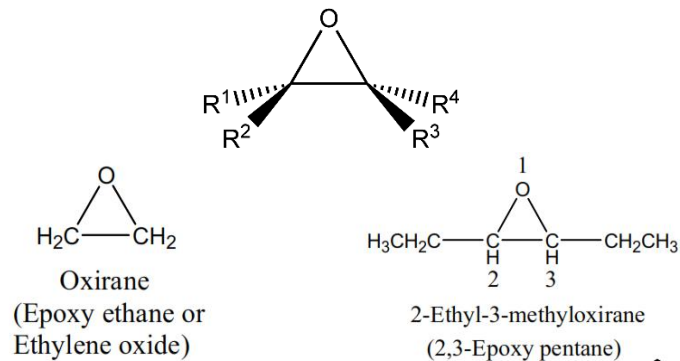
อีเทอร์ใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์โดยใช้ไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether) เป็นยาสลบ โดยจะออกฤทธิ์กดประสาทส่วนกลางจนทำให้หมดสติอีเทอร์ใช้เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการสกัดสารหรือตกผลึกสาร อีเทอร์สามารถละลายสารประกอบอินทรีย์ได้หลายชนิด อีเทอร์ขจัดออกได้ง่ายเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาเนื่องจากมีจุดเดือดต่ำ

การเรียกชื่ออีเทอร์อาจเรียกชื่อสามัญว่า อัลคิล อัลคิล อีเทอร์ (alkyl alkyl ether) เรียกชื่อ IUPAC ว่า อัลคอกซีแอลเคน (alkoxy alkane)

การเรียกชื่อ IUPAC ของอีเทอร์กำหนดให้หมู่อัลคิลที่มีขนาดใหญ่กว่า (คือมีจำนวนคาร์บอนมากกว่า) ให้เป็นชื่อหลัก และจะเรียกชื่อไว้ตำแหน่งหลังสุด โดยเรียกชื่อตามจำนวนคาร์บอนเหมือนการเรียกชื่อของแอลเคน ส่วนหมู่อัลคิลขนาดเล็ก (คือมีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่า) ให้เรียกชื่อเขียนไว้ด้านหน้าในรูปของหมู่อัลคอกซี (alkoxy group)

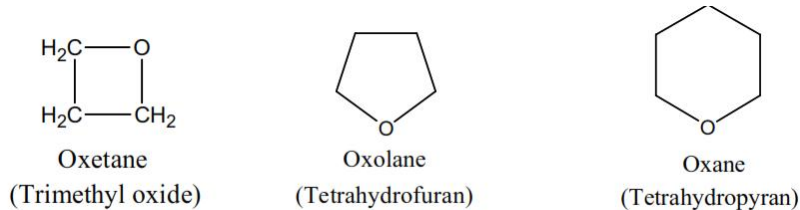
ไซคลิกอีเทอร์ (cyclic ethers) เป็นสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic compound) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นวง ภายในวงมีอะตอมออกซิเจนอยู่ด้วย ไซคลิกอีเทอร์แบ่งออกได้ดังนี้

1) อีพอกไซด์ (epoxide, oxirane) โครงสร้างเป็นวงปิด 3 อะตอม (คาร์บอน 2 อะตอม) ภายในโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ 2 -10 อะตอม อะตอมคาร์บอนเกาะกับอะตอมออกซิเจนด้วยพันธะเดี่ยว พันธะระหว่าง C-O มีความเป็นขั้ว อีพอกไซด์มีความเครียดสูงคล้ายไซโคลโพรเพน เมื่อมีนิวคลีโอไฟล์ (nucleophiles) เข้ามาทำปฏิกิริยาที่อะตอมคาร์บอนของพันธะ C-O ทำให้เกิดการแตกของวงอีพอกไซด์ การเรียกชื่อให้นับจากตำแหน่งอะตอมของออกซิเจนเป็นลำดับที่ 1

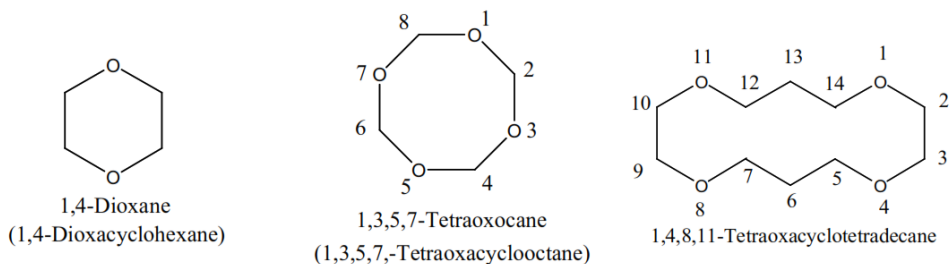


2) ไซคลิกอีเทอร์ที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 3 อะตอมขึ้นไป

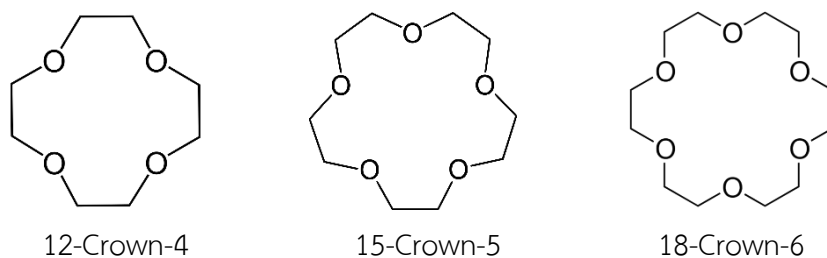
- ออกซีเทน (oxetane) โครงสร้างเป็นวงปิด 4 อะตอม (คาร์บอน 3 อะตอม)
- ฟิวราน (furan, oxolane) โครงสร้างเป็นวงปิด 5 อะตอม (คาร์บอน 4 อะตอม)
- ไพราน (pyran, oxane) โครงสร้างเป็นวงปิด 6 อะตอม (คาร์บอน 5 อะตอม)
- ไดออกเซน (dioxane) โครงสร้างเป็นวงปิด 6 อะตอม (คาร์บอน 4 อะตอม ออกซิเจน 2 อะตอม)



สวนโมเลกุลที่มีหมู่อีเทอร์หลาย ๆ หมูในวงแหวนเดียวกัน ให้นำจำนวนอะตอมของทั้งออกซิเจนและคาร์บอน แล้วเรียกชื่อให้สอดคล้องกับโมเลกุลนั้น

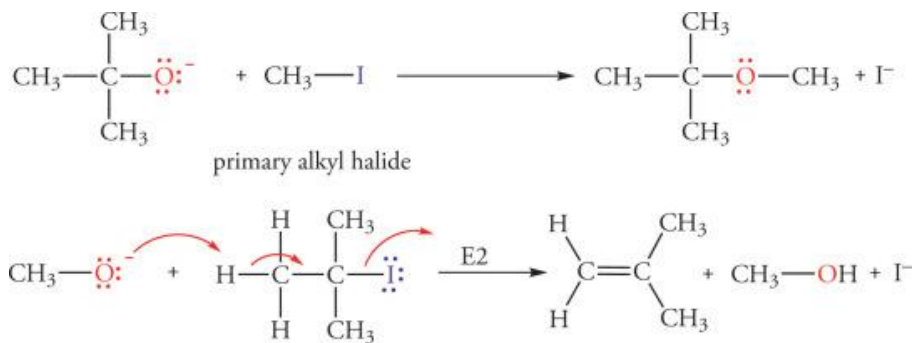
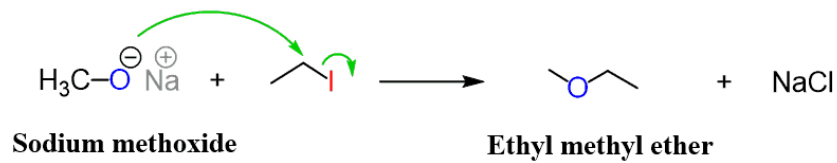
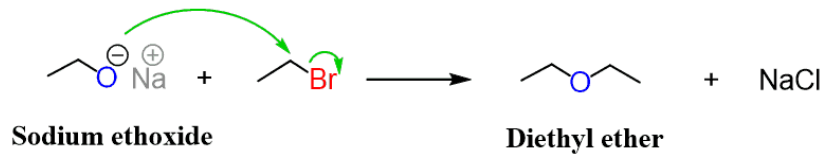
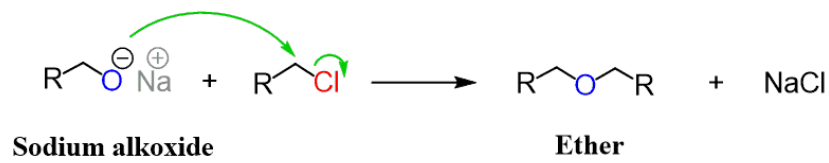


Crown ethers คือสารประกอบไซคลิกที่มีอีเทอร์ตั้งแต่ 4 อีเทอร์ในวงแหวนที่มีจำนวนอะตอมตั้งแต่ 12 หรือมากกว่าขึ้นไป ที่เรียกว่า Crown เพราะมีโครงสร้างคล้ายมงกุฎ ซึ่งการเรียกชื่อจะใช้คำว่า Crown โดยนำหน้าด้วยจำนวนอะตอมคาร์บอนทั้งหมดและตามหลังคำนี้ด้วยจำนวนอะตอมของออกซิเจน เช่น

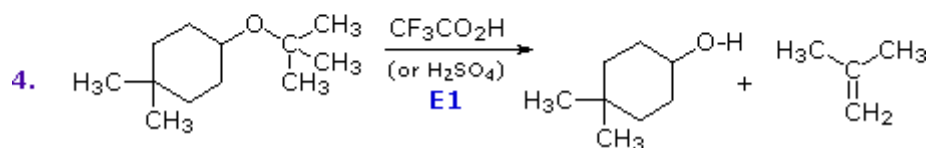
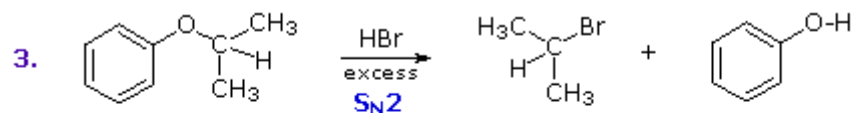
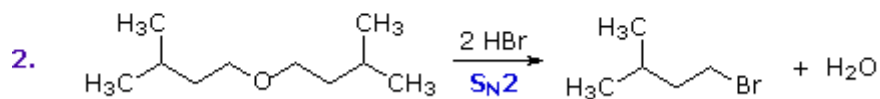
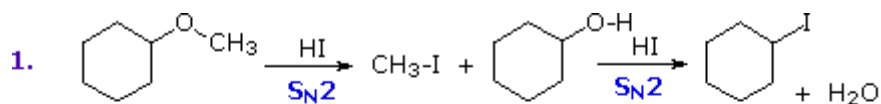


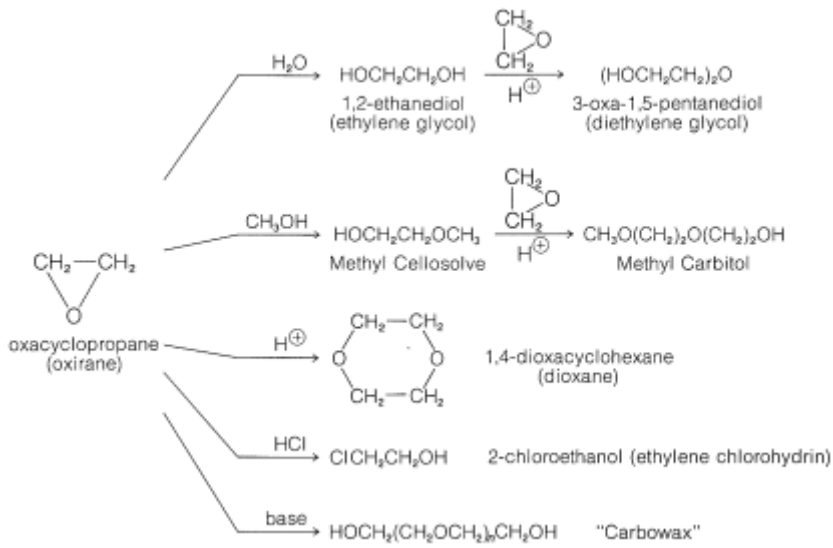
## 2) ปฏิกริยาการเตรียมอีเทอร์

การสังเคราะห์อีเทอร์ด้วยวิธีของวิลเลียมสัน (Williamson ether synthesis) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอัลคอกไซด์ไอออนกับอัลคิลเฮไลด์ปฐมภูมิเป็นปฏิกิริยาการแทนที่แบบ SN2



### 3) ปฏิกิริยาอีเทอร์และอีพอกไซด์





ภาพที่ 6.9 แผนผังปฏิกิริยาอีพอกไซด์

แอลกอฮอล์ เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หนึ่งหมู่หรือมากกว่าอยู่ในโมเลกุลแอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน โดยแอลกอฮอล์หมู่ไฮดรอกซิลต่ออยู่กับหมู่แอลคิล มีสูตรทั่วไปเป็น R-OH แอลกอฮอล์ส่วนใหญ่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีสมบัติแตกต่างจากแอลเคนและแอลคีนที่มีมวลโมเลกุลหรือความยาวของโซ่เท่ากัน เมทานอลและเอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่ระเหยง่าย มีกลิ่นฉุน แอลกอฮอล์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีโครงสร้างเป็นกิ่ง บางชนิดมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง สมบัติทางกายภาพของแอลกอฮอล์จะมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของแอลเคนและน้ำ

ฟีนอลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลหนึ่งหมู่หรือมากกว่าหนึ่งหมู่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนของวงเบนซีน มีสูตรทั่วไปเป็น Ar-OH

อีเทอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น R-O-R' เมื่อ R และ R' เป็นหมู่แทนที่แอลคิลหรือแอริล หมู่แอลคิลทั้งสองนี้อาจเหมือนกันหรือต่างกันได้ อีเทอร์แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ แอลิฟาติกอีเทอร์และแอโรมาติกอีเทอร์ โดยในส่วนของแอลิฟาติกอีเทอร์นั้นหมู่ R และ R' เป็นหมู่แอลคิล ในขณะที่แอโรมาติกอีเทอร์ จะมีหมู่ R หรือ R' หนึ่งหมู่หรือทั้งสองหมู่เป็นหมู่แอริล อีเทอร์ที่มีหมู่หนึ่งเป็นแอลคิลและอีกหมู่หนึ่งเป็นแอริลเรียกว่า แอริลแอลคิลอีเทอร์หรือฟีนอลิกอีเทอร์ แต่ถ้าทั้งสองหมู่เป็นแอริล เรียกว่า ไดแอริลอีเทอร์

ไซคลิกอีเทอร์เป็นสารประกอบเฮเทอโรไซคลิกซึ่งมีโครงสร้างเป็นวง ภายในวงมีอะตอมออกซิเจนอยู่ด้วย อีพอกไซด์ โครงสร้างเป็นวงปิด 3 อะตอม ไซคลิกอีเทอร์ที่มีโครงสร้างเป็นวงปิด 4 อะตอม เรียกว่า ออกซีเทน โครงสร้างเป็นวงปิด 5 อะตอม เรียกว่า ไพราน โครงสร้างเป็นวงปิด 6 อะตอม เรียกว่า ไพราน และโครงสร้างเป็นวงปิด 6 อะตอม เรียกว่า ออกเซน

### วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

### สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

### กิจกรรมที่มอบหมาย

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 6.1
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

### การวัดผล

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

### แบบฝึกหัด

1. แบบฝึกหัด 6.1

### เอกสารอ้างอิง

- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online ed.).  
<https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>
- Brown, L.S., & Holme, T.A. (2018). *Chemistry for Engineering Students* (4<sup>th</sup> ed.). Thomson Brook Cole.
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

# หน่วยที่ 6

## แอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน

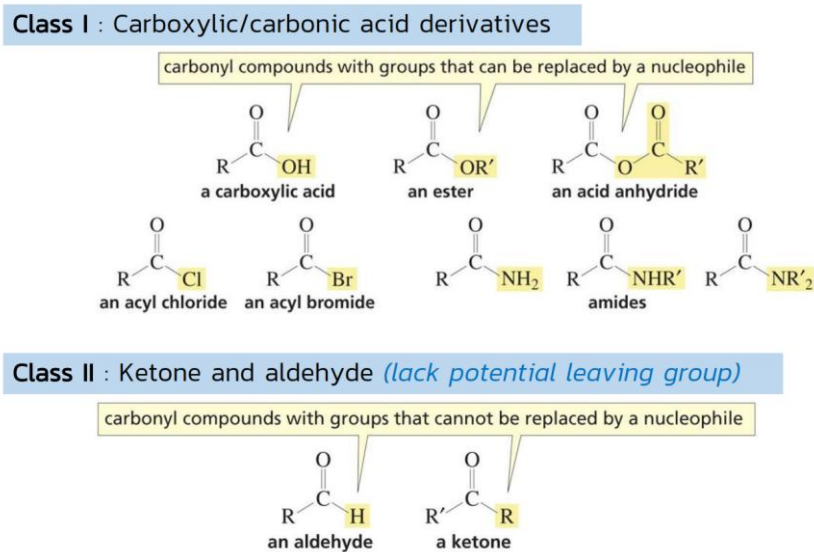
### บทเรียนที่ 6.2 สารประกอบคาร์บอนิล

#### จุดประสงค์เฉพาะ

1. อธิบายแอลดีไฮด์
2. อธิบายคีโตน

#### 6.2.1 แอลดีไฮด์และคีโตน

สารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่คาร์บอนิล (C=O) เป็นองค์ประกอบมีหลายชนิด โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังภาพที่ 6.10



ภาพที่ 6.10 กลุ่มของสารประกอบคาร์บอนิล

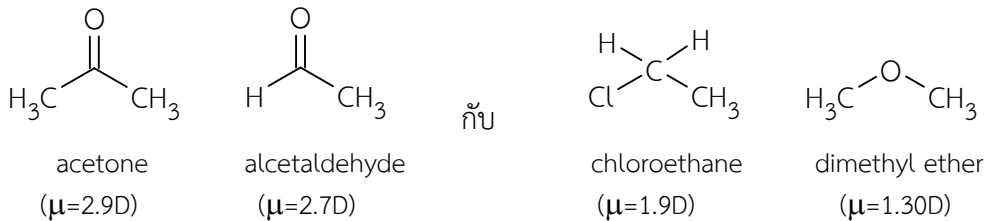
แอลดีไฮด์และคีโตน (aldehyde and ketone) เป็นผลผลิตขั้นแรกจากการออกซิเดชันของแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ และทุติยภูมิ และเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่คาร์บอนิล (C=O) อยู่ในโมเลกุลมีสูตรทั่วไป



แอลดีไฮด์และคีโตนมีโครงสร้างและสมบัติส่วนใหญ่คล้ายคลึงกัน แต่ก็มีสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน เช่น การเกิดปฏิกิริยากับตัวออกซิไดส์และนิวคลีโอไฟล์ ซึ่งแอลดีไฮด์มีความว่องไวต่อปฏิกิริยามากกว่าคีโตน สาเหตุเนื่องจากไดโพลโมเมนต์ของพันธะคู่ของหมู่คาร์บอนิลมีค่ามาก

โครงสร้างของหมู่คาร์บอนิลทั้งแอลดีไฮด์และคีโตนมีหมู่คาร์บอนิล โดยคาร์บอนิลคาร์บอนใช้ไฮบริดออร์บิทัลเป็น  $sp^2$  ดังนั้นรอบอะตอมคาร์บอนจึงมี  $sp^2$  3 ออร์บิทัล และอีก 1 p ออร์บิทัลที่ไม่ได้เกิดไฮบริด อะตอมคาร์บอนจึงใช้  $sp^2$  เกิดพันธะซิกมากับอะตอมข้างเคียง 3 พันธะ โดยสร้างพันธะกับไฮโดรเจน 1 อะตอม เหลืออีก 2 ออร์บิทัลจะนำไปสร้างพันธะกับอะตอมหรือกลุ่มอะตอมอื่น (R หรือ H) พันธะซิกมาทั้งสามพันธะจะอยู่ในระนาบเดียวกันและทำมุมต่อกัน  $120^\circ$  ส่วนออร์บิทัล p ที่ไม่ได้ใช้ในการเกิดไฮบริดซึ่งวางตัวในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับพันธะทั้งสามนี้ จะใช้ตามขวางซ้อนทับกับออร์บิทัล p ของอะตอมออกซิเจนเกิดเป็นพันธะไพ พันธะคู่ ระหว่างอะตอมคาร์บอนกับออกซิเจนในหมู่คาร์บอนิลคล้ายกับพันธะคู่ระหว่างอะตอมคาร์บอน กับคาร์บอนในแอลคีน แต่ที่แตกต่างกันก็คือพันธะคู่ในหมู่คาร์บอนิลสั้นกว่าและแข็งแรงกว่าพันธะคู่ในแอลคีน

ข้อแตกต่างอีกประการหนึ่งระหว่างพันธะคู่ในหมู่คาร์บอนิลกับแอลคีนคือพันธะคู่ในหมู่คาร์บอนิลมีไดโพลโมเมนต์มากกว่าของแอลคีน เพราะอะตอมออกซิเจนมีสภาพไฟฟ้าลบบวกกว่าคาร์บอนและมีอิเล็กตรอนคู่ที่ไม่ได้ใช้ในการสร้างพันธะส่งผลให้แอลดีไฮด์และคีโตนมีไดโพลโมเมนต์มากกว่าแอลคิลแฮไลด์และอีเทอร์อีกด้วย เช่น ค่าไดโพลโมเมนต์ของแอลดีไฮด์ และคีโตนเปรียบเทียบกับค่าไดโพลโมเมนต์ของแอลคิลแฮไลด์และอีเทอร์

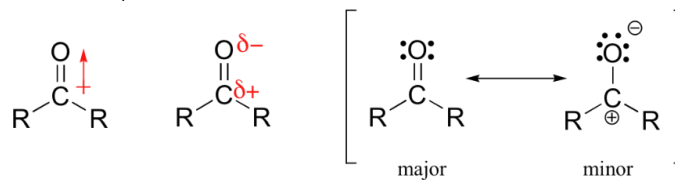


แอลดีไฮด์และคีโตนมีทั้งที่เป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้อง (เช่น พอร์มาลดีไฮด์) มีสถานะเป็นของเหลวและของแข็งตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น มีกลิ่นเฉพาะตัวทั้งกลิ่นเหม็นแสบจมูก กลิ่นหอม โดยเฉพาะแอมโรมาติกแอลดีไฮด์มีกลิ่นหอมจึงนำไปใช้ทำน้ำหอม หรือใช้ปรุงอาหาร เป็นต้น ทั้งแอลดีไฮด์และคีโตนจะมีจุดเดือดสูงเมื่อเทียบกับสารไฮโดรคาร์บอนอื่นที่มีมวลใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากทั้งแอลดีไฮด์และคีโตนประกอบด้วยหมู่ที่มีขั้วของคาร์บอนิล ดังนั้นจึงมีแรงระหว่างขั้ว (dipole-dipole interaction) ของโมเลกุลสูงมาก

ตารางที่ 6.4 จุดเดือดแอลดีไฮด์และคีโตนเทียบกับสารไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลใกล้เคียงกัน

Type of Compound	Compound	Structure	Molecular Mass	Boiling Point ( $^{\circ}\text{C}$ )
{ alkane aldehyde alcohol	ethane	$\text{CH}_3\text{—CH}_3$	30	-89
	methanal	$\text{H—CHO}$	30	-21
	methanol	$\text{CH}_3\text{—OH}$	32	65
{ alkane aldehyde alcohol	propane	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_3$	44	-42
	ethanal	$\text{CH}_3\text{—CHO}$	44	20
	ethanol	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH}$	46	78
{ alkane aldehyde alcohol	butane	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$	58	-1
	propanal	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CHO}$	58	49
	1-propanol	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—OH}$	60	97

แอลดีไฮด์และคีโตนมีจุดเดือดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล แต่แอลดีไฮด์และคีโตนไม่มีพันธะ O-H หรือ N-H ในโมเลกุลจึงไม่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้ ทำให้มีจุดเดือดต่ำกว่าแอลกอฮอล์ที่มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน เนื่องจากแอลกอฮอล์มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล



การมีขั้วของหมู่คาร์บอนิล แต่แรงระหว่างขั้วมีค่าน้อยกว่าพันธะไฮโดรเจนในแอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์และคีโตนจึงมีจุดเดือดต่ำกว่าแอลกอฮอล์ที่มีมวลใกล้เคียงกันดังกล่าว สำหรับจุดเดือดจุดหลอมเหลวและการละลายน้ำของคีโตนและแอลดีไฮด์ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 สมบัติทางกายภาพของแอลดีไฮด์และคีโตนบางชนิด

Compound	Boiling Point ( $^{\circ}\text{C}$ )	Solubility in Water
Methanal (formaldehyde)	-21	Very soluble
Ethanal (acetaldehyde)	21	Very soluble
Propanal (propionaldehyde)	49	Soluble
Propanone (acetone)	56	Soluble
Butanal (butyraldehyde)	75	Soluble
Butanone	80	Soluble
Pentanal	103	Slightly soluble
2-Pentanone	102	Slightly soluble
3-Pentanone	102	Slightly soluble
Hexanal	129	Not soluble
2-Hexanone	127	Not soluble
3-Hexanone	124	Not soluble

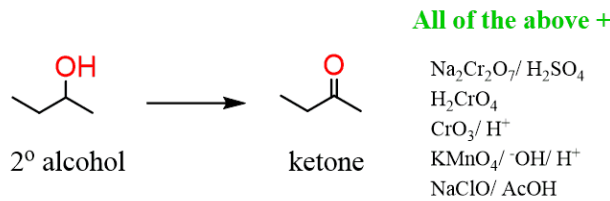
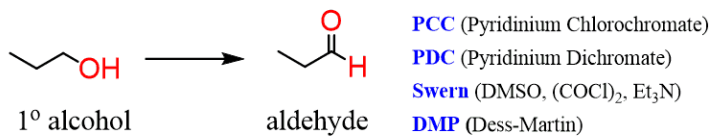
increasing size  
↓

### 6.2.2 การเตรียมแอลดีไฮด์และคีโตน

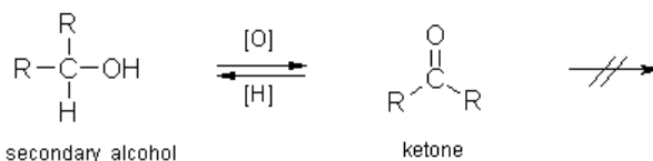
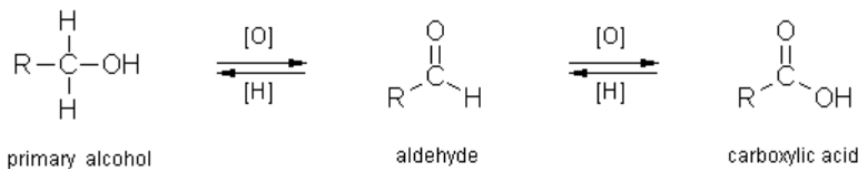
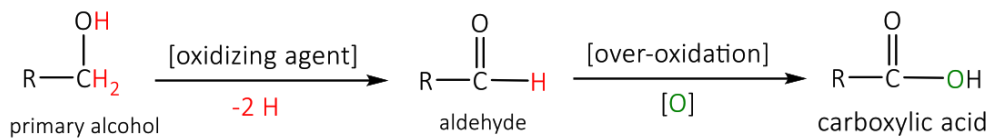
#### 1) ปฏิกิริยาออกซิเดชันแอลกอฮอล์

ถ้าออกซิไดส์แอลกอฮอล์ปฐมภูมิด้วยตัวออกซิไดส์ที่มากเกินไปจะได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นกรดคาร์บอกซิลิก เพราะแอลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นจากการออกซิไดส์ในครั้งแรกจะถูกออกซิไดส์ไปเป็นกรดได้ง่าย แอลดีไฮด์เตรียมได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ (1°) โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตหรือโพแทสเซียมไดโครเมตเป็นตัวออกซิไดส์ในสภาวะที่เป็นกรด สำหรับรีเอเจนต์ที่ดีที่สุดในการเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นแอลดีไฮด์คือ Collin' reagent (Chromium trioxide-pyridine complex) รีเอเจนต์นี้ยังสามารถใช้ตรวจสอบการออกซิเดชันของแอลดีไฮด์ไปเป็นกรดคาร์บอกซิลิกได้อีกด้วย โดยใช้ตัวทำละลายที่ไม่ใช้น้ำ เช่น ไคลอโรมีเทน (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)

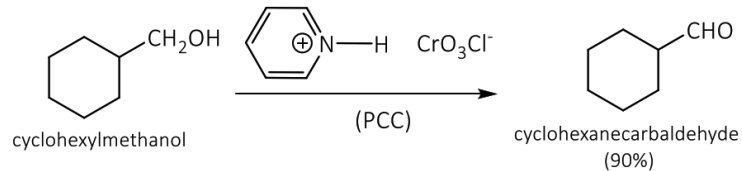
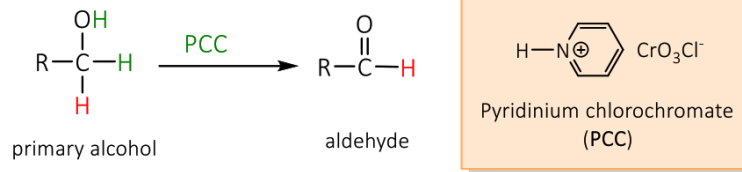
ส่วนคีโตนสามารถเตรียมได้จากตัวออกซิไดส์เหมือนกัน แต่ใช้แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ (2°)



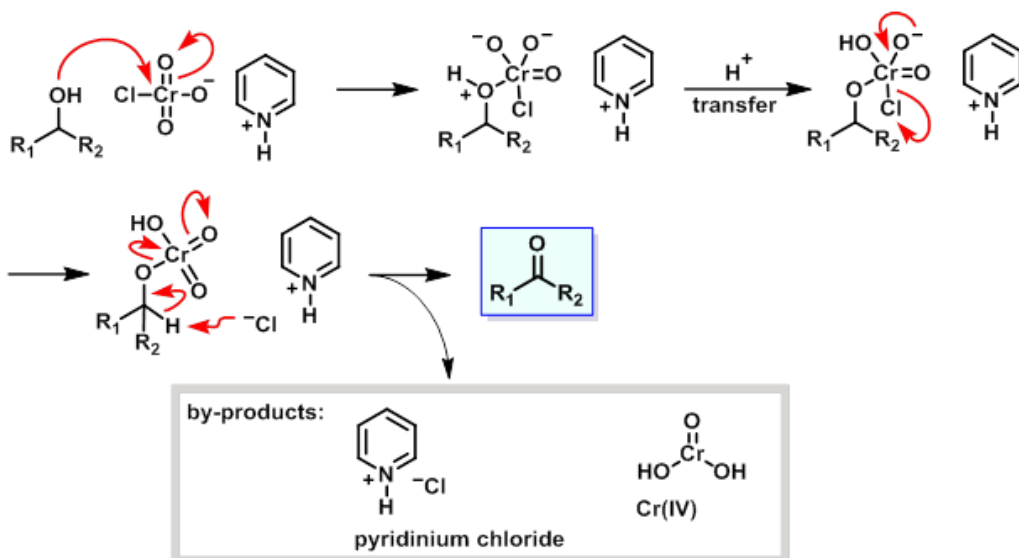
โซเดียมไดโครเมต (Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) ในสารละลายกรดซัลฟิวริกนี้ถือเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง ภายใต้ปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานี้ เมื่อเปลี่ยนจาก 2° แอลกอฮอล์เป็น 1° แอลกอฮอล์ จะไม่ได้แอลดีไฮด์เป็นผลผลิตสุดท้าย เนื่องจากแอลดีไฮด์ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงมาก หลังจาก 1° แอลกอฮอล์ถูกออกซิไดส์เป็นแอลดีไฮด์แล้วจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นกรดคาร์บอกซิลิกได้ง่ายมาก ปฏิกิริยาการนี้เรียกว่าเกิด over oxidation



เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด over-oxidation ไปเป็นกรดคาร์บอกซิลิก จึงมีการใช้ตัวออกซิไดซ์ที่อ่อนลงนั่นคือ พิริดีเนียมคลอโรโครเมต (Pyridinium chlorochromate, PCC)

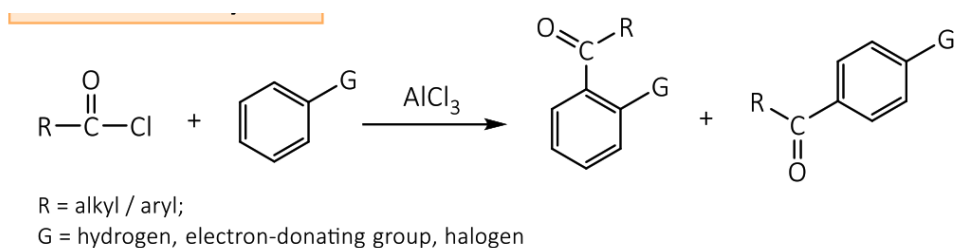


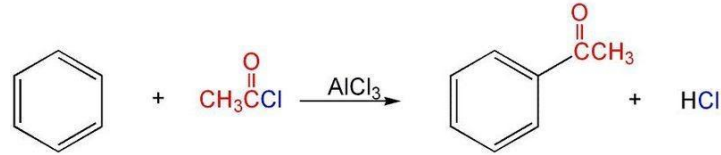
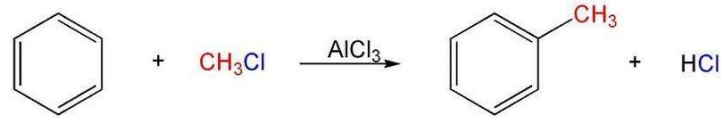
กลไกดังนี้



## 2) ปฏิกิริยาฟรีเดิล-คราฟท์ แอซิลเลชัน

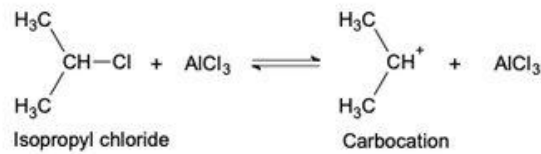
ปฏิกิริยาฟรีเดิล-คราฟท์ แอซิลเลชัน (Friedel-Crafts acylation) เบนซีนทำปฏิกิริยากับแอซิดเฮไลด์ โดยมีกรดของลิวอิสเป็นตัวคะตะลิสต์ จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นอะริลคีโตน อิเล็กโทรไฟล์ของปฏิกิริยานี้คือ แอซิล-เลียมไอออน (acylium ion)



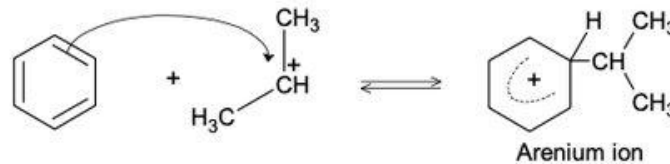


กลไกดังนี้

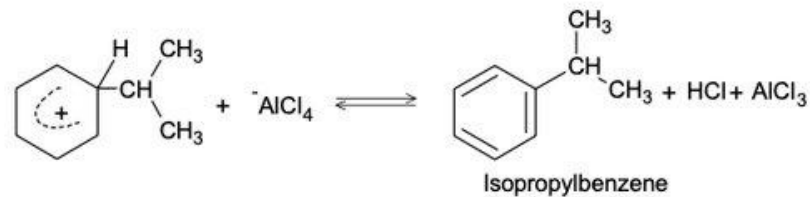
**Step 1:**



**Step 2:**

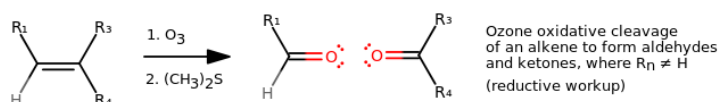
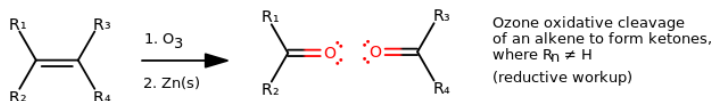
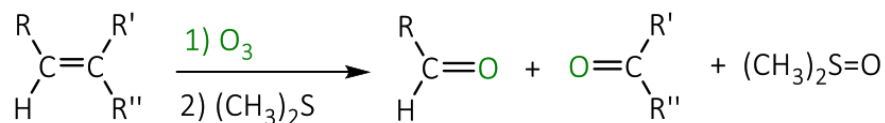


**Step 3:**

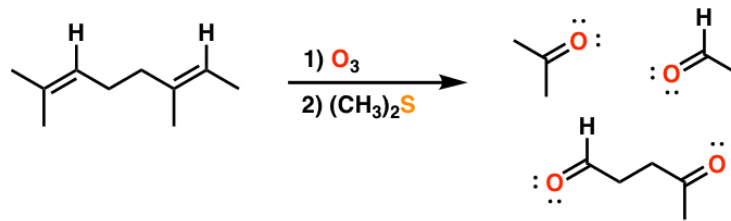


### 3) ปฏิกิริยาโอโซนโนไลซิสของแอลคีน

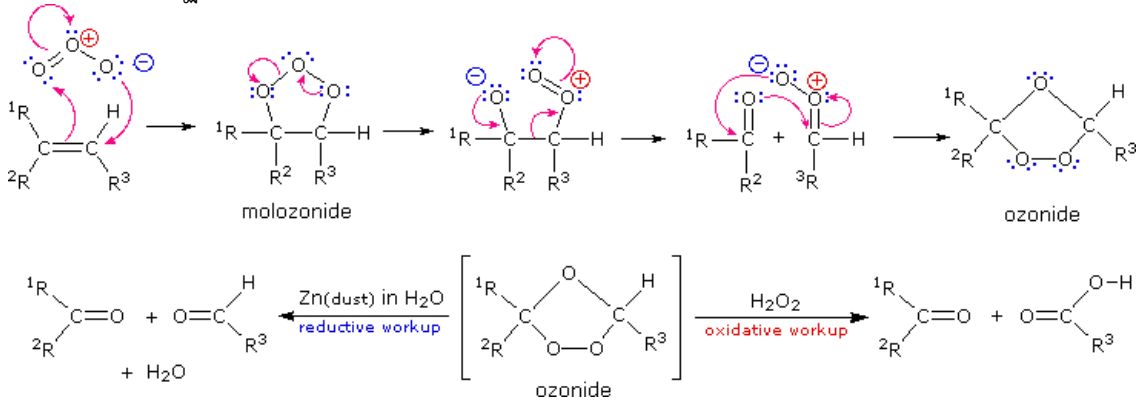
ปฏิกิริยาโอโซนโนไลซิสเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลคีนโดยมีต่างทับทิมตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวรีดิวซ์



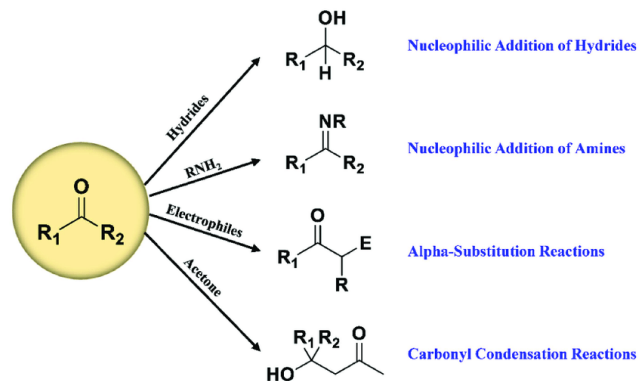
ตัวอย่างปฏิกิริยา

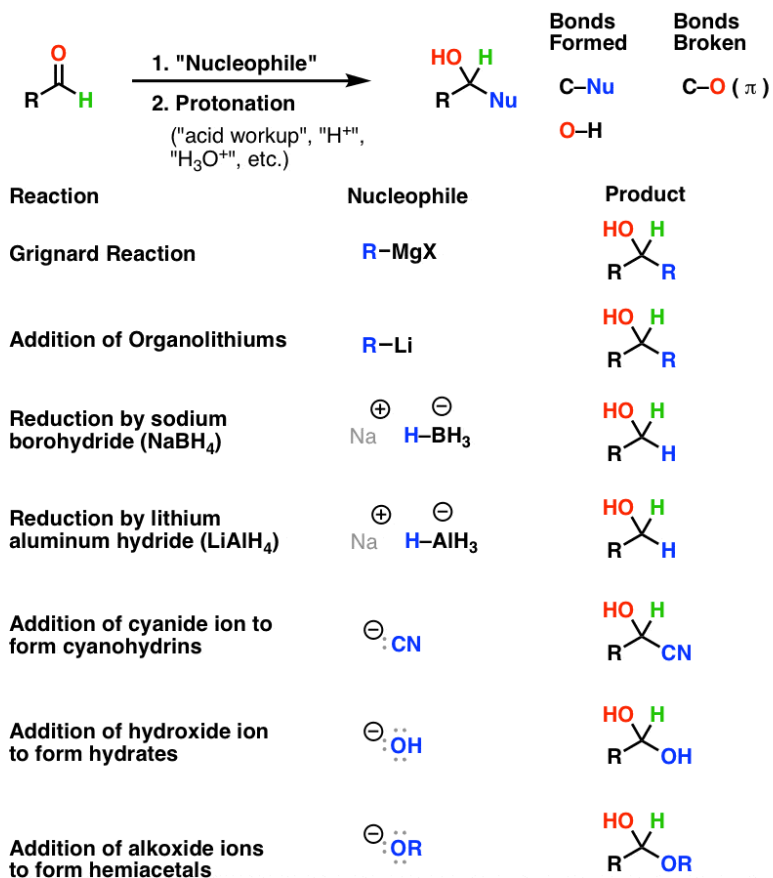


กลไกปฏิกิริยาโอโซนโนไลซิส



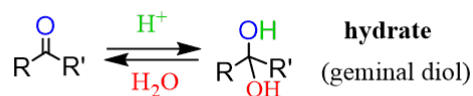
6.2.3 ปฏิกิริยาของแอลดีไฮด์และคีโตน



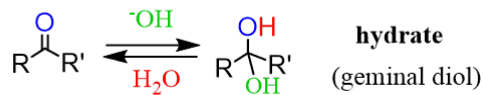


### Aldehydes and Ketones:

#### Reaction with Water produces a Hydrate

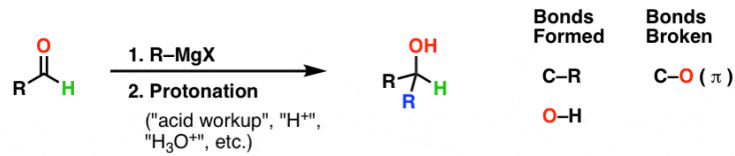


*Acid-Catalyzed Addition of water*

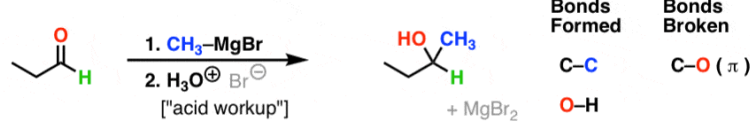


*Base-Catalyzed Addition of water*

## 1. Grignard Reaction: Addition of Grignard Reagents To Aldehydes



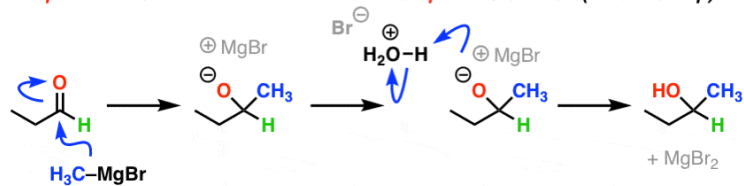
## Specific example



## Mechanism

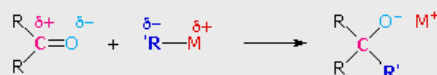
## Step 1: Addition

## Step 2: Protonation (Acid Workup)



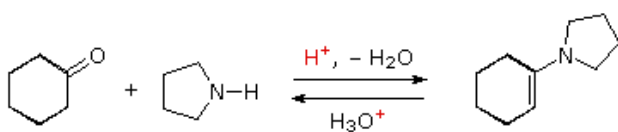
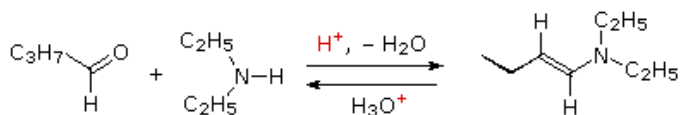
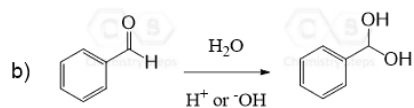
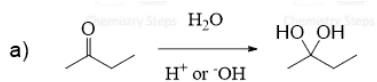
Note: using Br as a specific example, but could use other halides too (Cl, I)

## Examples of Organometallic Addition Reactions



- 
- 
- 
- 
- 
-

ตัวอย่าง



แอลดีไฮด์และคีโตนมีโครงสร้างและสมบัติส่วนใหญ่คล้ายคลึงกัน แต่ก็มีสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน เช่น การเกิดปฏิกิริยากับตัวออกซิไดส์และนิวคลีโอไฟล์ ซึ่งแอลดีไฮด์มีความว่องไวต่อปฏิกิริยามากกว่าคีโตน แอลดีไฮด์และคีโตนมีทั้งที่เป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้อง (เช่น ฟอรัมาลดีไฮด์) มีสถานะเป็น ของเหลวและของแข็งตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น มีกลิ่นเฉพาะตัวทั้งกลิ่นเหม็นแสบ จมุก กลิ่นหอม โดยเฉพาะแอมโรมาติกแอลดีไฮด์มีกลิ่นหอมจึงนำไปใช้ทำน้ำหอม หรือใช้ปรุงอาหาร

**วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน**

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

**กิจกรรมที่มอบหมาย**

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 6.2
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

**การวัดผล**

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

**แบบฝึกหัด**

1. แบบฝึกหัด 6.2

### เอกสารอ้างอิง

- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online).  
<https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>
- Brown, L.S., & Holme, T.A. (2018). *Chemistry for Engineering Students* (4<sup>th</sup> ed.). Thomson Brook Cole.
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Crystallographic Defects*. (n.d.). <https://www.tec-science.com/material-science/structure-of-metals/crystallographic-defects/>
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

# หน่วยที่ 7

## แอลกอฮอล์และเอเทอร์ไฮดรอกซิลิก

### บทเรียนที่ 7.1 สารประกอบคาร์บอนิลกลุ่ม 1

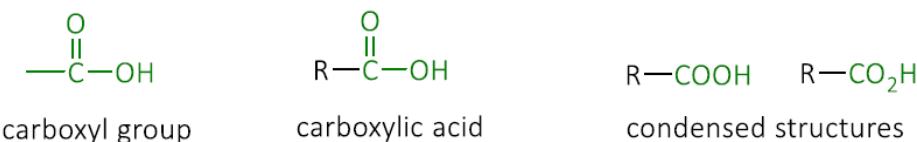
#### จุดประสงค์เฉพาะ

1. บอกคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์คาร์บอกซิลิก
2. บอกเอมีน

#### 7.1.1 คาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์คาร์บอกซิลิก

##### 1) กรดคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์คาร์บอกซิลิก

กรดคาร์บอกซิลิกเป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็น R-COOH



กรดคาร์บอกซิลิกเป็นกรดอ่อน แตกตัวได้บางส่วนจึงยังเหลือโมเลกุลส่วนที่ไม่แตกตัวอยู่มาก ให้ไฮโดรเนียมไอออน ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) น้อย หรือแตกตัวไม่สมบูรณ์ เช่น ถ้าให้กรดแอสติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) เป็นตัวแทนของกรดคาร์บอกซิลิก กรดคาร์บอกซิลิกละลายน้ำได้เนื่องจากโมเลกุลมีสภาพขั้วโมเลกุลสูง โดยหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วมีถึง 2 หมู่ คือหมู่ไฮดรอกซิล ( $-\text{OH}$ ) และหมู่คาร์บอนิล ( $\text{C}=\text{O}$ ) แต่สภาพละลายได้ของกรดคาร์บอกซิลิกจะลดลงเมื่อจำนวนอะตอมคาร์บอนเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลมีส่วนที่ไม่มีขั้วมากขึ้น

#### ตารางที่ 7.1 สภาพละลายได้ของกรดคาร์บอกซิลิก

ชื่อ	สูตรโครงสร้าง	จุดเดือด ( $^{\circ}\text{C}$ )	สภาพละลายได้ในน้ำที่ $20^{\circ}\text{C}$ (g/น้ำ 100 g)
Methanoic acid	$\text{HCOOH}$	100.8	ละลายได้ดี
Ethanoic acid	$\text{CH}_3\text{COOH}$	117.9	ละลายได้ดี
Propanoic acid	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	140.8	ละลายได้ดี
Butanoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	163.3	ละลายได้
Pentanoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	185.5	3.7
Hexanoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	205.7	1.0

เมื่อเปรียบเทียบจุดเดือดของกรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอล์ที่มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน เช่น กรดเอทานอิก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) กับโพรพานอล ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ) พบว่ากรดเอทานอิกมีจุดเดือด

117.9°C ซึ่งสูงกว่าโพรพานอลที่มีจุดเดือดเพียง 97.2°C เนื่องจากหมู่ -COOH ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลกรดมีออกซิเจน 2 อะตอม และไฮโดรเจน 1 อะตอมที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนได้ในขณะที่หมู่ -OH ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลของแอลกอฮอล์มีออกซิเจนและไฮโดรเจนอย่างละ 1 อะตอม พันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของกรดคาร์บอกซิลิกจึงมีความแข็งแรงมากกว่าของแอลกอฮอล์ กรดคาร์บอกซิลิกจึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากกว่าแอลกอฮอล์ที่มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 7.2 โครงสร้างและอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิก

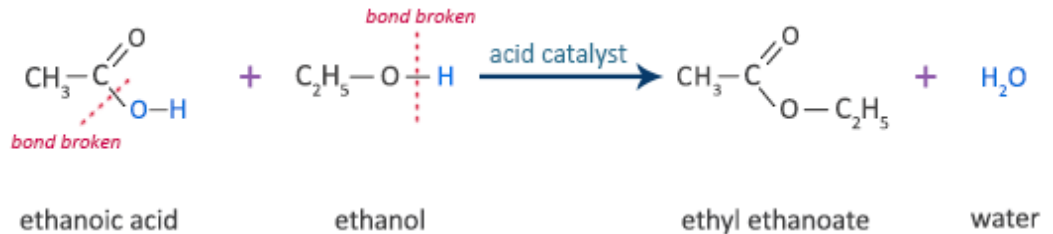
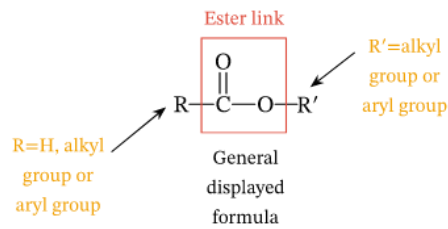
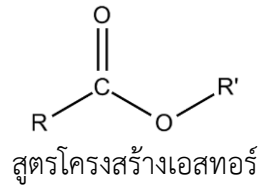
	Z	โครงสร้าง/ชื่อสาร
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <p><b>General structure</b></p> <math display="block">\begin{array}{c} \cdot\ddot{O}\cdot \\    \\ R-C-\ddot{Z} \\ \hline \text{acyl group} \\ Z = \text{electronegative atom} \end{array}</math> </div>		$\begin{array}{c} \cdot\ddot{O}\cdot \\    \\ R-C-\ddot{O}H \\ \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \end{array}$ <p>carboxylic acid</p>
		$\begin{array}{c} \cdot\ddot{O}\cdot \\    \\ R-C-\ddot{Cl}\cdot \\ \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \end{array}$ <p>acid chloride</p>
		$\begin{array}{c} \cdot\ddot{O}\cdot \\    \\ R-C-\ddot{O}R' \\ \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \end{array}$ <p>ester</p>
		$\begin{array}{c} \cdot\ddot{O}\cdot \\    \\ R-C-\ddot{N}R'_2 \\ \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \end{array}$ <p>R' = H or alkyl amide</p>

#### สมบัติและประโยชน์ของกรดอินทรีย์

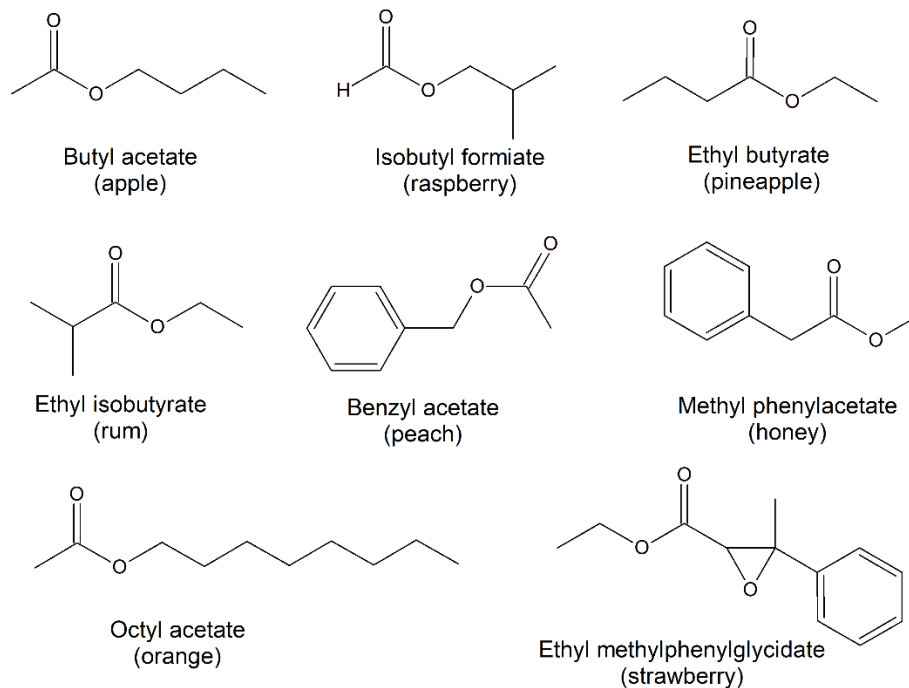
- กรดคาร์บอกซิลิกพบในผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวหลายชนิด เช่น ส้ม มะขาม มะนาว
- เป็นกรดไขมันในพืชหรือสัตว์
- กรดแอสติก (CH<sub>3</sub>COOH) หรือกรดน้ำส้ม ได้จากการหมักน้ำตาล ผลไม้ หรือจากการหมักเอทานอล ใช้ปรุงแต่งอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติ ในน้ำส้มสายชู มีกรดนี้ 5%
- กรดฟอร์มิก (HCOOH) หรือกรดนม เป็นกรดคาร์บอกซิลิกที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนน้อยที่สุดพบในผึ้งและนม แต่ส่วนใหญ่ได้จากการสังเคราะห์ ใช้เป็นสารที่ช่วยให้เนื้อยางในยางดิบรวมตัวกันเป็นก้อน ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังและอุตสาหกรรมย้อมผ้า
- กรดแอลฟาไฮดรอกซีหรือเอเอชเอ (Alpha hydroxyl acids : AHAs) เป็นกรดคาร์บอกซิลิกที่เกิดในธรรมชาติ พบในผลไม้ นม ต้นอ้อย มีหลายชนิด ที่พบบ่อย ๆ คือ กรดแลคติก ซึ่งได้จากนมเปรี้ยว กรดไกลโคลิกซึ่งได้จากต้นอ้อย กรดทาลิก ซึ่งได้จากผลแอปเปิล ปัจจุบันมีการนำ AHAs มาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวเพื่อทำให้ผิวหนังนุ่ม ไร้ริ้วรอย และช่วยปรับสภาพผิว

## 2) เอสเทอร์

เอสเทอร์ (ester) เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่แอลคอกซีคาร์บอนิลเป็นหมู่ฟังก์ชัน องค์ประกอบของเอสเทอร์มาจากอินทรีย์ 2 ชนิด คือ กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ โดยที่หมู่  $-OH$  ในกรดถูกแทนที่ด้วย  $O-R$  ของแอลกอฮอล์



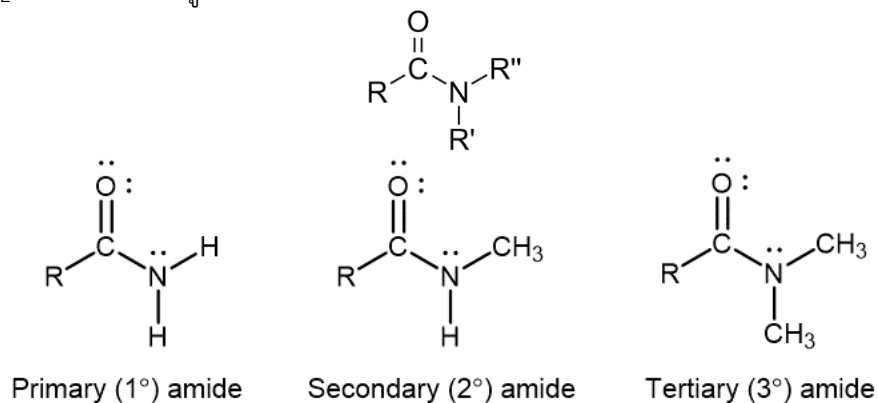
เอสเทอร์เป็นสารที่มีกลิ่นหอม พบมากในธรรมชาติจากสัตว์และพืช เช่น น้ำมันพืช กลิ่นหอมจากดอกไม้ กลิ่นแมงดาทะเลและกลิ่นที่สังเคราะห์ขึ้น จึงนิยมใช้สารแต่งกลิ่นอาหาร ทำน้ำหอม เป็นตัวทำละลาย เช่น น้ำมันขัดเงา น้ำยาล้างเล็บ บางชนิดเป็นยาบรรเทาอาการปวดเมื่อย เช่น น้ำมันระกำเป็นยาที่ใช้ระงับปวด เช่น แอสไพริน และยังใช้เอสเทอร์ในอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยสังเคราะห์ด้วย



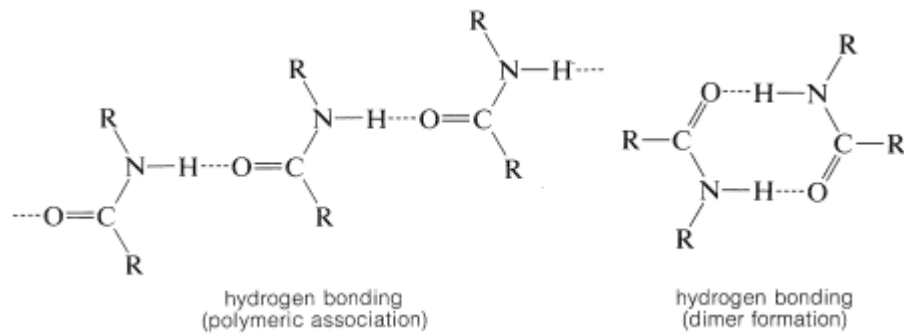
ภาพที่ 7.1 โครงสร้างเอสเทอร์ที่มีกลิ่นเฉพาะ

### 3) เอไมด์

เอไมด์ (amide) คือ สารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุ C, H, O และ N เกิดจากหมู่แอมิโน (-NH<sub>2</sub>) เข้าไปแทนที่หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ในกรดคาร์บอกซิลิก



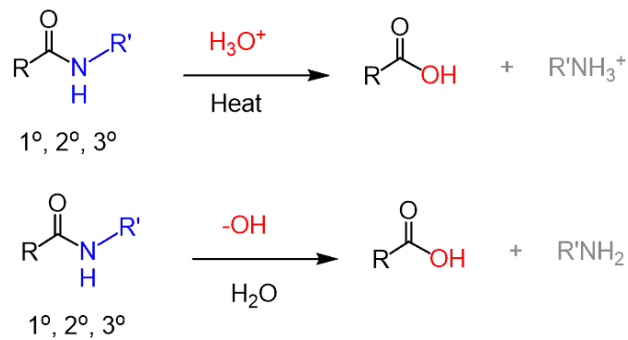
โมเลกุลของเอไมด์มีขั้วและเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ ทำให้ละลายในน้ำได้ สารละลายของเอไมด์มีสมบัติเป็นกลาง เนื่องจากอะตอมของออกซิเจนในหมู่คาร์บอนิลดึงดูดอิเล็กตรอนจากอะตอมของไนโตรเจนในหมู่แอมิโน เป็นผลทำให้ไนโตรเจนมีสภาพขั้วไฟฟ้าค่อนข้างบวก

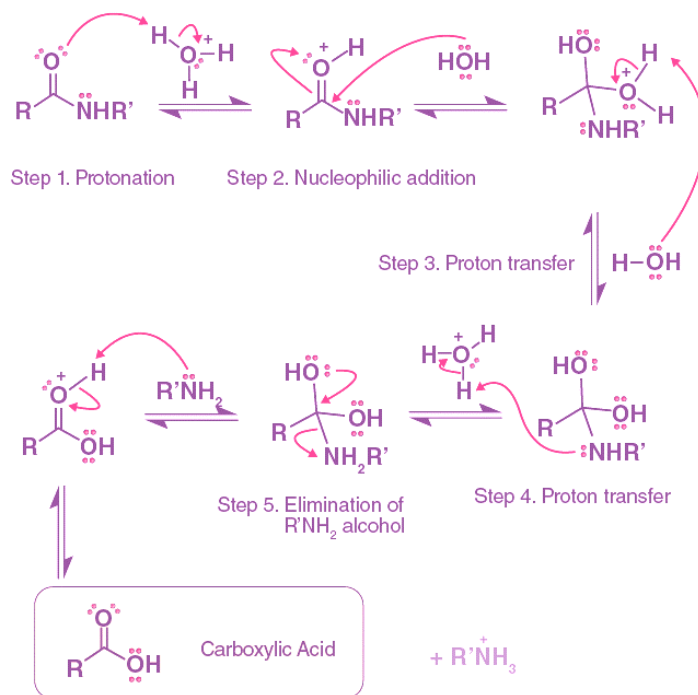


ตารางที่ 7.3 สมบัติกายภาพของเอไมด์บางชนิด

Condensed Structural Formula	Name	Melting Point (°C)	Boiling Point (°C)	Solubility in Water
HCONH <sub>2</sub>	formamide	2	193	soluble
CH <sub>3</sub> CONH <sub>2</sub>	acetamide	82	222	soluble
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CONH <sub>2</sub>	propionamide	81	213	soluble
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CONH <sub>2</sub>	butyramide	115	216	soluble
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CONH <sub>2</sub>	benzamide	132	290	slightly soluble

เอไมด์เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายกรด หรือสารละลายเบส ได้กรดคาร์บอกซิลิก และเอมีน

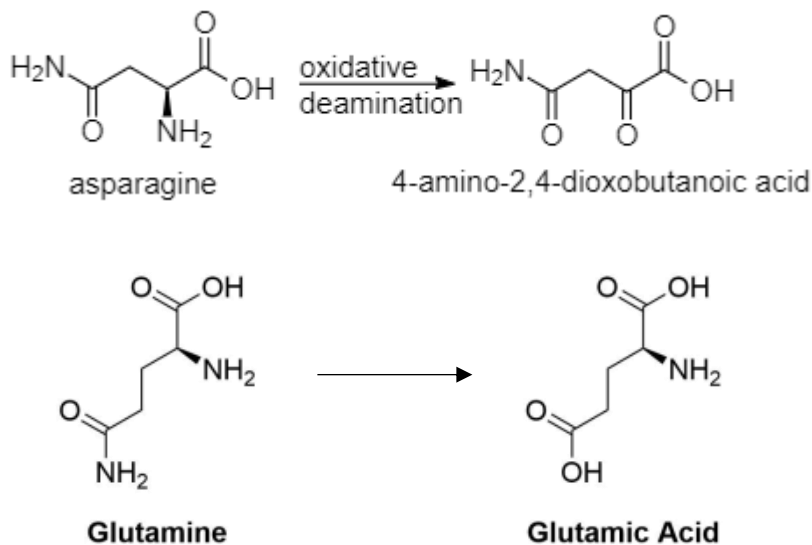




ภาพที่ 7.2 กลไกปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเอไมด์

เอไมด์เป็นส่วนประกอบของกรดแอมิโน (amino acid) ได้แก่ แอสพาราจีน (asparagine) และกลูตามีน (glutamine) แอสพาราจีนถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายในสภาวะที่เป็นกรดได้เป็นกรดแอสพาร์ติก (aspartic acid) แอสพาราจีนทำหน้าที่ในการส่งเสริมการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง กรดแอสพาร์ติกช่วยบรรเทาอาการปวดกล้ามเนื้อและลดการสะสมของแอมโมเนียได้ดี

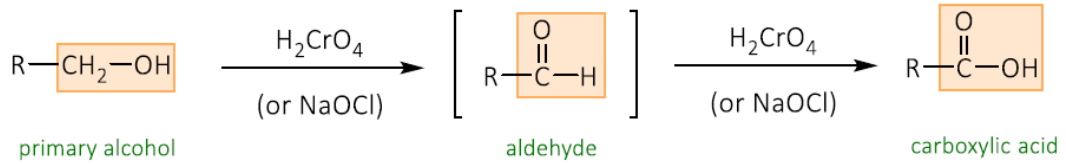
กลูตามีนถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายในสภาวะที่เป็นด่างได้เป็นกรดกลูตามิก (glutamic acid) กรดกลูตามิกทำหน้าที่ในการกระตุ้นการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นพลังงานและส่งเสริมการทำงานของสมองให้ทำงานได้ดีขึ้น



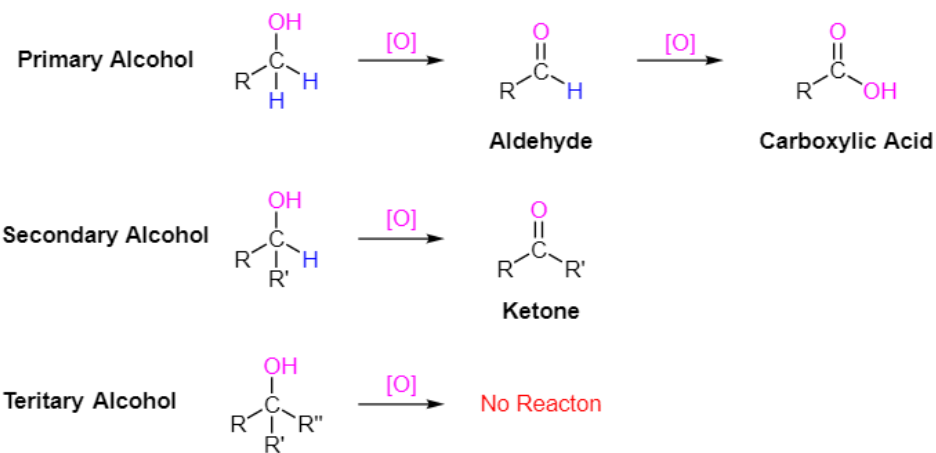
## 4) การเตรียมกรดคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิก

## 2.1) ปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ

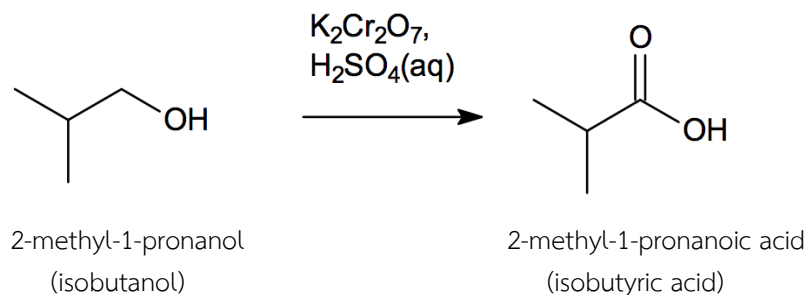
แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ ( $1^\circ$ ) เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้ตัวออกซิไดส์ที่แรง เช่น  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}_2\text{SO}_4$  หรือ  $\text{NaClO}$  จะได้กรดคาร์บอกซิลิกเป็นสารผลิตภัณฑ์



แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ ( $2^\circ$ ) เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้ตัวออกซิไดส์ที่แรงจะได้สารผลิตภัณฑ์เป็นคีโตน ส่วนแอลกอฮอล์ตติยภูมิ ( $3^\circ$ ) จะไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

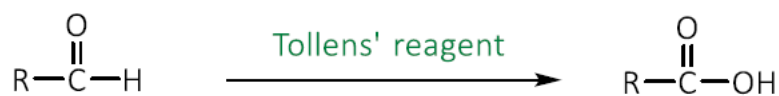


ตัวอย่างปฏิกิริยาออกซิเดชัน



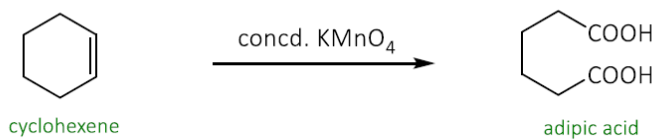
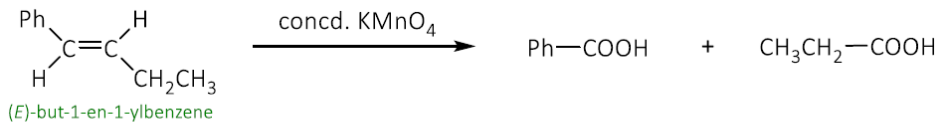
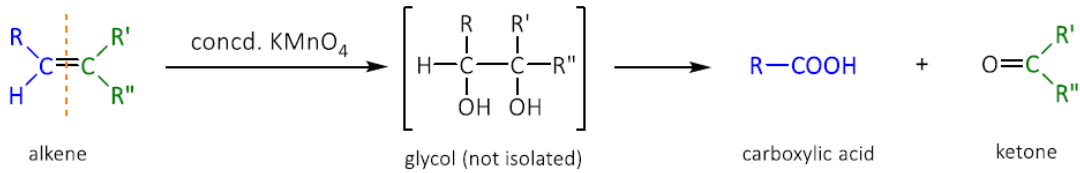
## 2.2) ปฏิกิริยาออกซิเดชันของอัลดีไฮด์โดยใช้รีเอเจนต์ของ Tollens

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของอัลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ของ Tollens จะได้กรดอินทรีย์ออกมา

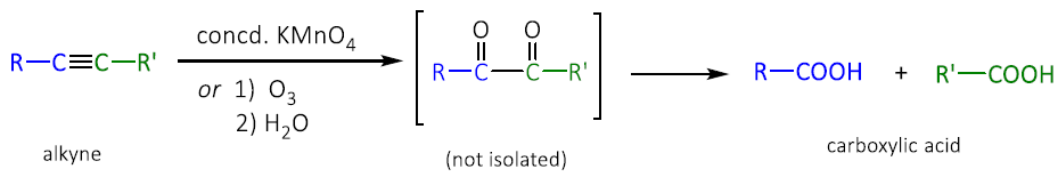


### 2.3) ปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลคีนและอัลคายโดยใช้ต่างทับทิม (KMnO<sub>4</sub>)

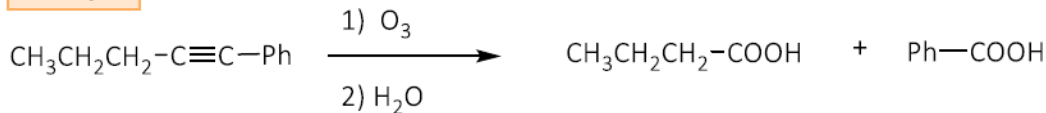
แอลคีนที่พันธะคู่มี H อยู่อย่างน้อย 1 อะตอมถูกทำปฏิกิริยากับสารละลายต่างทับทิม จะได้สารผลิตภัณฑ์สองชนิดคือสารคาร์บอนิลและกรดคาร์บอกซิลิก



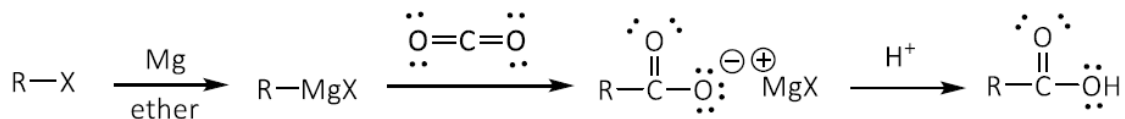
ถ้าแอลคีนมาทำปฏิกิริยากับสารละลายต่างทับทิม จะเกิดการแตกพันธะสามออกได้เป็นกรดคาร์บอกซิลิกสองโมเลกุล



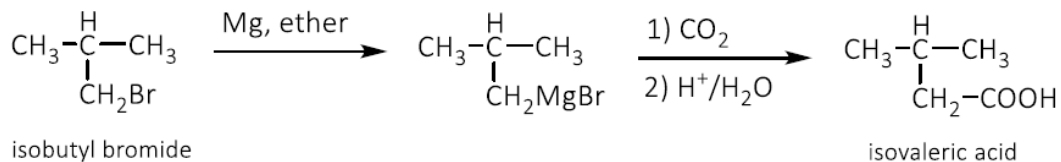
#### Example



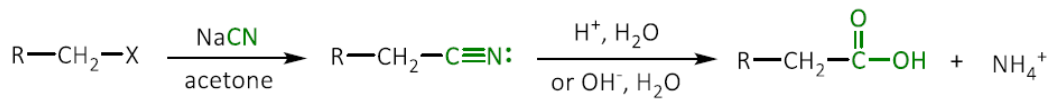
### 2.4) ปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชันของกริญญารีเอเจนต์



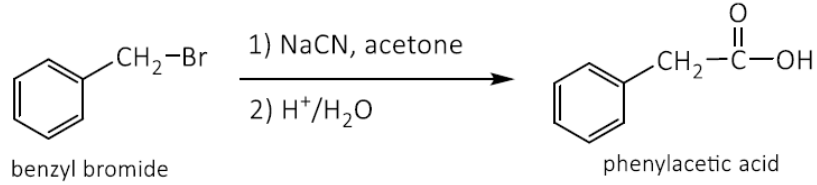
#### Example



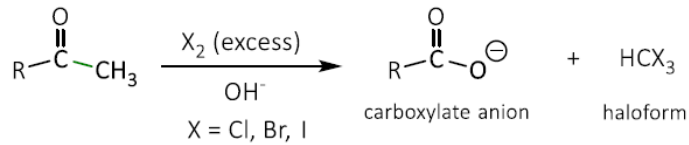
### 2.5) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไนไตรล์



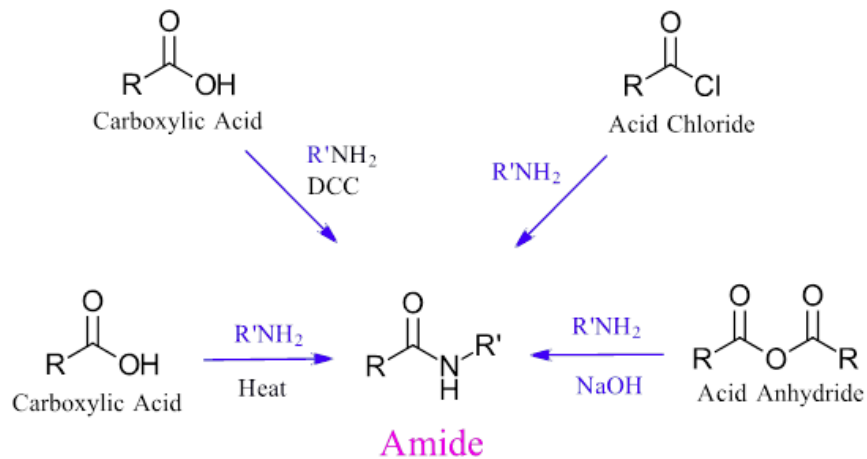
Example



### 2.6) ปฏิกิริยา Haloform

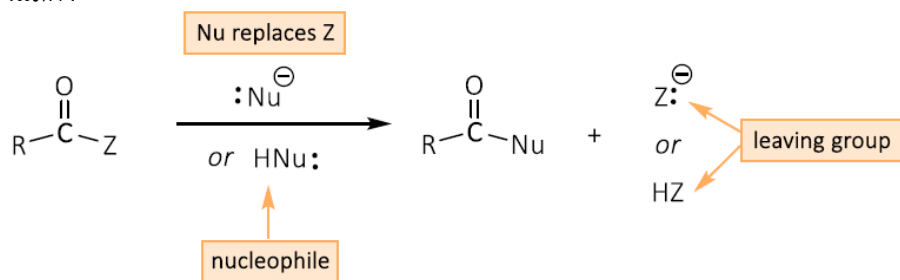


### 2.7) ปฏิกิริยาการเตรียมเอไมด์

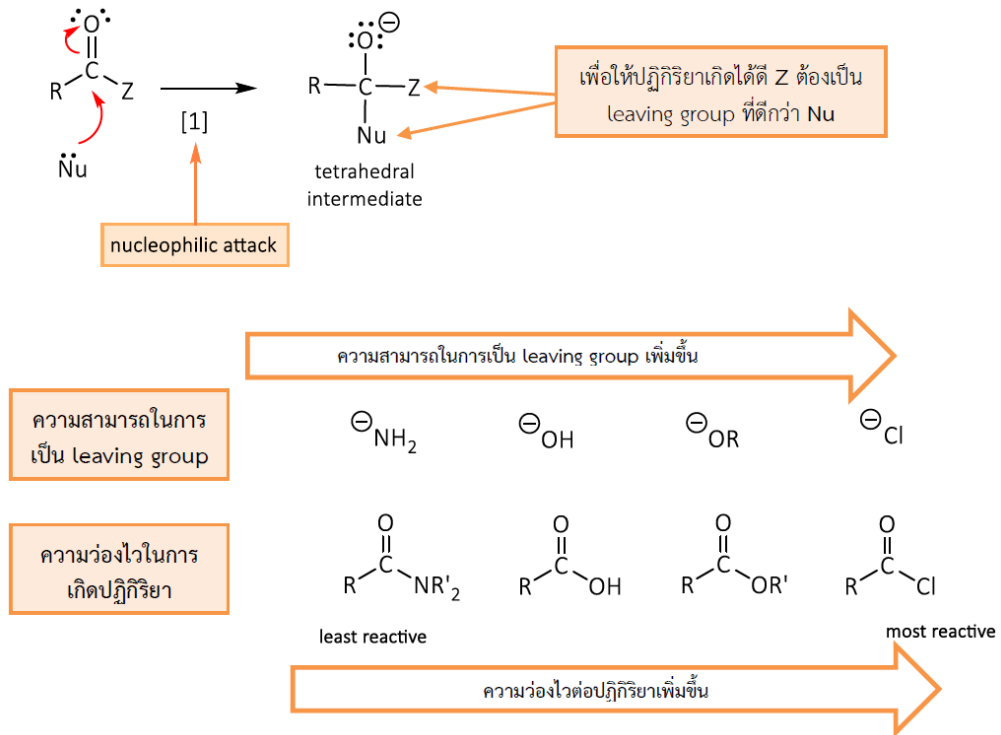


### 5) ปฏิกิริยาทั่วไปของกรดคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์

กรดคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิก (RCOZ) จะเกิดปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ ปฏิกิริยาสุทธิเหมือนนิวคลีโอไฟล์ (:Nu) แทนที่ Z แล้ว Z จะหลุดออกมาเป็น leaving group ดังแสดง





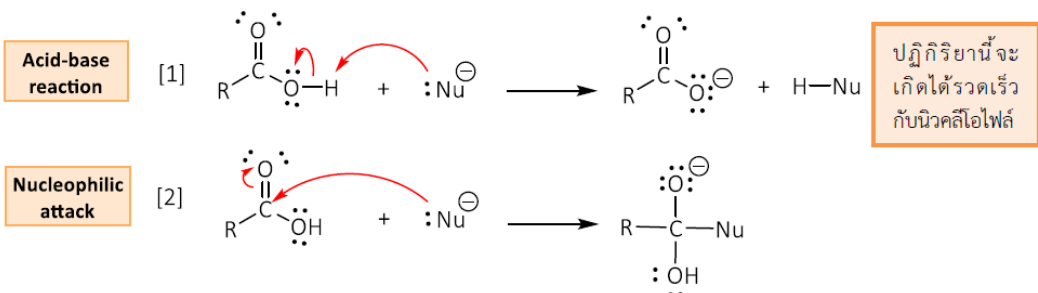


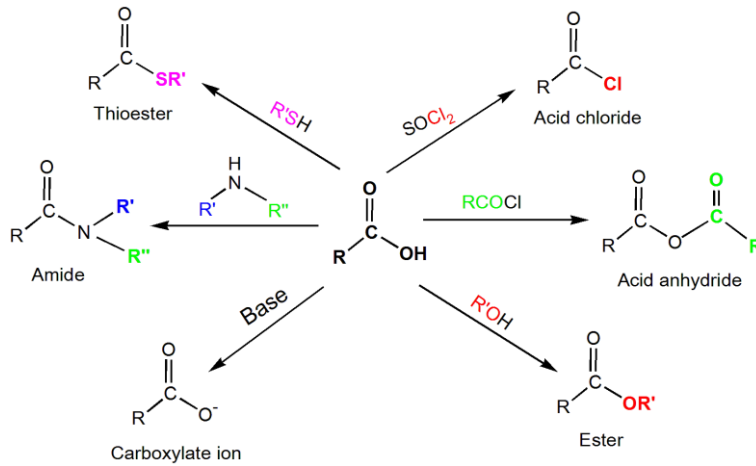
ภาพที่ 7.4 ความว่องไวของปฏิกิริยากรดคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิกต่อปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์

### 3.1) ปฏิกิริยาของกรดคาร์บอกซิลิก

กรดคาร์บอกซิลิกสามารถเกิดปฏิกิริยาได้สองแบบคือ 1) ปฏิกิริยากรดเบส 2) ปฏิกิริยาการเติมนิวคลีโอไฟล์ที่หมู่คาร์บอนิล

#### ปฏิกิริยาที่มักเกิดกับกรดคาร์บอกซิลิก

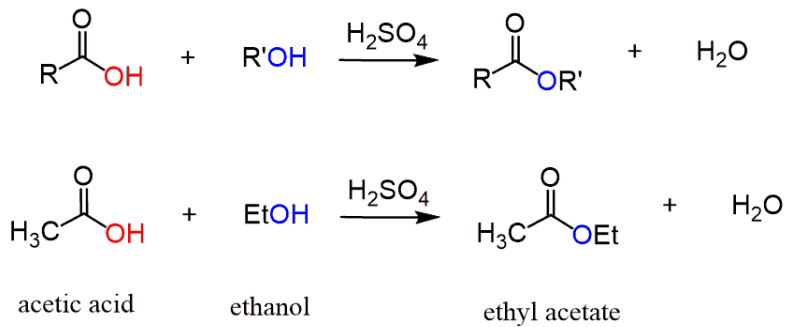




ภาพที่ 7.5 ปฏิกิริยาของกรดคาร์บอกซิลิก

### 3.2) ปฏิกิริยาฟิชเชอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน

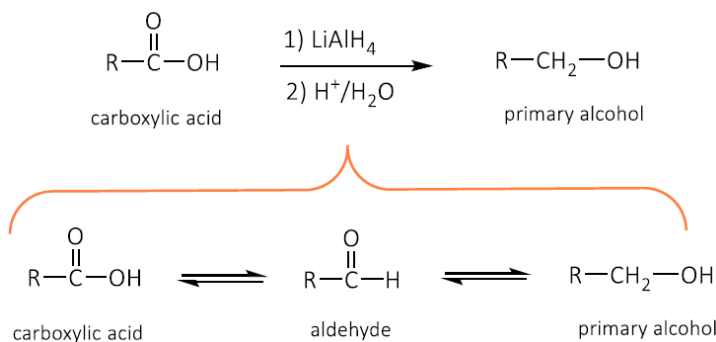
ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Fischer esterification) เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอล์โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้สารผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์

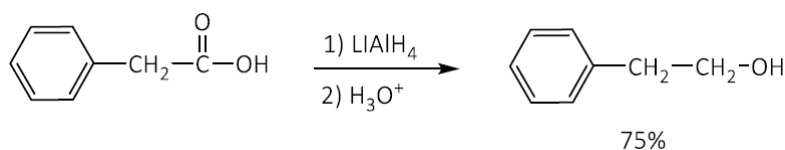


ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดคาร์บอกซิลิกจะเกิดขึ้นในกรด แต่จะไม่เกิดในสภาวะที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะเบสจะดึงโปรตอนของหมู่ COOH ออกไปจะเกิดเป็นคาร์บอกซิเลท (COO<sup>-</sup>) ซึ่งเป็นสปีชีส์ที่มีประจุลบเสมือนมีความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูงทำให้นิวคลีโอไฟล์อย่าง R'OH เข้ามาชนทำปฏิกิริยาได้ยาก

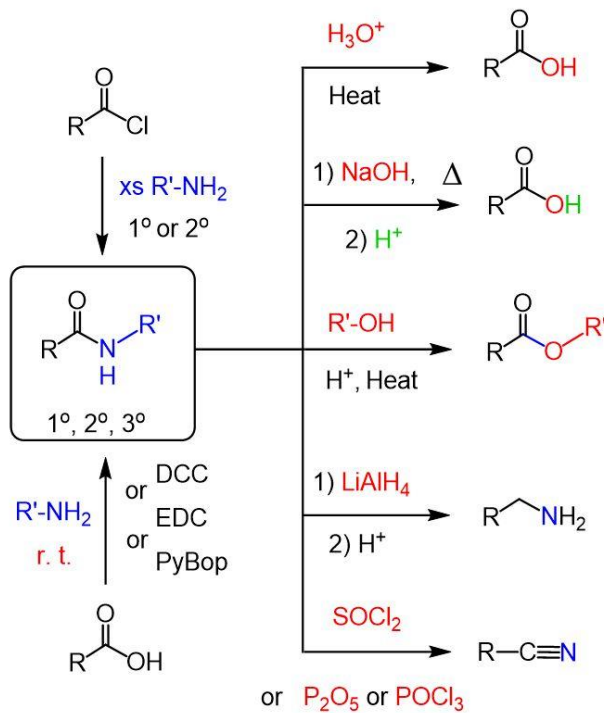
### 3.3) ปฏิกิริยารีดักชันของกรดคาร์บอกซิลิกได้เป็น 1° แอลกอฮอล์

กรดคาร์บอกซิลิกสามารถถูกรีดิวซ์ได้ด้วย LiAlH<sub>4</sub> ได้เป็น 1° แอลกอฮอล์ โดยจะเกิดเป็นแอลดีไฮด์ก่อนแล้วถูกรีดิวซ์ต่อกลายเป็นแอลกอฮอล์ในที่สุด





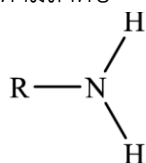
### 3.4) ปฏิกริยาของเอไมด์



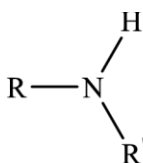
ภาพที่ 7.6 ปฏิกริยาของเอไมด์

### 7.1.2 เอมีน

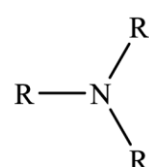
เอมีน (Amine) เป็นอนุพันธ์ของแอมโมเนียที่มีหมู่แอลคิลหรือหมู่เอริลหนึ่งหมู่หรือมากกว่า แทนที่อะตอมไฮโดรเจนหรือเกิดพันธะกับอะตอมไนโตรเจน ดังนั้นจึงแบ่งเอมีนออกเป็น 3 ชนิดคือ เอมีนปฐมภูมิ (primary amine, 1°) เอมีนทุติยภูมิ (secondary amine, 2°) และเอมีนตติยภูมิ (tertiary amine, 3°) ตามจำนวนหมู่แอลคิลหรือหมู่เอริลที่เกิดพันธะกับอะตอมไนโตรเจนจำนวน 1, 2 หรือ 3 หมู่ตามลำดับ



Primary amine



Secondary amine



Tertiary amine

เอมีนเป็นสารอินทรีย์กลุ่มใหญ่ซึ่งมีความสำคัญที่นำมาใช้ประโยชน์ทั้งด้านยารักษาโรคสีย้อมและอื่น ๆ มีทั้งแอลิฟาติกเอมีนและแอโรมาติกเอมีน

เอมีนเป็นเบสที่สำคัญที่สุด ส่วนใหญ่มีกลิ่นเหม็นและเป็นพิษ เอมีนเป็นโมเลกุลโคเวเลนต์ที่มีขั้ว ส่วนที่มีขั้วคือ  $-NH_2$  โดย N มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงกว่า จะมีสภาพขั้วไฟฟ้าลบ ส่วน H จะมีสภาพขั้วไฟฟ้าบวก เนื่องจากเป็นโมเลกุลมีขั้ว จึงละลายในน้ำได้ สารละลายของเอมีนแสดงสมบัติเป็นเบส

เอมีนชนิดที่เรียกว่าแอลคาลอยด์ พบในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น เมล็ด ใบ ดอก เปลือก และราก ตัวอย่างเช่น มอร์ฟีน พบในดอกฝิ่น ใช้เป็นยาบรรเทาปวด โคเคน พบในใบโคลา ใช้เป็นยาทาผิวหนัง ควินินพบในเปลือกต้นชินโคนา ใช้รักษาโรคมาเลเรีย

เอมีนที่เป็นก๊าซ มีกลิ่นเหม็นมาก บางชนิดกลั่นคล้ายปลาเน่า เป็นอันตรายต่อระบบหายใจ บางชนิดมีพิษ ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะผิวหนังและตา

ในอุตสาหกรรมยา มียาหลายชนิดที่เป็นยาในกลุ่มสารเอมีนเช่น

- ยาแก้แพ้เช่น Chlopheniramine
- ยาคลายเครียดเช่น Chlorpromazine
- ยาทำให้หลอดเลือดหดตัว/ยาหดหลอดเลือดเช่น ยาหยอดจมูก, ยา Ephedrine, Phenylephrine
- ยากระตุ้นระบบประสาทเช่น Amphetamine
- ยารักษาทางจิตเวชเช่น Amitriptyline, Tricyclic antidepressant (TCA)
- Heroin

กรดคาร์บอกซิลิกเป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็น  $R-COOH$  กรดคาร์บอกซิลิกละลายน้ำได้เนื่องจากโมเลกุลมีสภาพขั้วโมเลกุลสูง โดยหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วมีถึง 2 หมู่ คือหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) และหมู่คาร์บอนิล ( $C=O$ ) แต่สภาพละลายได้ของกรดคาร์บอกซิลิกจะลดลงเมื่อจำนวนอะตอมคาร์บอนเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลมีส่วนที่ไม่มีขั้วมากขึ้น

เอมีนเป็นอนุพันธ์ของแอมโมเนียที่มีหมู่แอลคิลหรือหมู่แอริลหนึ่งหมู่หรือมากกว่าแทนที่อะตอมไฮโดรเจนหรือเกิดพันธะกับอะตอมไนโตรเจน เอมีนออกเป็นเอมีนปฐมภูมิ เอมีนทุติยภูมิ และเอมีนตติยภูมิ ตามจำนวนหมู่แอลคิลหรือหมู่แอริลที่เกิดพันธะกับอะตอมไนโตรเจน เอมีนเป็นสารอินทรีย์กลุ่มใหญ่ซึ่งมีความสำคัญที่นำมาใช้ประโยชน์ทั้งด้านยารักษาโรคสีย้อมและอื่น ๆ มีทั้งแอลิฟาติกเอมีนและแอโรมาติกเอมีน

**วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน**

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

**กิจกรรมที่มอบหมาย**

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 7.1
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

**การวัดผล**

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

**แบบฝึกหัด**

1. แบบฝึกหัด 7.1

### เอกสารอ้างอิง

- กรดคาร์บอกซิลิกและเอสเทอร์. <https://sites.google.com/a/sapit.ac.th/unaritsara/04-bthna-su-xinthry-khemi/9-krd-khar-bxk-si-lik-laea-xe-s-the-xr>
- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online ed.).  
<https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

# หน่วยที่ 7

## แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก

### บทเรียนที่ 7.2 แอลิไซคลิกและเฮเทอโรไซคลิก

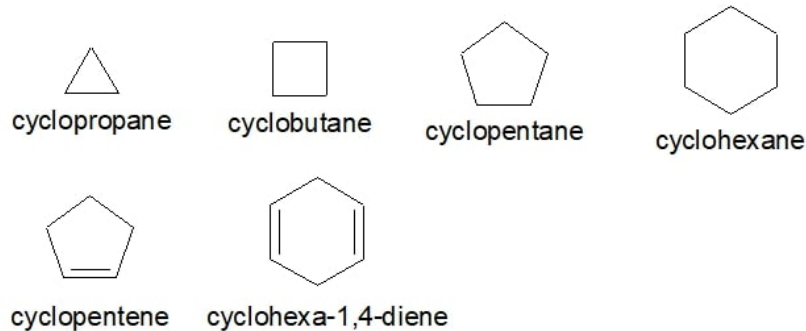
#### จุดประสงค์เฉพาะ

1. อธิบายแอลิไซคลิก
2. อธิบายเฮเทอโรไซคลิก

#### 7.2.1 แอลิไซคลิก

##### 1) ประเภทแอลิไซคลิก

แอลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (Alicyclic hydrocarbon) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนโดยที่คาร์บอนในวงแหวนเกาะกันด้วยพันธะเดี่ยวเป็นส่วนใหญ่ แต่อาจจะมีพันธะคู่หรือพันธะสาม



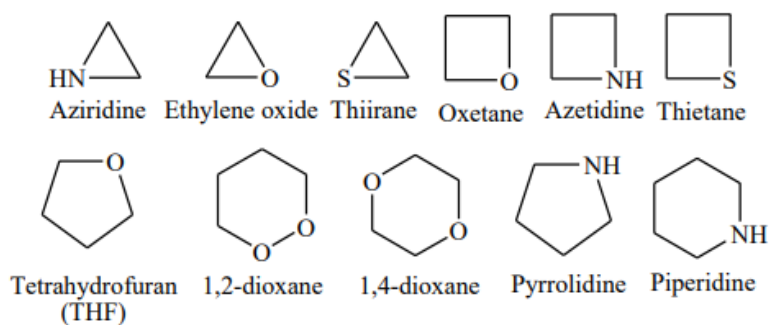
ภาพที่ 7.7 โครงสร้างของสารประกอบแอลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน

#### 7.2.2 เฮเทอโรไซคลิก

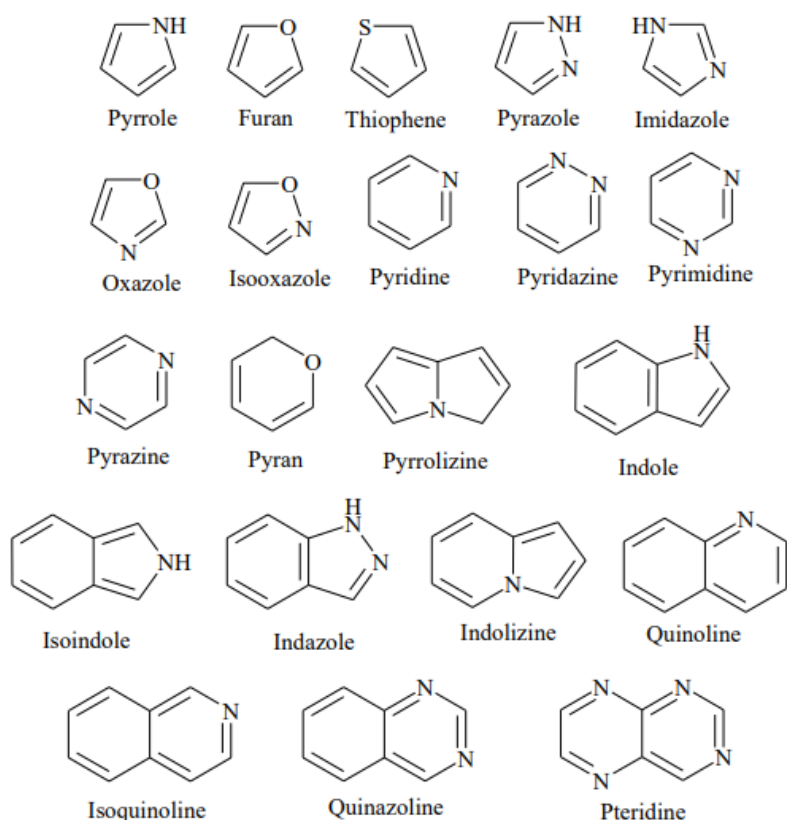
##### 1) ประเภทเฮเทอโรไซคลิก

สารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic compounds) ได้แก่สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวง แต่มีอะตอมของธาตุอื่น เช่น O, N หรือ S มากันอยู่ระหว่างคาร์บอนอะตอม สารประกอบเฮเทอโรไซคลิก แบ่งตามประเภทไฮโดรคาร์บอนได้เป็น

- แอลิฟาติกเฮเทอโรไซคลิก (aliphatic heterocyclic) ดังภาพที่ 7.8
- แอโรแมติกเฮเทอโรไซคลิก (aromatic heterocyclic) ดังภาพที่ 7.9



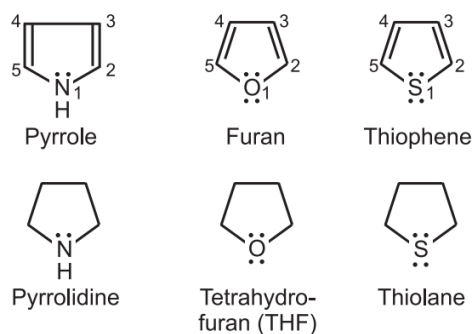
ภาพที่ 7.8 โครงสร้างของสารประกอบแอลิฟาติกเฮเทอโรไซคลิก



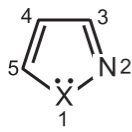
ภาพที่ 7.9 โครงสร้างของสารประกอบแอโรแมติกเฮเทอโรไซคลิก

เราสามารถจำแนกประเภทของเฮเทอโรไซคลิกตามจำนวนอะตอมในวงแหวน ดังนี้

1) วงแหวนห้าเหลี่ยมที่มีเฮเทอโรอะตอม 1 อะตอม



2) วงแหวนห้าเหลี่ยมที่มีเฮเทอโรอะตอม 2 อะตอม (1, 2 - azoles):

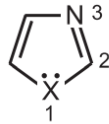


(i) Pyrazole: X = N – H

(ii) Isoxazole: X = O

(iii) Isothiazole: X = S

3) วงแหวนห้าเหลี่ยมที่มีเฮเทอโรอะตอม 3 อะตอม (1, 3 - azoles):

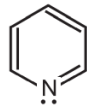


(i) Imidazole: X = N – H (Azole)

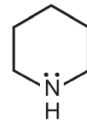
(ii) Oxazole: X = O (Oxa)

(iii) Thiazole: X = S (Thia)

4) วงแหวนหกเหลี่ยมที่มีเฮเทอโรอะตอม 1 อะตอม



Pyridine



Piperidine

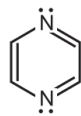
5) วงแหวนหกเหลี่ยมที่มีเฮเทอโรอะตอม 2 อะตอม



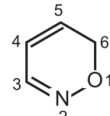
Pyridazine



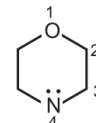
Pyrimidine



Pyrazine

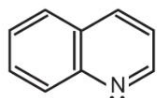


1,2-oxazine

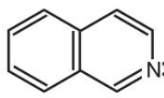


Morpholine

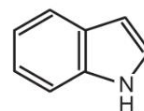
6) Polycyclic heterocyclic rings



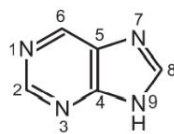
Quinoline



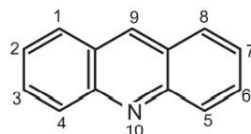
Isoquinoline



Indole



Purine



Acridine

### สรุปท้ายบทเรียน

แอลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนโดยที่คาร์บอนในวงแหวนเกาะกันด้วยพันธะเดี่ยวเป็นส่วนใหญ่ แต่อาจจะมีพันธะคู่หรือพันธะสาม

สารประกอบเฮเทอโรไซคลิกคือสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวง แต่มีอะตอมของธาตุอื่น เช่น O, N หรือ S มาคั่นอยู่ระหว่างคาร์บอนอะตอม สารประกอบเฮเทอโรไซคลิกแบ่งตามประเภทไฮโดรคาร์บอนได้เป็นแอลิฟาติกเฮเทอโรไซคลิกและแอโรแมติกเฮเทอโรไซคลิก

**วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน**

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

**กิจกรรมที่มอบหมาย**

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 5.1
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

**การวัดผล**

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

**แบบฝึกหัด**

1. แบบฝึกหัด 7.2

### เอกสารอ้างอิง

- Mistry, S. (2021, Aug 15). *Classification of Heterocyclic Compounds*.  
<https://solutionpharmacy.in/classification-of-heterocyclic-compounds/>
- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online).  
<https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

## หน่วยที่ 8 แอรโรแมติกและอนุพันธ์

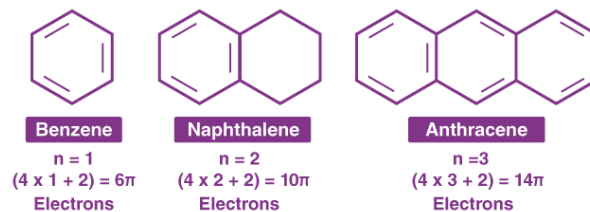
### บทเรียนที่ 8.1 แอรโรแมติกและอนุพันธ์

#### จุดประสงค์เฉพาะ

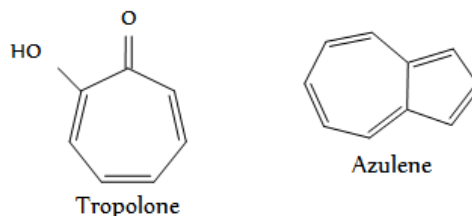
1. อธิบายแอรโรแมติกและอนุพันธ์
2. อธิบายปฏิกิริยาของแอรโรแมติก

#### 8.1.1 แอรโรแมติก

แอรโรแมติก (Aromatic) มาจากภาษากรีกว่า aroma แปลว่า น้ำหอมหรือเครื่องหอม ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งที่มีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ มีโครงสร้างเป็นวง จึงเรียกว่ากลุ่มสารประกอบแอรโรแมติก โดยมีวงเบนซีน (benzene) เป็นโครงสร้างหลัก จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสารประกอบเบนซีนอยด์ (benzenoid compound) ซึ่งมีสมบัติแตกต่างจากสารพวกแอลิไซคลิก (alicyclic compound) โดยอาจมีวงเดี่ยวหรือหลายวงก็ได้ ถ้าเป็นวงเดี่ยวไม่มีหมู่ใด ๆ มาเกาะจะมีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_n$  เช่น เบนซีน มีสูตร  $C_6H_6$  เป็นต้น ถ้ามีหลายวงจะมีสูตรแตกต่างกันตามจำนวนวงของสารนั้น เช่น แนพทาลีน (มี 2 วงติดกัน) มีสูตร  $C_{10}H_8$  แอนทราซีน (มี 3 วงติดกัน) มีสูตร  $C_{14}H_{10}$  เป็นต้น



ส่วนสารประกอบที่มีสมบัติเช่นเดียวกับสารประกอบแอรโรแมติก แต่ไม่มีวงเบนซีนเป็นโครงสร้างหลัก เรียกว่า สารประกอบแอรโรแมติกที่ไม่มีวงเบนซีน (non-benzenoid compound)



#### 1) สมบัติของสารประกอบแอรโรแมติก

- (1) สารประกอบแอรโรแมติกจะมีโครงสร้างเป็นวง (cyclic หรือ ring structure)

(2) เป็นสารประกอบที่ไม่อิ่มตัว แต่ไม่ตอบสนองต่อวิธีการทดสอบที่ใช้สำหรับสารไม่อิ่มตัว

(3) มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในอัตราส่วนที่สูง ดังนั้นเมื่อเผาไหม้จึงมีควันมาก

(4) เป็นสารประกอบที่มีความเสถียรสูงมาก

(5) ความเสถียรเกิดจากการเคลื่อนที่ของไพ-อิเล็กตรอน (pi-electrons) ไปตามระนาบของวงแหวน (planar ring structure) สอดคล้องกับกฎของฮุกเกิล (Huckel's rule) กล่าวว่ สารประกอบที่เป็นวงจะมีสมบัติเป็นแอโรแมติกได้จะต้องมีการเคลื่อนย้ายของระบบไพ-อิเล็กตรอน  $(4n+2)$

(6) คาร์บอนแต่ละอะตอมในวงมีออร์บิทัล-p หนึ่งออร์บิทัล

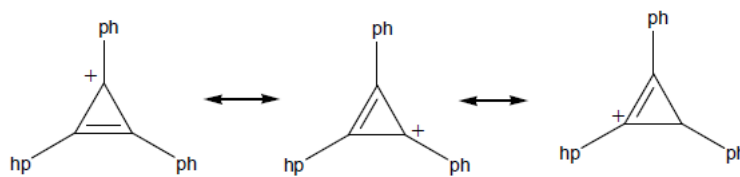
(7) วงต้องมีลักษณะแบนราบหรือใกล้เคียงมากที่สุด เพื่อให้ออร์บิทัล-p ในวงซ้อนทับอย่างต่อเนื่อง

## 2) ประเภทของสารประกอบแอโรแมติก

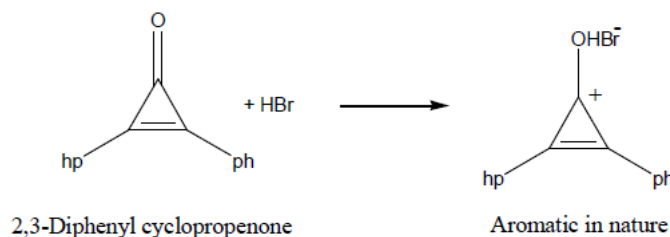
### 2.1) สารประกอบแอโรแมติกวงเดียว

แอรีน (arene) เป็นรูปทั่วไปของแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน มีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n-6y}$  เมื่อ  $y$  คือจำนวนวงแหวน ถ้า  $n=6, y=1$  มีสูตรเป็น  $C_6H_6$  เป็นสมาชิกตัวแรกของแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน มีชื่อเรียกว่าเบนซีน ค้นพบโดยฟาราเดย์ (Faraday, ค.ศ.1825) และเสนอโครงสร้างที่ถูกต้องโดยเคคูเล (Kekule, ค.ศ.1865) แห่ล่งที่พบมากที่สุด คือ น้ำมัน ถ่านหินน้ำมันปิโตรเลียม สารประกอบแอโรแมติกจะมีความเสถียรเป็นพิเศษเนื่องจากการเคลื่อนที่ของไพ-อิเล็กตรอนไปตามระนาบของวงแหวนได้อย่างสะดวก และสารประกอบที่เป็นวงจะมีสมบัติเป็นแอโรแมติกได้จะต้องมีการเคลื่อนย้ายของระบบไพ-อิเล็กตรอน  $(4n+2)$  เมื่อ  $n= 0, 1, 2, 3, \dots$

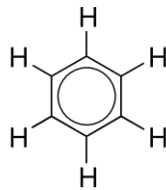
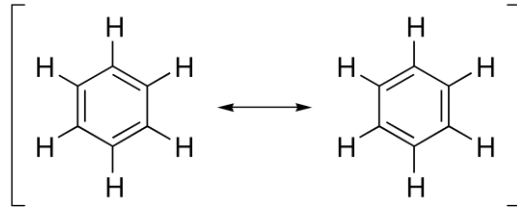
(1) เมื่อ  $n=0$  ไพ-อิเล็กตรอน  $(4 \times 0 + 2)$  มีสมบัติเป็นแอโรแมติก เช่น triphenyl cyclopropyl cation ดังโครงสร้างเรโซแนนซ์ต่อไปนี้



เกลือของสารประกอบมากมายที่มี cyclopropenium cation มีสมบัติแอโรแมติก เช่น hydroxydiphenylcyclopropenyl bromide



(2) เมื่อ  $n=1$  นั่นคือ  $(4 \times 1 + 2)\pi = 6\pi$ -อิเล็กตรอน โดย 1 วงแหวนของสารมี  $6\pi$ -อิเล็กตรอน สารประกอบเหล่านี้มีสมบัติแอโรแมติก เช่น เบนซีน มีพันธะคู่ 3 พันธะ และ  $6\pi$ -อิเล็กตรอนที่สามารถเคลื่อนที่รอบวงเบนซีน จึงมีสมบัติแอโรแมติก

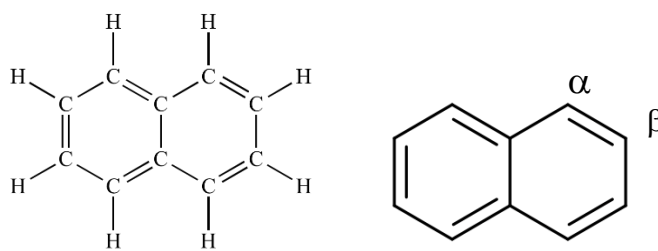


ภาพที่ 8.1 โครงสร้างเบนซีน

## 2.2) สารประกอบแอโรแมติกหลายวง

สารประกอบแอโรแมติกที่มีหลายวง (polycyclic aromatic compound) เกิดจากวงเบนซีนสองวงหรือมากกว่าเชื่อมต่อกัน โดยใช้คาร์บอนสองอะตอมร่วมกัน

(1) แนพทาลิน (naphthalene) เป็นสารประกอบแอโรแมติกที่มีวงแหวนสองวงในแนพทาลินเชื่อมต่อกัน วงแอโรแมติกในแนพทาลินมีทั้งหมด 10 ไพ-อิเล็กตรอน ถ้าสองวงนี้แยกกันแต่ละวงมี 6 ไพ-อิเล็กตรอน และเมื่อรวมกันแล้วน่าจะเป็น 12 ไพ-อิเล็กตรอน แต่ในแนพทาลินมีเพียง 10 ไพ-อิเล็กตรอนเท่านั้น ทำให้แนพทาลินมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนน้อยกว่าในเบนซีน ส่งผลให้แนพทาลินมีพลังงานเรโซแนนซ์น้อยกว่าเบนซีนประมาณ 2 เท่า คือมีค่านี้ 60 kcal/mol (หรือ 30 kcal/mol ต่อวง) เปรียบเทียบกับพลังงานเรโซแนนซ์ของเบนซีนมีค่าถึง 36 kcal/mol

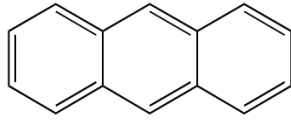


ภาพที่ 8.2 โครงสร้างแนพทาลิน

จะมีตำแหน่งที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่อะตอมหนึ่งหมู่ได้เพียง 2 ตำแหน่งเท่านั้น คือที่ตำแหน่งแอลฟา ( $\alpha$ -position) และเบตา ( $\beta$ -position)

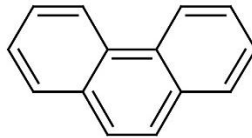
(2) แอนทราซีน (anthracene) มีวงแอโรแมติกสามวงเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรง โดยทั่วไปสารประกอบแอโรแมติกที่มีวงเพิ่มขึ้นจะมีพลังงานเรโซแนนซ์ต่อวงลดลงและมีความไวต่อ

ปฏิกิริยามากขึ้น เช่น ไตรไวดคลิกแอนทราซีนมีพลังงานเรโซแนนซ์ 84 kcal/mol หรือ 28 kcal/mol ต่อวงแอโรแมติก 1 วง เป็นต้น



ภาพที่ 8.3 โครงสร้างแอนทราซีน

(3) ฟิแนนทรีน (phenanthrene) มีวงแอโรแมติก 3 วงเช่นเดียวกับแอนทราซีนแต่การเชื่อมต่อของวงทั้งสามแตกต่างกัน ทำให้ฟิแนนทรีนมีพลังงานเรโซแนนซ์มากกว่าแอนทราซีนเล็กน้อย คือมีค่า 91 kcal/mol หรือ 30.3 kcal/mol ต่อวงแอโรแมติก 1 วงสารนี้มี 14 ไพ-อิเล็กตรอน อยู่ในวงแอโรแมติกสามวง ถ้าแยกเป็นวงเบนซีนสามวงจะมีถึง 18 ไพ-อิเล็กตรอน ( $6 \times 3 = 18$ ) ทำให้โมเลกุลแอนทราซีนมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนน้อยกว่าเบนซีนเป็นเหตุให้สารสองชนิดนี้มีพลังงานเรโซแนนซ์ต่ำกว่าเบนซีน

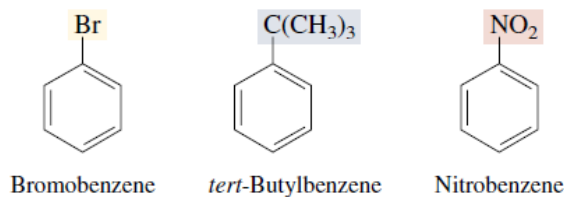


ภาพที่ 8.4 โครงสร้างฟิแนนทรีน

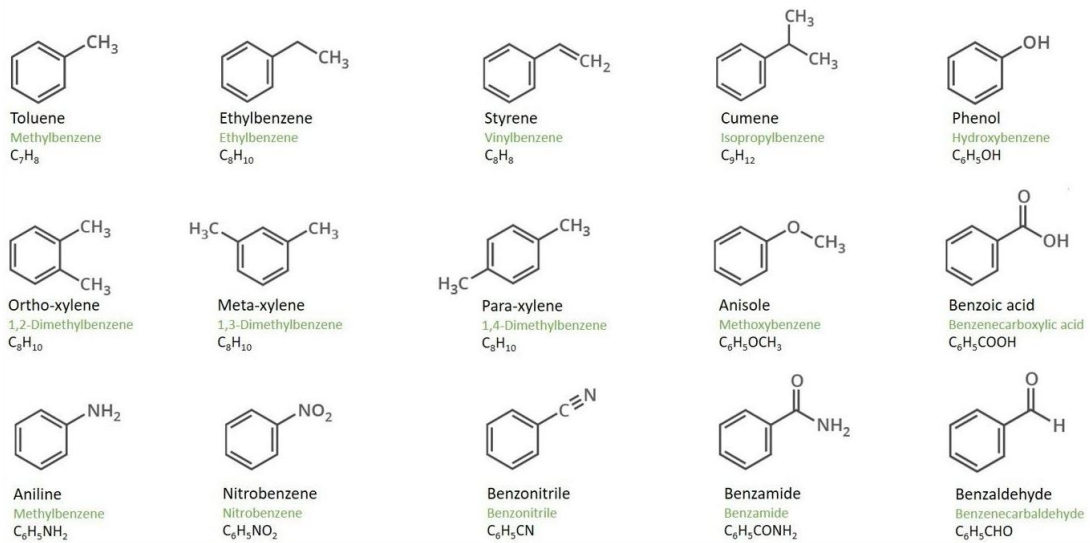
### 3) การเรียกชื่ออนุพันธ์ของเบนซีน

สารประกอบแอโรแมติกที่มีวงเบนซีนเป็นองค์ประกอบและอนุพันธ์ของเบนซีนเป็นสารกลุ่มใหญ่ที่สุด การเรียกชื่อนั้นจะเรียกหมู่แทนที่แล้วตามด้วยคำว่าเบนซีน (-benzene) ต่อท้าย

(1) การเรียกชื่อสามัญ เมื่ออนุพันธ์ของเบนซีนที่เกิดจากไฮโดรเจนของเบนซีนถูกแทนที่ 1 อะตอม ให้เรียกอะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่มาแทนที่ก่อนแล้วลงท้ายด้วยเบนซีน

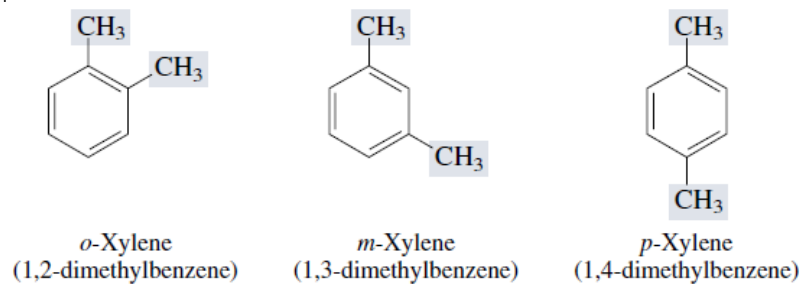


ภาพที่ 8.5 ชื่อสามัญของอนุพันธ์เบนซีน



ภาพที่ 8.6 อนุพันธ์ของเบนซีนที่สำคัญบางชนิด (บรรทัดบนเป็นชื่อสามัญหรือชื่อเฉพาะ และบรรทัดกลางเป็น IUPAC)

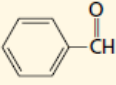
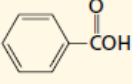
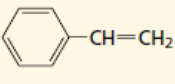
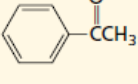
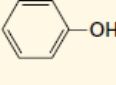
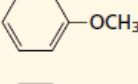
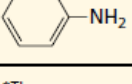
อนุพันธ์ไดเมทิลเบนซีนที่เรียกว่า ไซลีน (xylene) มี 3 ไอโซเมอร์ คือ ortho (o)-, meta (m)- และ para (p)- เมื่อตำแหน่งที่ไฮโดรเจนถูกแทนที่ด้วย 1 กับ 2, 1 กับ 3 และ 1 กับ 4 ตามลำดับ ซึ่งจะใช้กับอนุพันธ์อื่น ๆ ของเบนซีนด้วย



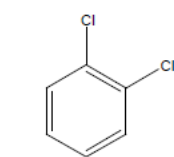
ภาพที่ 8.7 อนุพันธ์ไซลีน

(2) การเรียกชื่อ IUPAC การเรียกชื่ออนุพันธ์ของเบนซีนตามระบบ IUPAC นั้นจะใช้ตัวเลขบอกตำแหน่งของอะตอมหรือกลุ่มอะตอมต่าง ๆ ที่มาแทนที่อะตอมไฮโดรเจนของเบนซีนด้วยตัวเลขที่น้อยที่สุด โดยเรียกหมู่ที่มาแทนที่ก่อนแล้วลงท้ายด้วยเบนซีน หรืออนุพันธ์ของเบนซีนแล้วแต่กรณี

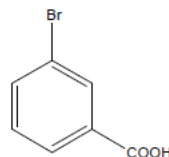
ตารางที่ 8.1 โครงสร้างและชื่ออนุพันธ์ของเบนซีนตามระบบ IUPAC

Structure	Systematic Name	Common Name*
	Benzenecarbaldehyde	Benzaldehyde
	Benzenecarboxylic acid	Benzoic acid
	Vinylbenzene	Styrene
	Methyl phenyl ketone	Acetophenone
	Benzenol	Phenol
	Methoxybenzene	Anisole
	Benzenamine	Aniline

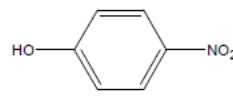
\*These common names are acceptable in IUPAC nomenclature and are the names that will be used in this text.



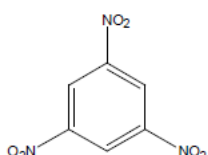
1,2-dichlorobenzene



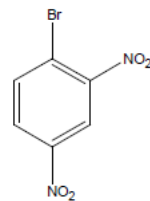
3-bromobenzoic acid



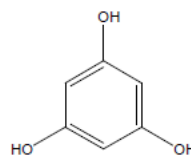
4-nitrophenol



1,3,5-trinitrobenzene

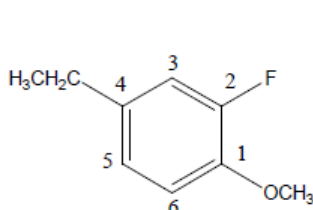


2,4-dinitrophenol

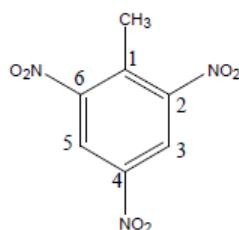


3,5-dihydroxybenzoic acid

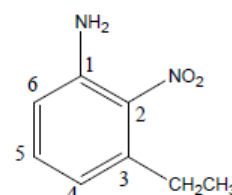
สำหรับการระบุด้วย o-, m- และ p- จะใช้ไม่ได้ เมื่อมีหมู่แทนที่ตั้งแต่ 3 หมู่ ขึ้นไปในวงเบนซีน แต่จะระบุด้วยตัวเลขบอกตำแหน่งแทน



4-Ethyl-2-fluoroanisole

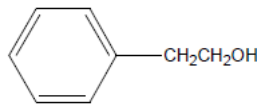


2,4,6-Trinitrotoluene

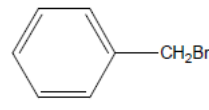


3-Ethyl-2-methylaniline

เมื่อวงเบนซีนเป็นหมู่แทนที่ จะมีชื่อเรียกดังนี้ Phenyl ใช้สำหรับ  $C_6H_5-$  และเมื่อแอรินเป็นหมู่แทนที่จะเรียกว่าหมู่ aryl และหมู่ benzyl คือ  $C_6H_5CH_2-$  เช่น

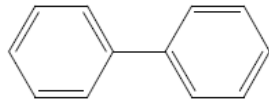


2-Phenylethanol

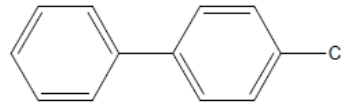


Benzyl bromide

สำหรับไบฟีนิล (Biphenyl) เป็นชื่อ IUPAC ของสารประกอบที่เกิดจากวงเบนซีน 2 วงต่อกันด้วยพันธะเดี่ยว



Biphenyl

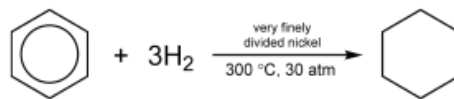
*p*-Chlorobiphenyl

### 8.1.2 ปฏิกิริยาของแอโรแมติก

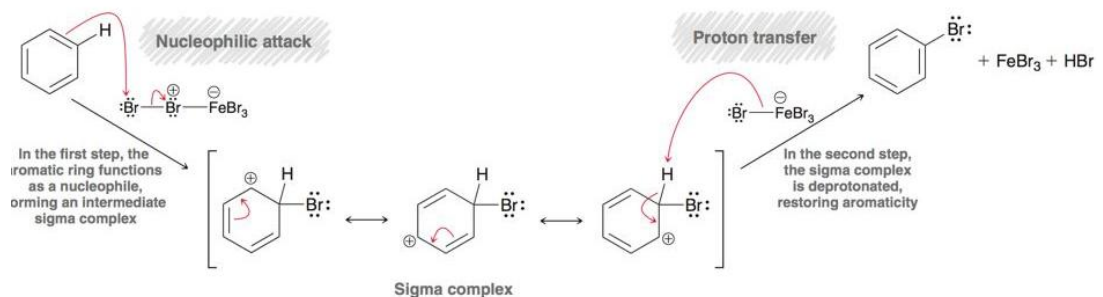
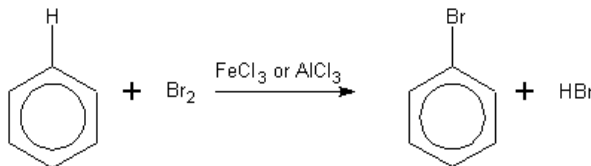
#### 1) ปฏิกิริยาการเติม

ปฏิกิริยานี้จะไม่ใช่สมบัติของเบนซีน แต่จะเกิดขึ้นได้ในสภาวะพิเศษเท่านั้น

##### 1.1) การเติมไฮโดรเจน

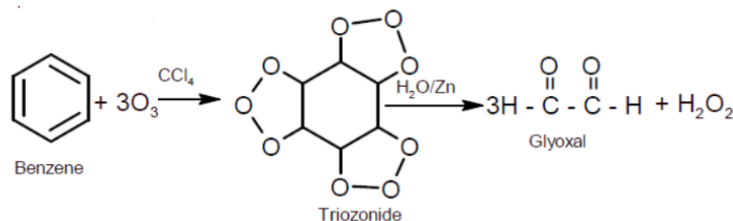


1.2) ปฏิกิริยาการเติมแฮโลเจน ในสภาวะที่เย็น มีความมืด และมีตัวพาแฮโลเจนหรือกรดลิวอิส (Lewis acids) เช่น  $FeCl_3$ ,  $AlCl_3$  และอื่น ๆ เกิดเป็น แฮโลแอริน (haloarene)



ภาพที่ 8.8 กลไกปฏิกิริยาการเติมแฮโลเจน

### 1.3) ปฏิกิริยาการเติมโอโซน

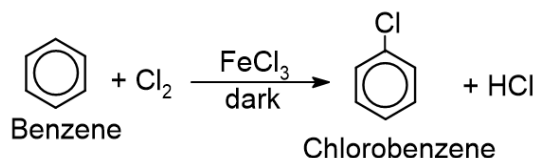


## 2) ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์

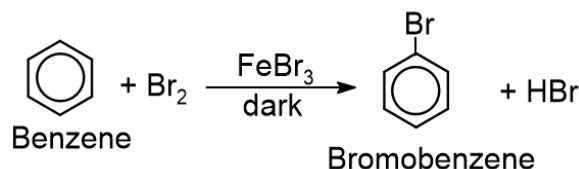
ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์ (electrophilic aromatic substitution) เป็นปฏิกิริยาการแทนที่อะตอมไฮโดรเจนในวงแหวนแอโรแมติกด้วยอะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่ขาดอิเล็กตรอนหรือมีความต้องการอิเล็กตรอน เรียกรวมเหล่านี้ว่า อิเล็กโตรไฟล์ (E<sup>+</sup>) ปฏิกิริยานี้เป็นสมบัติที่แท้จริงของวงเบนซีน

### 2.1) ปฏิกิริยาแฮโลจิเนชัน (halogenation)

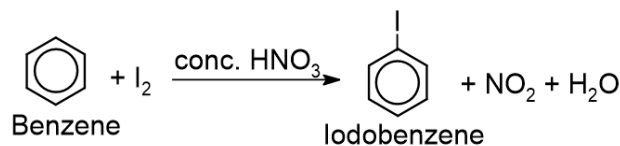
- คลอรีเนชัน (chlorination) อิเล็กโตรไฟล์ที่เข้าทำปฏิกิริยา คือ Cl<sup>+</sup>



- โบรมิเนชัน (bromination) อิเล็กโตรไฟล์ที่เข้าทำปฏิกิริยา คือ Br<sup>+</sup>



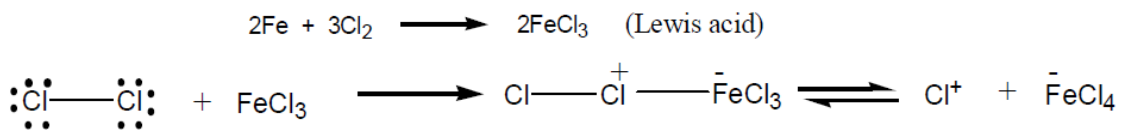
- ไอโอดิเนชัน (iodination) ปฏิกิริยานี้ผันกลับได้ โดย HI เป็น reducing agent ที่ดี ซึ่งสามารถรีดิวซ์ไอโอดิเบนซีนกลับคืนไปเป็นเบนซีนได้



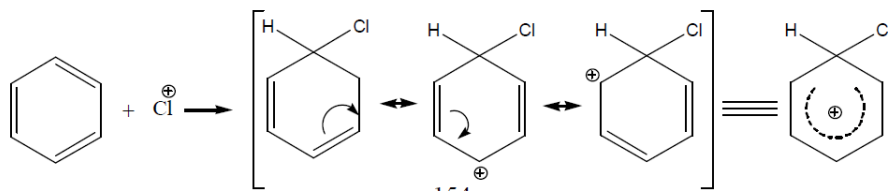
ไอโอดิเนชันสามารถเกิดขึ้นในสถานะที่มีตัวออกซิไดส์ (oxidizing agent) เช่น กรดไอโอดิก (HIO<sub>3</sub>) กรดไนตริก (HNO<sub>3</sub>) หรือ HgO ซึ่งจะเปลี่ยน HI ไปเป็น I<sub>2</sub> ส่วนปฏิกิริยาฟลูออริเนชัน (Fluorination) จะไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยตรงเนื่องจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรุนแรง

กลไกของปฏิกิริยาจะผ่านขั้นตอน 3 ขั้นตอนคือ

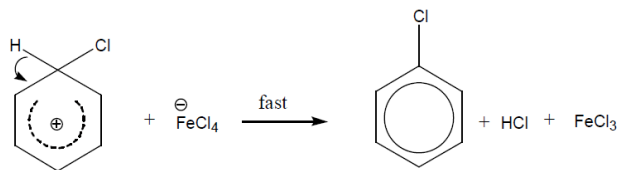
ขั้นที่ 1 การเกิดอิเล็กโตรไฟล์ โดยกรดคลอริค (Fe, FeCl<sub>3</sub> หรือ AlCl<sub>3</sub>) จะทำปฏิกิริยากับ Cl<sub>2</sub> จะเกิดเป็นอิเล็กโตรไฟล์ Cl<sup>+</sup> (chloronium ion)



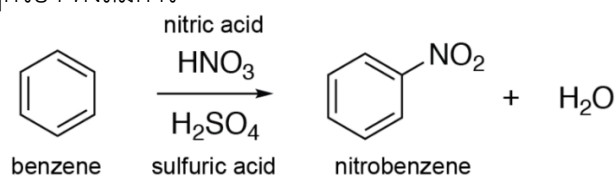
ขั้นที่ 2 การเกิด  $\sigma$ -complex โดย  $\text{Cl}^+$  ที่เกิดขึ้นในขั้นที่ 1 เข้าร่วมกับ  $\pi$ -electron ของเบนซีนก่อนที่จะเกิดเป็น  $\pi$ -complex แล้วจะเปลี่ยนไปเป็น  $\sigma$ -complex (Wheland intermediate) และ  $\sigma$ -complex ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปของคาร์โบเนียมไอออนและมีความเสถียรเนื่องจากการเกิดเรโซแนนซ์



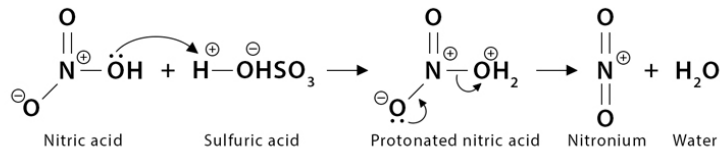
ขั้นที่ 3 การดึงโปรตอนจาก  $\sigma$ -complex โดยเบส  $\text{FeCl}_4^-$  จะดึงโปรตอนจาก  $\sigma$ -complex เกิดผลิตภัณฑ์เป็นคลอโรเบนซีน ซึ่งความเสถียรของแอโรแมติกเกิดจากการดึงโปรตอนจาก  $\sigma$ -complex ดังสมการ



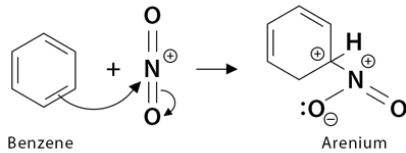
2.2) ปฏิกิริยาไนเตรชัน (nitration) เบนซีนสามารถทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกเข้มข้นและร้อนได้ในโตรเบนซีน ปฏิกิริยาจะเกิดได้อย่างรวดเร็วและเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ ถ้าใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการ



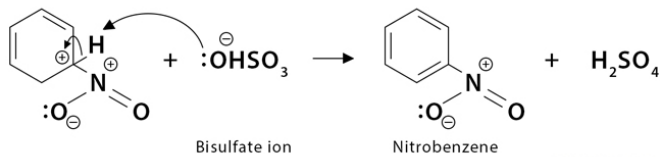
Step 1: Generation of the nitronium ion



Step 2: Attack of the nitronium ion



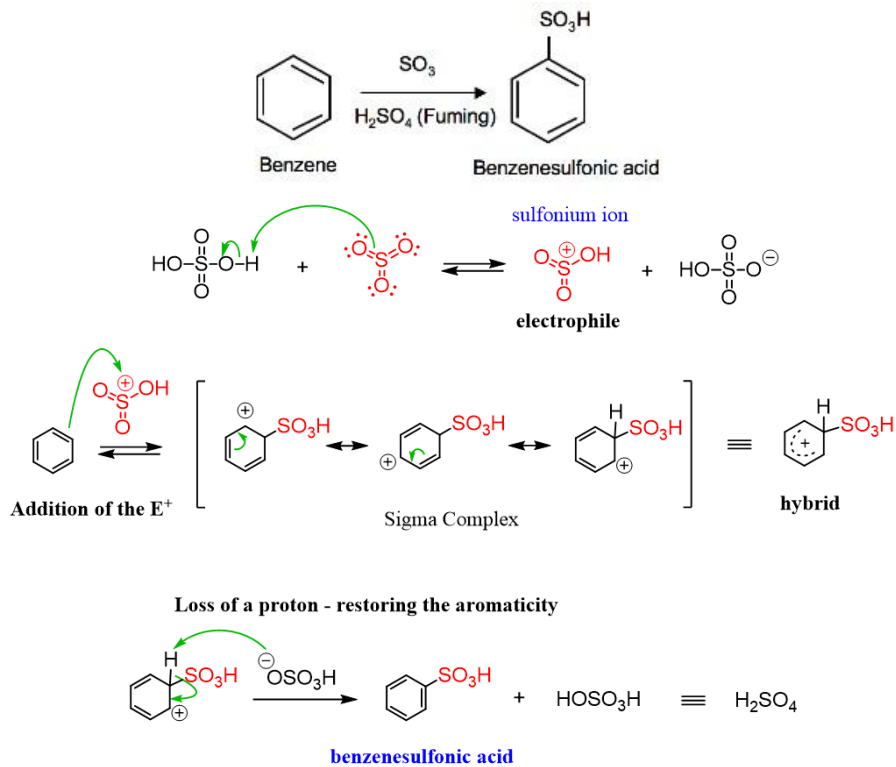
Step 3: Deprotonation of the arenium intermediate



ภาพที่ 8.9 กลไกปฏิกิริยาไนเตรชัน

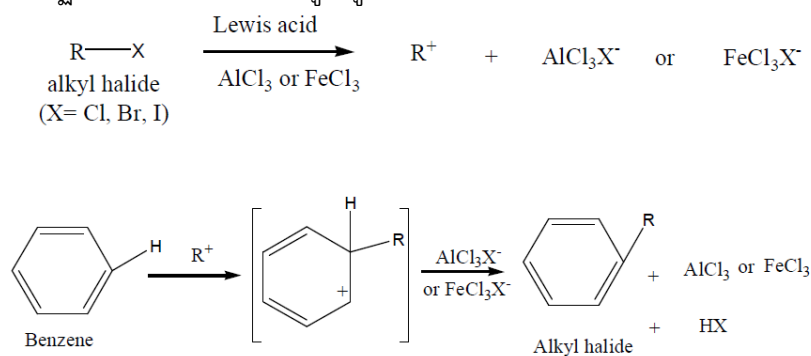
อิเล็กโทรไฟล์ที่เข้าทำปฏิกิริยากับวงเบนซีนคือ  $^+NO_2$  ไอออน ส่วนหน้าที่ของ  $H_2SO_4$  ในปฏิกิริยานี้คือช่วยทำให้เกิด  $^+NO_2$  ไอออนจาก  $HNO_3$

2.3) ปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน (sulphonation) เป็นปฏิกิริยาการแทนที่อะตอมไฮโดรเจนของเบนซีนด้วยซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ในกรดซัลฟิวริก (สารละลายที่มี  $SO_3$  7% ในกรดซัลฟิวริก) ได้ผลผลิตเป็นกรดเบนซีนซัลโฟนิก

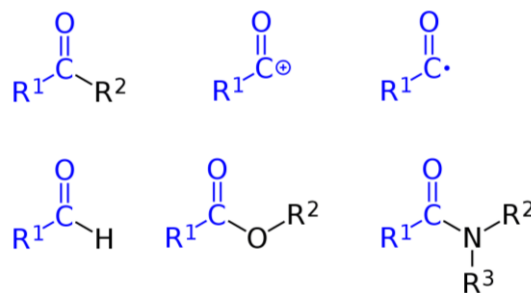


ภาพที่ 8.10 กลไกปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน

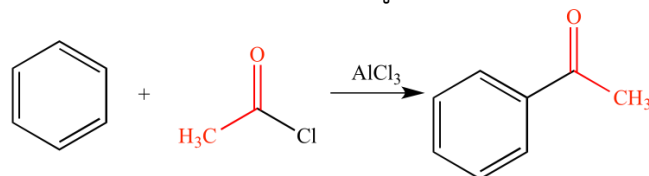
2.4) ปฏิกิริยาแอลคิเลชัน (alkylation) เป็นปฏิกิริยาการแทนที่อะตอมไฮโดรเจนของเบนซีนด้วยหมู่แอลคิล (R-) ได้ผลผลิตเป็นแอลคิลเบนซีน (alkylbenzene) ปฏิกิริยานี้ได้ศึกษาเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1878 โดยฟรีเดล (Charles Friedel) นักเคมีชาวฝรั่งเศส และคราฟท์ (James M Crafts) ชาวอเมริกัน พบว่า ถ้าใช้กรดลิวอิส (เช่น  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{BF}_3$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างเบนซีนกับแอลคิลแฮไลด์จะได้ผลผลิตเป็นแอลคิลเบนซีน จึงเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ฟรีเดล-คราฟท์ แอลคิเลชัน (Friedel-Crafts alkylation) ซึ่งอิเล็กโตรไฟล์ในปฏิกิริยานี้คือ  $\text{R}^+$  ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแอลคิลแฮไลด์กับกรดลิวอิส โดยที่กรดลิวอิสจะไปเปลี่ยนแอลคิลแฮไลด์ไปเป็นคาร์โบเนียมไอออนและเป็นอิเล็กโตรไฟล์ที่มีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยา ปฏิกิริยา Friedel-Crafts คายความร้อนออกมามากจึงต้องให้ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ตัวเร่งปฏิกิริยาหลังจากเข้าร่วมปฏิกิริยาแล้วจะกลับไปอยู่ในรูปคลอไรด์เช่นเดิม



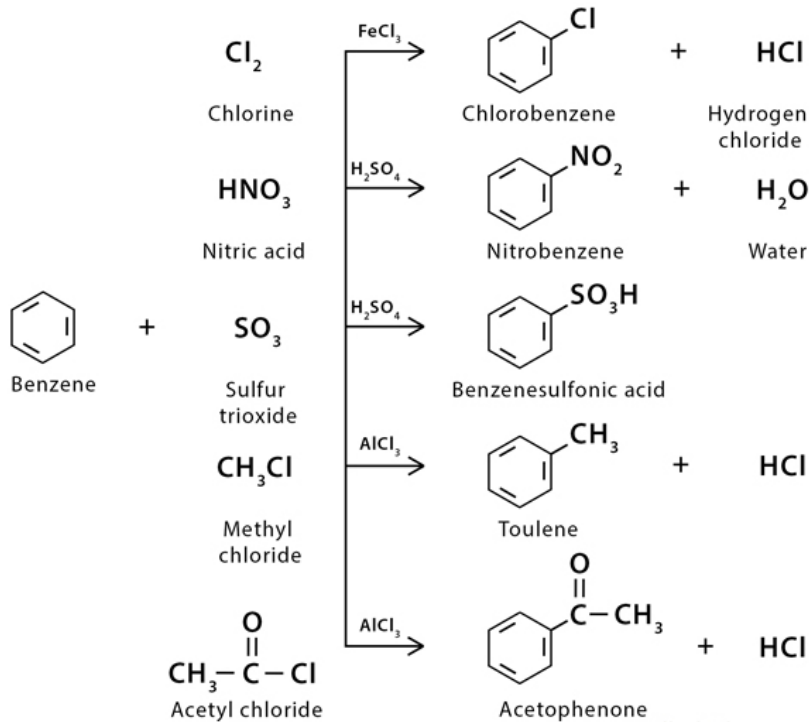
2.5) ปฏิกิริยาเอซิเลชัน (acylation) เป็นปฏิกิริยาการแทนที่อะตอมไฮโดรเจนของเบนซีนด้วยหมู่เอซิล (acyl group: ประกอบด้วยหมู่คาร์บอนิลและหมู่แอลคิล) ได้ผลผลิตเป็นเอซิลเบนซีน



ภาพที่ 8.11 หมู่เอซิล



2.6) ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเบนซีน (oxidation of benzene) เบนซีนสามารถเกิดปฏิกิริยานี้และที่สำคัญ เช่น ปฏิกิริยาการเผาไหม้ และปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีตัวเร่ง (catalytic oxidation)

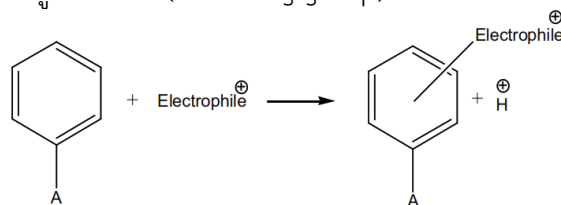


ภาพที่ 8.12 สรุปปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์ของเบนซีน

### 3) หมู่แทนที่ในปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์

ไฮโดรเจนทั้ง 6 อะตอมในวงเบนซีนมีความสมมูลกัน ดังนั้นการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์มีความเป็นอิสระที่จะเข้าแทนที่ที่ตำแหน่งใดก็ได้ในครั้งแรกและเกิดผลผลิตเป็น monosubstitution แต่อิเล็กโตรไฟล์ที่จะเข้ามาแทนที่ตัวต่อไปจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของหมู่แทนที่ที่มีอยู่ก่อนแล้ว ซึ่งเรียกว่า อิทธิพลของหมู่แทนที่ที่มีอยู่แล้วในวงแอโรมาติก (directive influence of the group) โดยอิทธิพลของหมู่แทนที่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม

สมมุติหมู่ที่แทนที่อยู่แล้วคือ A (activating group)



โดย A จะทำให้เกิดการแทนที่ได้ 2 แบบ คือ

1) กลุ่ม ortho และ para directing groups คือถ้า A เป็น  $-NH_2$ ,  $-O-$ ,  $-NHR$ ,  $-NR_2$ ,  $-OH$ ,  $-OR$ ,  $-SH$ ,  $-SR$ ,  $-CH_3$ ,  $-CH_2R$ ,  $-CHR_2$ ,  $-CR_3$ ,  $-Cl$ ,  $-Br$ ,  $-I$ ,  $-CH_2Cl$ ,  $-CH_2OH$ ,  $-CH_2NH_2$ ,  $-CH_2CN$ ,  $-CH_2-COOH$ ,  $-CH=CH-COOH$ ,  $-N=N-$  จะทำให้อิเล็กโตรไฟล์เข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่ง *o*- และ *p*- ของ A

2) กลุ่ม meta directing group ถ้า A เป็น  $-^+NR_3$ ,  $-SO_3H$ ,  $-SO_2Cl$ ,  $-CHO$ ,  $-COOH$ ,  $-COCl$ ,  $-COOR$ ,  $-COR$ ,  $-COCOOH$ ,  $-CCl_3$ ,  $-SO_2NH_2$  เป็นต้น จะทำให้อิเล็กโตรไฟล์เข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่ง *m*- ของ A

สารประกอบแอโรแมติก มีโครงสร้างเป็นวง โดยมีวงเบนซีน (benzene) เป็นโครงสร้างหลัก จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสารประกอบเบนซีนอยด์ ซึ่งมีสมบัติแตกต่างจากสารพวกแอลิไซคลิก โดยอาจมีวงเดี่ยวหรือหลายวงก็ได้ แอรีน (Arene) เป็นรูปทั่วไปของแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน มีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n-6y}$  เมื่อ  $y$  คือจำนวนวงแหวน ถ้า  $n=6, y=1$  มีสูตรเป็น  $C_6H_6$  เป็นสมาชิกตัวแรกของแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน มีชื่อเรียกว่าเบนซีน

อิทธิพลของหมู่แทนที่ที่อยู่ในวงแอโรแมติก ซึ่งจะส่งผลต่อการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ortho และ para directing groups คือถ้า A เป็น  $-NH_2, -O-, -NHR, -NR_2, -OH, -OR, -SH, -SR, -CH_3, -CH_2R, -CHR_2, -CR_3, -Cl, -Br, -I, -CH_2Cl, -CH_2OH, -CH_2NH_2, -CH_2CN, -CH_2-COOH, -CH=CH-COOH, -N=N-$  จะทำให้อิเล็กโตรไฟล์เข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่ง *o*- และ *p*- และกลุ่ม meta directing group ถ้า A เป็น  $-^+NR_3, -SO_3H, -SO_2Cl, -CHO, -COOH, -COCl, -COOR, -COR, -COCOOH, -CCl_3, -SO_2NH_2$  เป็นต้น จะทำให้ให้อิเล็กโตรไฟล์เข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่ง *m*-

อนุพันธ์ของเบนซีน เช่น แฮโลแอรีนมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ น้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับแอลคิลแฮไลด์ อนุพันธ์ของเบนซีนสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะหลายชนิด และผลที่ได้มีประโยชน์อย่างยิ่งในทางเคมีสังเคราะห์ทั้งระดับห้องทดลองและอุตสาหกรรม นอกจากนี้ นักศึกษาจะได้เรียนรู้วิธีเตรียมเบนซีนและอนุพันธ์ ตลอดจนการสังเคราะห์กรีนยาร์ดรีเอเจนต์ (Grignard's reagent) ซึ่งมีประโยชน์มากทางเคมีอินทรีย์



**วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน**

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

**กิจกรรมที่มอบหมาย**

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 8.1
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

**การวัดผล**

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

**แบบฝึกหัด**

1. แบบฝึกหัด 8.1

### เอกสารอ้างอิง

- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online).  
<https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

## หน่วยที่ 8 แโรแมติกและอนุพันธ์

### บทเรียนที่ 8.2 สารแโรแมติกในเครื่องสำอาง

#### จุดประสงค์เฉพาะ

1. บอกสารประกอบแโรแมติกที่ใช้ในเครื่องสำอาง
2. บอกสารอินทรีย์ในเครื่องสำอาง

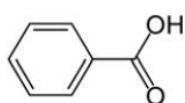
#### 8.2.1 สารกันเสีย

สารกันเสีย (Preservatives) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าวัตถุกันเสีย คือสารเคมีหรือของผสมของสารเคมีที่ใช้ในการถนอมอาหาร โดยอาจจะใส่ลงในอาหาร พ่น- ฉาบริบอบ ๆ ผิวของอาหารหรือภาชนะ บรรจุสารดังกล่าวจะทำหน้าที่ยับยั้ง หรือทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียโดยอาจจะไปออกฤทธิ์ต่อผนังเซลล์รบกวนการทำงานของเอนไซม์หรือกลไกทางพันธุกรรม (genetic mechanism) ในเซลล์ ยังผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้หรือตายในที่สุด

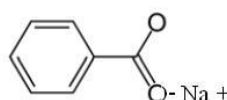
สารกันเสีย ตัวที่นิยมกันมากคือ พวกกรดอ่อนต่าง ๆ เช่น กรดเบนโซอิก และเกลือเบนโซเอท เพราะมีราคาถูกและไม่ทำให้รสชาติอาหารเปลี่ยน มักเติมลงในเครื่องดื่มต่าง ๆ เช่น น้ำผลไม้ ซอส ผักดอง แยม เยลลี่ ผลไม้แช่อิ่ม และเครื่องสำอางสำเร็จรูป สำหรับกรดโปรปิโอนิก และเกลือโปรปิโอเนตเหมาะสำหรับใช้ป้องกันการเจริญของเชื้อรา และเกิดเมือกหรือยางเหนียวในโด (dough) หรือแป้งขนมปังที่ผ่านการนวดแล้ว จึงเหมาะที่จะใช้ในอาหารประเภทขนมปัง เค้ก และเนยแข็งชนิดต่าง ๆ ส่วนกรดซिटริกเป็นส่วนประกอบของผลไม้สามารถป้องกันแบคทีเรียและยีสต์ได้ดี เหมาะสำหรับใส่ในเครื่องดื่ม น้ำหวาน น้ำอัดลม เยลลี่ แยม เป็นต้น

##### 1) กรดเบนโซอิก

กรดเบนโซอิก มีชื่ออื่นว่า benzene carboxylic acid หรือ phenyl carboxylic acid มีสูตรโมเลกุล  $C_6H_5COOH$  นิยมใช้ในรูปแบบเกลือของกรด เช่น โซเดียมเบนโซเอท เพราะละลายน้ำได้ง่าย เมื่อใส่ในอาหารเกลือเหล่านี้จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของกรด หากอาหารนั้นมีความเป็นกรดสูงกรดจะคงอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว ซึ่งเป็นรูปที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำลายหรือยับยั้งเชื้อ ดังนั้นอาหารที่จะใช้สารกันบูดชนิดนี้ควรจะเป็นอาหารที่มีความเป็นกรด ประมาณ 4-6 ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของกรด เช่น น้ำผลไม้ เครื่องดื่ม แยม ผักดองชนิดต่าง ๆ ขนมปัง ฯลฯ สารกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะให้ผลยับยั้งราและ ยีสต์มากกว่าแบคทีเรีย ข้อดีของสารกลุ่มนี้คือมีความเป็นพิษต่ำ เพราะ ร่างกายคนสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่นที่ไม่มีพิษและขับถ่ายออกจากร่างกายได้



Benzoic acid

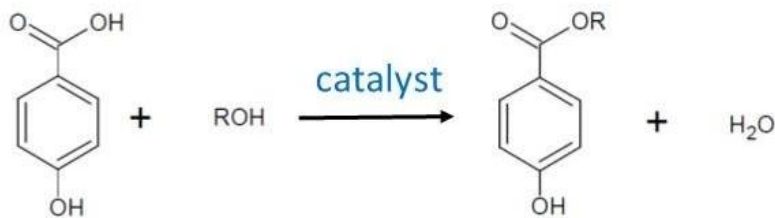


Sodium benzoate

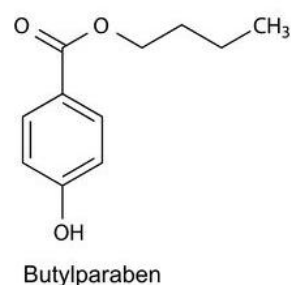
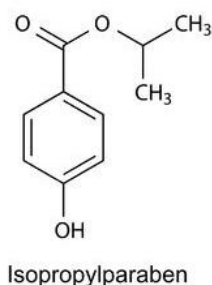
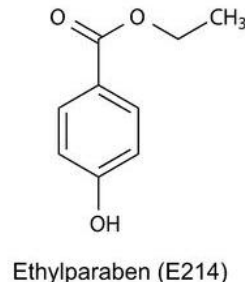
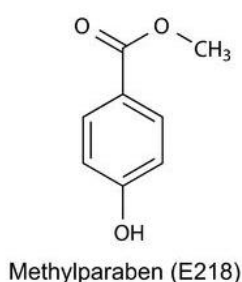
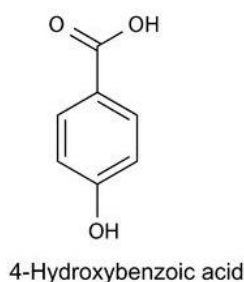
ประสิทธิภาพของกรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอตจะสูงที่สุดที่ช่วงความเป็นกรด มีค่า pH 2.5-4.0 และจะมีประสิทธิภาพสูงในรูปของกรดที่ไม่แตกตัวจึงเหมาะที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรดสูง (acid food) หรือมีความเป็นกรด-ด่างต่ำ ตัวอย่างเช่น เครื่องดื่มชนิดต่าง ๆ ทั้งชนิดที่อัดคาร์บอนไดออกไซด์และไม่อัดคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำหวานชนิดต่าง ๆ น้ำผลไม้ เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ แยม เยลลี่ ผัก ผลไม้ดอง (pickle) น้ำสลัด พุดดิ้ง และมาการีน เป็นต้น

## 2) พาราเบน (parabens)

เป็นสารกันบูดที่มีประสิทธิภาพยับยั้ง หรือทำลายราและยีสต์ได้ดีกว่าแบคทีเรีย และจะมีประสิทธิภาพสูงในช่วง ความเป็นกรดต่าง (pH) กว้าง ประมาณ 2-9 อาหารที่นิยมใส่พาราเบน ได้แก่ น้ำหวานผลไม้ น้ำผลไม้ แยม ขนมหวานต่าง ๆ สารปรุงแต่งกลิ่นรส ฯลฯ



ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารพาราเบน



พาราเบนเป็นสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก (p-hydroxybenzoic acid: PHBA) และแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ โดยพาราเบนมักใช้เป็นสารกันเสียในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น

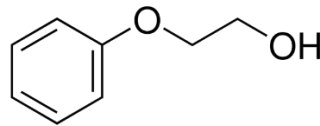
- เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์บำรุงผิว เช่น รองพื้น บีบีครีม ลิปสติก ครีมกันแดด โลชั่นทาผิว สบู่ แชมพู ผลิตภัณฑ์จัดแต่งทรงผมและระงับกลิ่นกาย ผลิตภัณฑ์สำหรับเด็ก parabens ที่นิยมใช้กันมากในเครื่องสำอาง คือ methylparaben, propylparaben

และ butylparaben ส่วนใหญ่ในเครื่องสำอางแต่ละตำรับ จะใช้สารพาราเบน ร่วมกับหลายชนิดเพื่อให้สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้หลายกลุ่ม

- อาหารที่ทำจากเนื้อสัตว์ นม ผักผลไม้ และแป้ง รวมทั้งเนื้อแปรรูป ผักดอง แยม และซอสปรุงอาหาร
- เครื่องดื่ม เช่น กาแฟกระป๋อง น้ำผลไม้ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์
- ยาและเวชภัณฑ์ เช่น ยาแก้ปวด ยารักษาสิว ยาเหน็บ น้ำยาล้างตา ถูยงาอนามัย

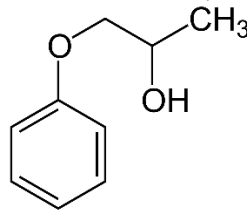
### 3) phenoxyethanol

ฟีนอกซีเอทานอล (phenoxyethanol) มีสูตรเคมีคือ  $C_6H_5OC_2H_4OH$  เป็นสารกันเสียชนิดหนึ่งมีลักษณะละลายน้ำแล้วใส ใช้คุมเชื้อได้ทั้งแบคทีเรียและรา สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์ personal care product เช่น ผลิตภัณฑ์ดูแลผิว ผม ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็ น สบู่ แชมพู เป็นต้น



phenoxyethanol

สารในกลุ่มเดียวกันที่นิยมใช้เป็นสารกันเสีย เช่น phenoxyisopropanol



phenoxyisopropanol

### 4) สารกันเสียอื่น ๆ

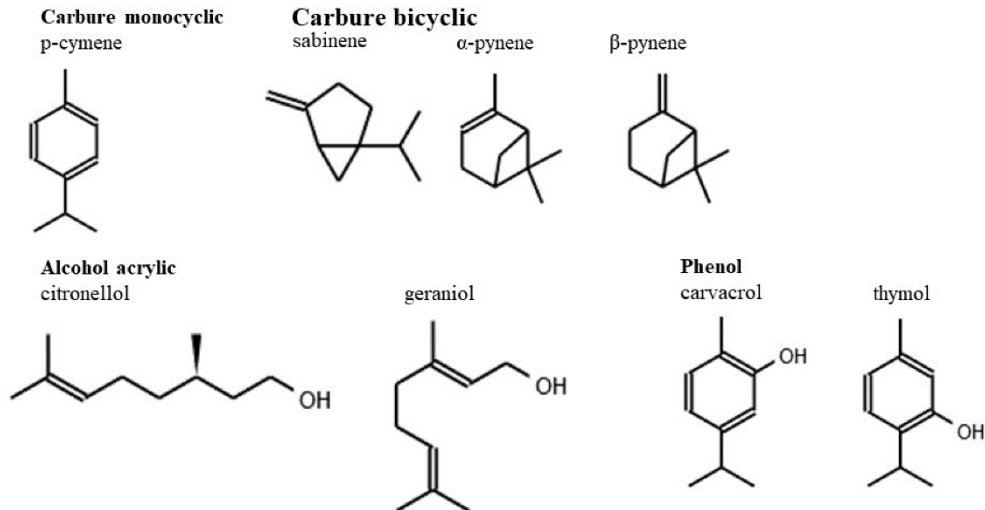
ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กำหนดวัตถุกันเสียที่อาจใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอาง พ.ศ. 2560. ระบุชนิดสารกันเสียที่ใช้ได้ในเครื่องสำอางและกำหนดปริมาณที่ให้ใช้ไว้ อีกหลายชนิด

กรดเบนโซอิก นิยมใช้ในรูปเกลือของกรด เช่นโซเดียมเบนโซเอท เพราะละลายน้ำได้ง่าย เมื่อใส่ในอาหารเกลือเหล่านี้จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของกรด หากอาหารนั้นมีความเป็นกรดสูง กรดจะคงอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว ซึ่งเป็นรูปที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำลายหรือยับยั้งเชื้อ ดังนั้นอาหารที่จะใช้สารกันบูดชนิดนี้ควรจะเป็นอาหารที่มีความเป็นกรด ประมาณ 4-6 ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของกรด เช่น น้ำผลไม้ เครื่องดื่ม แยม ผักดองชนิดต่าง ๆ ขนมปัง ฯลฯ สารกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะให้ผลยับยั้งราและ ยีสต์มากกว่าแบคทีเรีย ข้อดีของสารกลุ่มนี้คือมีความเป็นพิษต่ำ เพราะ ร่างกายคนสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่นที่ไม่มีพิษและขับถ่ายออกจากร่างกายได้ พาราเบนเป็นสารกันบูดที่มีประสิทธิภาพยับยั้งหรือทำลายราและยีสต์ได้ดีกว่าแบคทีเรีย และจะมีประสิทธิภาพสูงในช่วง ความเป็นกรดต่าง (pH) กว้าง ประมาณ 2-9 ฟีนอกซีเอทานอล เป็นสารกันเสียชนิดหนึ่งมีลักษณะละลายน้ำแล้วใส ใช้คุมเชื้อ

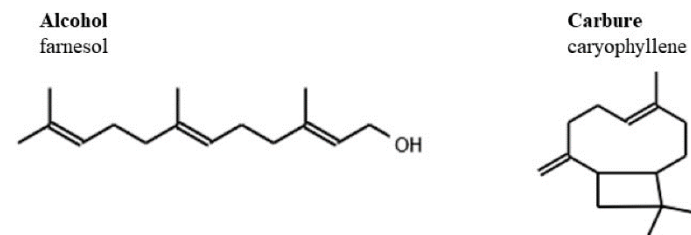
ได้ทั้งแบบที่เรื้อยและระ สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์ personal care product เช่น ผลิตภัณฑ์ดูแลผิว ผม ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น สบู่ แชมพู เป็นต้น

## 1. Terpenes

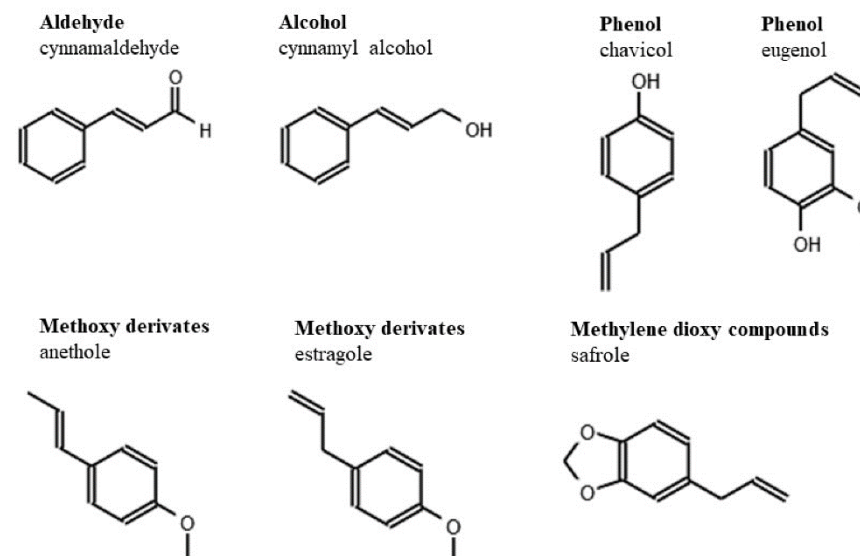
### -Monoterpenes



### -Sesquiterpenes



## 2. Aromatic compounds



ภาพที่ 8.13 สารแอโรแมติกในเครื่องสำอาง

### วิธีการสอนและกิจกรรมการสอน

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

### สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. [https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=12659](https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12659)
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

### กิจกรรมที่มอบหมาย

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 8.2
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

### การวัดผล

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

### แบบฝึกหัด

1. แบบฝึกหัด 8.2

### เอกสารอ้างอิง

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กำหนดวัตถุกันเสียที่อาจใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอาง พ.ศ. 2560. (22 มิถุนายน 2560). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 134 ตอนพิเศษ 167ง หน้า 19-21.

*Parabens in Cosmetics*. 2022, Feb 25). <https://www.fda.gov/cosmetics/cosmetic-ingredients/parabens-cosmetics>

Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online). <https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>

Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14<sup>th</sup> ed.). Pearson Education, Inc.

Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.

*Crystallographic Defects*. (n.d.). <https://www.tec-science.com/material-science/structure-of-metals/crystallographic-defects/>

Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.

Guzmán, E., & Lucia, A. (2021). Essential oils and their individual components in cosmetic products. *Cosmetics*, 8(4):114. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8040114>

Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc

Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.

Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.

Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3<sup>rd</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

## บรรณานุกรม

- นภดล ไชยคำ, พีรพรรณ พันธุ์นาวัน และลัดดาวัลย์ ผดุงทรัพย์. 2545. *เคมี 1*. แมคกรอฮิล.  
ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กำหนดวัตถุกันเสียที่อาจใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอาง  
พ.ศ. 2560. (22 มิถุนายน 2560). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 134 ตอนพิเศษ 167ง หน้า 19-  
21.
- วรวิทย์ จันท์สุวรรณ. (2565). *เคมีวิเคราะห์: หลักการและเทคนิคการคำนวณเชิงปริมาณ*. พิมพ์ครั้งที่  
ที่ 2. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรวิทย์ จันท์สุวรรณ. (2563, 4 มิถุนายน). *ความเข้มข้นสารละลาย*. Active Learning: Learning  
for All. [https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=4053](https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=4053)
- วรวิทย์ จันท์สุวรรณ. (2564, 1 มีนาคม). *การคำนวณและวิธีการเตรียมสารละลาย*. Active  
Learning: Learning for All. [https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=8623](https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=8623)
- ศุภาวิตา จรรยา. (2563, 14 เมษายน). *สารละลาย สารแขวนลอย คอลลอยด์*.  
<https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/9425-2018-11-14-08-40-23>
- อภิสิทธิ์ ศงสะเสน, สรณนรินทร์ บังเกิดผล และอาทิตย์ สกุกตันติเมธา. (2554). *เคมีทั่วไปสำหรับ  
วิศวกร*. บริษัททริฟเฟิ้ล กรุ๊ป จำกัด.
- Averil, B. A. (2012). *Principles of General Chemistry*. (Online).  
[http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-  
v1.0m/index.html](http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html)
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W.  
(2017). *Chemistry: The Central Science*, 14<sup>th</sup> ed. Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2013). *Chemistry*. 11<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill.  
*Colligative Properties*. (n.d.). Bodner Research Web.  
[https://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch15/colligative.p  
hp](https://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch15/colligative.php)
- Harris, D.C., & Lucy, C.A. (2020). *Quantitative Chemical Analysis* (10<sup>th</sup> ed.). W.H.  
Freeman and Company.
- Hill, J. W., Petrucci, R. H., McCreary, T. W., & Perry, S. S. (n.d.). *General Chemistry*, 4<sup>th</sup>  
ed., (Online). [http://wps.prenhall.com/esm\\_hillpetrucci\\_genchem\\_4/](http://wps.prenhall.com/esm_hillpetrucci_genchem_4/)
- Petrucci, R.H., Geoffrey H.F., Madura, J.D. & Bissonnette, C. (2016). *General Chemistry:  
Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry*. McGraw-Hill Publishing  
Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2018). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter  
and Change with Advanced Topics*. 8<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill Publishing Company.
- Parabens in Cosmetics*. 2022, Feb 25). [https://www.fda.gov/cosmetics/cosmetic-  
ingredients/parabens-cosmetics](https://www.fda.gov/cosmetics/cosmetic-ingredients/parabens-cosmetics)

- Crystallographic Defects*. (n.d.). <https://www.tec-science.com/material-science/structure-of-metals/crystallographic-defects/>
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.
- Guzmán, E., & Lucia, A. (2021). Essential oils and their individual components in cosmetic products. *Cosmetics*, 8(4):114.  
<https://doi.org/10.3390/cosmetics8040114>
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11<sup>th</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.

## ประวัติผู้เขียน

### ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ



#### การศึกษา

- วทต.เคมี (เคมีวิเคราะห์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2012
- วทม.เคมี (เคมีวิเคราะห์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2003
- วทบ.เคมี (เกียรตินิยม อันดับ 2) สถาบันราชภัฏกาญจนบุรี, 2000

#### ประสบการณ์ทำงาน

- อาจารย์ประจำ สังกัดสาขาวิชาเทคโนโลยีสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 2015 - ปัจจุบัน อาจารย์พิเศษ และที่ปรึกษาด้านชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม

#### ผลงานเผยแพร่

- Sripakdee, T., Sricharoen, P., Nateewattana, J. Chansuvarn, W., Amnuaywattanakul, T., Othata, P., Chanthai, S., & Limchoowong, N. (2025). Enhancing ultrasound-assisted extraction for evaluating antioxidant activity and total phenolic contents in Thai Hom Mali rice: A K-means clustering approach. *Food Measure*. (Article in Press).
- Musik, P., Limchoowong, N., Sricharoen, P., Nateewattana, J., Amnuaywattanakul, T., Chansuvarn, W., & Wanthong, U. (2025). Topographic and flow direction model: A case study of Khuan Kreng peat swamp forest, Southern Thailand. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 15(2), 1978-1989.
- Triteeyaprasert, K., Chansuvarn, W., Praphairaksit, N., & Imyim, A. (2025). Speciation analysis of inorganic arsenic in water samples using thiol-ligand and cotton fibres followed by ICP-OES determination. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 105(2), 261-275.
- Meechai, T. Harnroongroj, T., Sukosit, P., Yatsomboon, A., Sasing, N., Nateewattana, J., Panich, S., Amnuaywattanakul, T., Chansuvarn, W., & Sricharoen, P. (2024). Water quality assessment of Khlong Thawi Watthana, Thailand: Physical, chemical and microbiological analysis. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 59(2), 69-78.
- Chansuvarn, W., & Panich, S. (2024). Nutritional and sensory properties of plant-based milk produced from Sacha inchi seeds (*Plukenetia volubilis* L.). *Food Science and Applied Biotechnology*, 7(1), 14-23.
- Chansuvarn, W., Tuntulani, T., & Imyim, A. (2015). Colorimetric detection of mercury (II) based on gold nanoparticles, fluorescent gold nanoclusters and other gold-based nanomaterials. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 65, 83-96.

- Chansuvarn, W., & Jainae, K. (2015). Adsorption of Pb(II) from aqueous solution onto manganese oxide-modified laterite soil. *Proceedings 2015 International Conference on Science and Technology, TICST 2015*, 198-205.
- Chansuvarn, W., Panich, S., & Imyim, A. (2013). Simple spectrophotometric method for determination of melamine in liquid milks based on green Mannich reaction. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 113, 154-158.
- Chansuvarn, W., & Imyim, A. (2012). Visual and colorimetric detection of mercury (II) ion using gold nanoparticles stabilized with a dithia-diaza ligand. *Microchimica Acta*, 176, 56-67.
- Chansuvarn, W., & Jainae, K. (2018). Adsorption of cadmium (II) ion from an aqueous solution onto a raw material of bamboo powder and its surface modification. *Applied Mechanics and Materials*, 879, 131-136.
- Chansuvarn, W. (2019). Determination of total arsenic using microwave digestion technique-graphite furnace atomic absorption spectrophotometry. *Applied Mechanics and Materials*, 891, 154-160.
- Chansuvarn, W. (2020). Determination of residual heavy metals in an incinerator bottom ash from a municipal solid waste power plant. *Applied Mechanics and Materials*, 901, 65-71.
- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. (2014). การออกแบบเซนเซอร์ทางเคมีสำหรับตรวจวัดไอออนปรอทด้วยตาเปล่า, *วารสารวิทยาศาสตร์ มช.* 42(4), 748-760.

## ติดต่อ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เว็บไซต์: <https://sci.rmutp.ac.th/woravith> อีเมล: [woravith.c@rmutp.ac.th](mailto:woravith.c@rmutp.ac.th)



woravith