แผนการสอนสัปดาห์ที่ 7

หน่วยที่ 4 สารอินทรีย์และหมู่ฟังก์ชัน
บทเรียนที่ 4.1 สารอินทรีย์ **จำนวนชั่วโมง 3**

จุดประสงค์การสอน (จุดประสงค์ทั่วไป)

1. เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับสารอินทรีย์

ผลการเรียนรู้ (จุดประสงค์เฉพาะ)

1. บอกประเภทสารอินทรีย์
2. บอกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

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=11425
4. https://www.facebook.com/chemographics
5. https://www.slideshare.net/woravith

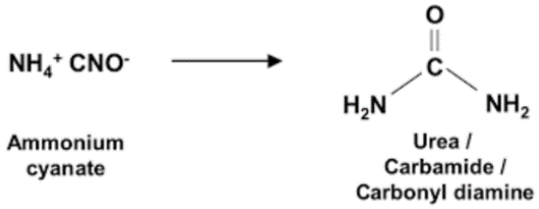
การวัดผล

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

หน่วยที่ 4 สารอินทรีย์และหมู่ฟังก์ชัน

บทเรียนที่ 4.1 สารอินทรีย์

เคมีอินทรีย์ (organic chemistry) ในสมัยก่อนจะหมายถึงการศึกษาสารประกอบที่ได้จากธรรมชาติและสิ่งมีชีวิตเท่านั้น เช่น ควินินที่ใช้รักษาไข้มาเลเรียสกัดได้จากเปลือกของต้นซินโคน่า ถ่านหินและสารประกอบปิโตรเลียมต่าง ๆ ได้จากฟอสซิล ซึ่งเกิดจากการทับถมของซากสิ่งมีชีวิต จนกระทั่งในปี ค.ศ.1828 เวอเลอร์ (Friedrich Wöhler) นักเคมีชาวเยอรมัน ได้ค้นพบวิธีเตรียมยูเรีย (urea) ขึ้นในห้องปฏิบัติการ ซึ่งยูเรียนี้เป็นสารประกอบที่พบในปัสสาวะ โดยสังเคราะห์ยูเรียซึ่งเป็นสารอินทรีย์จากการเผาแอมโมเนียมไซยาเนต (NH_4OCN) ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ ดังสมการ



ภาพที่ 4.1 วิธีเตรียมยูเรีย (urea)

ต่อมาได้มีผู้สังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ขึ้นมากมาย ในปัจจุบัน เคมีอินทรีย์ จึงหมายถึงการศึกษาทางเคมีของสารประกอบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เรียกสารประกอบอินทรีย์ (organic compounds) โดยสารประกอบอินทรีย์จากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ขึ้นนั้นปัจจุบันมีมากมายและนำมาใช้ประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันและยังก่อให้เกิดอุตสาหกรรมด้านเคมีอีกด้วย การศึกษาเกี่ยวกับสารอินทรีย์จึงทำให้เข้าใจถึงสมบัติของสารประกอบอินทรีย์ได้อย่างลึกซึ้งและมีความจำเป็นต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สารประกอบอินทรีย์นั้นมีมากมายหลายชนิด การจำแนกประเภทสารประกอบอินทรีย์นั้นสามารถแบ่งตามโครงสร้าง (structure) และหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ของสาร ซึ่งหมู่ฟังก์ชันจะเป็นตัวบอกสมบัติเฉพาะในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ สมบัติการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบอินทรีย์จะเป็นไปตามหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของสารเหล่านั้น

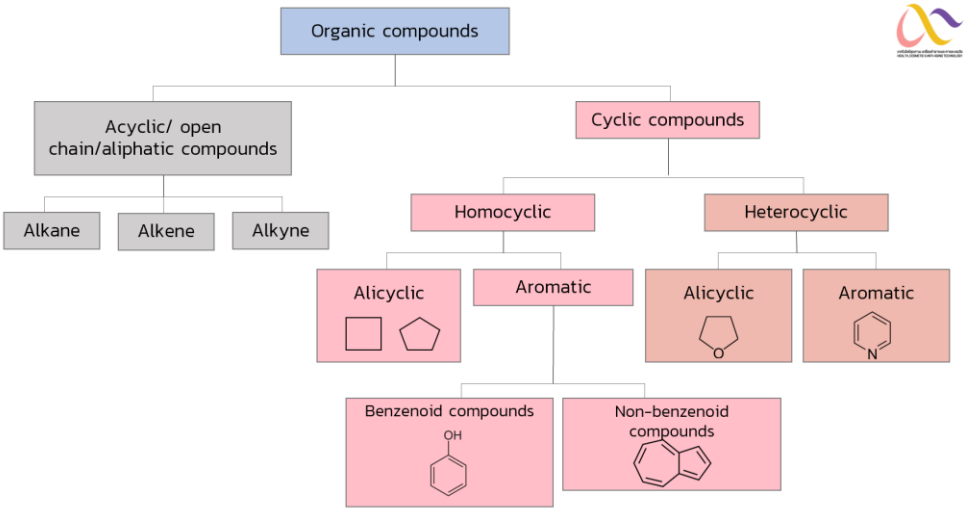
4.1.1 ประเภทสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ หมายถึง สารประกอบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ทั้งที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต และจากการสังเคราะห์ ยกเว้นสารต่อไปนี้ที่ไม่จัดเป็นสารอินทรีย์ (แต่เป็นสารอนินทรีย์)

- ออกไซด์ของคาร์บอน เช่น CO_2
- เกลือคาร์บอเนต และไฮโดรเจนคาร์บอเนต เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)
- เกลือคาร์ไบด์ เช่น แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2)
- เกลือไซยาไนด์ เช่น โพแทสเซียมไซยาไนด์ (KCN), โซเดียมไซยาไนด์ (NaCN)
- เกลือไซยาเนต เช่น แอมโมเนียมไซยาเนต (NH_4OCN)
- สารที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเพียงชนิดเดียว เช่น เพชร, แกรไฟต์ และ ฟูลเลอรีน (C60)

1) การจำแนกสารอินทรีย์

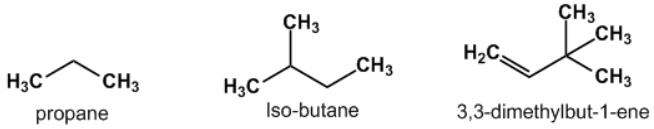
การจำแนกสารอินทรีย์ตามโครงสร้างของสารประกอบ ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 การจำแนกประเภทของสารประกอบอินทรีย์

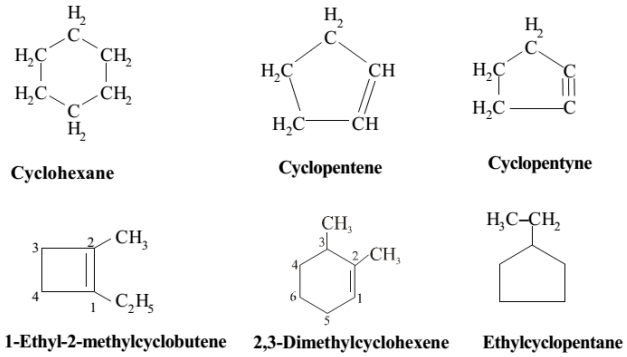
การจำแนกประเภทของสารประกอบอินทรีย์ตามลักษณะของสูตรโครงสร้างโมเลกุล สามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท คือ

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



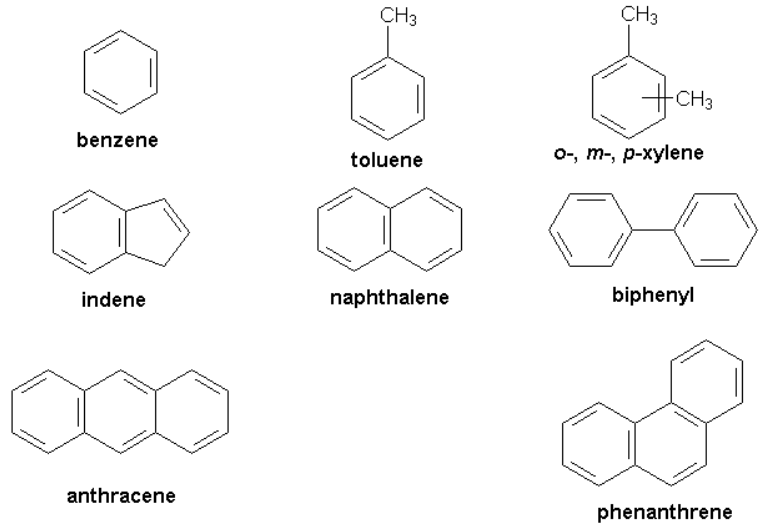
ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างสารประกอบแอลิฟาติก

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



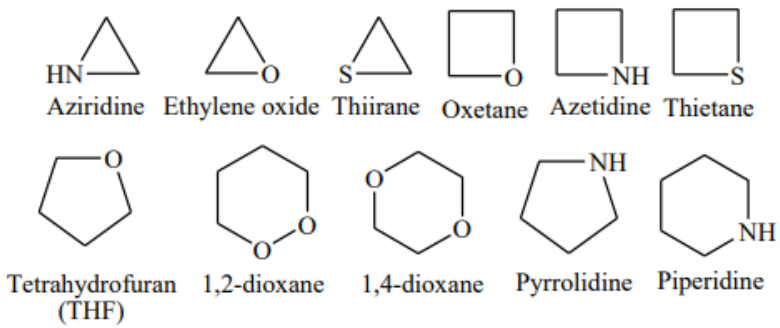
ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างสารประกอบแอลิไซคลิก

3) สารประกอบแอโรแมติก (aromatic compounds) ได้แก่ สารประกอบที่มีอะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นวงมี π-อิเล็กตรอน จำนวน 4n+2 (เมื่อ n คือเลขจำนวนเต็มบวกใด ๆ เช่น 0, 1, 2, 3,...) มีโครงสร้างเป็นรูปแบนราบหรือใกล้เคียงแบนราบ และ π-อิเล็กตรอนนี้มีการเคลื่อนที่เป็นวง และแต่ละอะตอมในวงมักจะเป็น sp2 ไฮบริไดซ์ 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_nH_{2n}
2	Alkyne	–	C_nH_{2n-2}
3	Alkyl halide	—F, —Cl, —Br, —I	R-X
4	Alcohol	—OH	R-OH
5	Ether	—O—	R-O-R'
6	Aldehyde		R-CHO
7	Ketone		R-CO-R'
8	Carboxylic acid		R-COOH
9	Ester		RCOOR'
10	Acid anhydride		R-CO-O-CO-R'
11	Acyl chloride		R-COX
12	Sulphonic acid	—SO_3H	R-SO_3H
13	Nitro alkane	—NO_2	R-NO_2
14	Amine	—NH_2	R-NH_2
15	Amide		R-CO-NH_2

S. No.	Class of compounds	Functional group	General formula (R - Alkyl group)
16	Cyanide (Nitrile)	—C≡N	R-CN
17	Isocyanide	—NC	R-NC
18	Cyanate	—OCN	R-OCN
19	Isocyanate	—NCO	R-NCO
20	Thiocyanate	—SCN	R-SCN
21	Isothiocyanate	—NCS	R-NCS
23	Thioalcohols or thiols	—SH	R-SH
24	Thioethers	—S—R	R-S-R'
25	Imines	=NH	R-CH=NH
26	Nitroso compounds	—NO	R-NO
27	Hydrazines	—NH—NH_2	R-NH-NH_2
28	Hydrazo compounds	—NH—NH—	R-NH-NH-R
29	Phenols		C_6H_3OH
30	Imide		RCON(R') COR''

2) 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 อาจจะเรียกชื่อตามสิ่งที่พบหรือตามสถานที่ที่พบ หรือตามที่มีส่วนสัมพันธ์กับสมบัติของสารนั้น ๆ แต่บางกรณีการตั้งชื่อสารอาจไม่สัมพันธ์กับสิ่งใด ๆ เลยก็ตาม และเนื่องจากมีสารที่พบไม่มากนักจึงเรียกชื่อตามที่คิดว่านักเคมีคิดว่าเหมาะสม เช่น HCOOH เรียกว่า กรดฟอร์มิก (กรดมด)
- ระบบ IUPAC เป็นการเรียกชื่อตามระบบสากล มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอน จึงทำให้เรียกชื่อสารอินทรีย์ได้ทุกชนิด ทั้งที่เป็นโมเลกุลเล็กหรือใหญ่ หรือที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบง่าย และที่

ซับซ้อน ซึ่งระบบนี้จะทำให้เราทราบชนิดและลักษณะโครงสร้างของสาร เพราะหลักเกณฑ์ในการเรียกชื่อสารมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างสาร

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

(1) **โครงสร้างหลัก** เป็นส่วนที่แสดงลักษณะโครงสร้างหลักของคาร์บอนที่ต่อกันเป็นสายยาวที่สุด การเรียกชื่อโครงสร้างหลักจะเรียกตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนที่ต่อกันเป็นสายยาวที่สุด โดยกำหนดการเรียกชื่อดังนี้

ตารางที่ 4.2 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 ไอน (–ene)
- สารประกอบแอลกอฮอล์ลงท้ายด้วยเสียง ออล์ (–ol)
- สารประกอบแอลดีไฮด์ ลงท้ายด้วยเสียง แอล (–al)
- สารประกอบคีโตน ลงท้ายด้วยเสียง โอน (–one)
- สารประกอบกรดคาร์บอซิลิก ลงท้ายด้วยเสียง โออิก แอซิด (–oic acid)
- สารประกอบเอมีน ลงท้ายด้วยเสียง เอมีน (–amine)
- สารประกอบอีเทอร์ ลงท้ายด้วยเสียง อีเทอร์ (–ether)

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

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

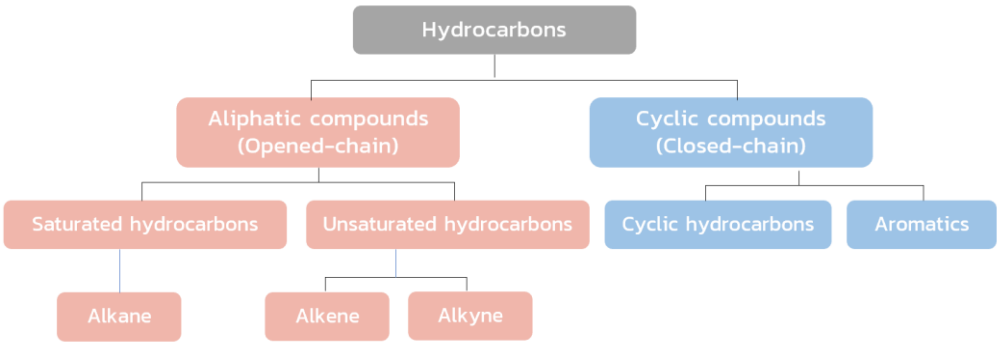
(3.2) จำนวนหมู่ฟังก์ชัน อะตอมหรือกลุ่มอะตอม หรือหมู่แทนที่ ที่เกาะโครงสร้างหลัก ให้บอกจำนวนที่มาเกาะด้วยภาษากรีก ดังนี้

จำนวน 2 กลุ่ม เรียกว่า ได (di)
จำนวน 3 กลุ่ม เรียกว่า ไตร (tri)
จำนวน 4 กลุ่ม เรียกว่า เททระ (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

4.1.2 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

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



ภาพที่ 4.7 การจำแนกไฮโดรคาร์บอน

1) แอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน

1.1) สารประกอบแอลเคน สารประเภทนี้ในโมเลกุลมีพันธะเดี่ยว จัดเป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว มีสูตรทั่วไปคือ C_nH_{2n+2} (เมื่อ n เป็นจำนวนอะตอมคาร์บอน) และจัดเป็นพวกที่ไม่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา การเรียกชื่อสารประกอบแอลเคนตามหลักเกณฑ์ของ IUPAC ลงท้ายด้วยเสียงเอน (–ane) ดังตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 ชื่อเรียกสารประกอบแอลเคนที่เป็นโซ่ตรง

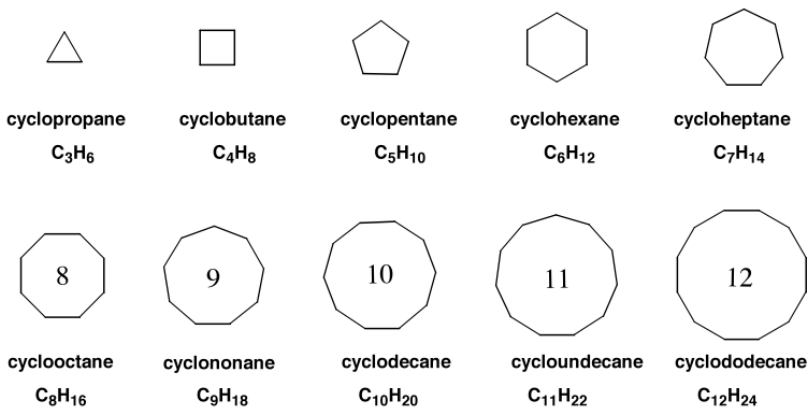
จำนวนคาร์บอน	สูตร (C_nH_{2n+2})	ชื่อเรียก (ภาษาไทย)	ชื่อเรียก (ภาษาอังกฤษ)
1	CH_4	มีเทน	methane
2	C_2H_6	อีเทน	ethane
3	C_3H_8	โพรเพน	propane
4	C_4H_{10}	บิวเทน	butane
5	C_5H_{12}	เพนเทน	pentane
6	C_6H_{14}	เฮกเซน	hexane
7	C_7H_{16}	เฮปเทน	heptane
8	C_8H_{18}	ออกเทน	octane
9	C_9H_{20}	โนเนน	nonane
10	$C_{10}H_{22}$	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 4.4 พาราฟินไฮโดรคาร์บอนที่พบในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (C_1–C_{12})

สูตรโครงสร้าง	ชื่อ IUPAC	จุดเดือด	ผลิตภัณฑ์
CH_4	methane	-161	
CH_3CH_3	ethane	-89	แก๊สธรรมชาติ
$CH_3CH_2CH_3$	propane	-44	(natural gas)
$CH_3(CH_2)_2CH_3$	butane	-0.5	
$CH_3(CH_2)_3CH_3$	pentane	36	ปิโตรเลียม
$CH_3(CH_2)_4CH_3$	hexane	68	
$CH_3(CH_2)_5CH_3$	heptane	98	น้ำมันเบซีน
$CH_3(CH_2)_6CH_3$	octane	125	(gas soline)
$CH_3(CH_2)_7CH_3$	nonane	151	
$CH_3(CH_2)_8CH_3$	decane	174	น้ำมันก๊าด/น้ำมันดีเซล
$CH_3(CH_2)_{10}CH_3$	dodecane	261	

ไซโคลแอลเคน (cycloalkane) คือแอลเคนที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวง ซึ่งมีสูตรทั่วไปเป็น C_nH_{2n} การเรียกชื่อไซโคลแอลเคนให้เรียกตามจำนวนอะตอมคาร์บอนที่ต่อกันเป็นวง ขึ้นต้นด้วย ไซโคล (cyclo)



ภาพที่ 4.8 ไซโคลแอลเคน

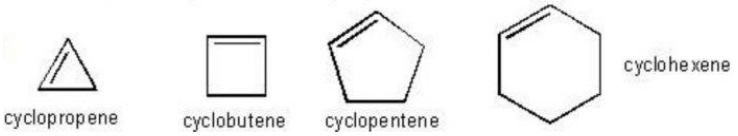
1.2) สารประกอบแอลคีน สารอินทรีย์ประเภทนี้ในโมเลกุลมีพันธะคู่ จัดเป็นไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว มีสูตรทั่วไป คือ C_nH_{2n} ในการเรียกชื่อ ตัวอย่างดังตาราง 4.5

- สารประกอบแอลคีนจะลงท้ายด้วยเสียงอีน (–ene)
- ระบุเลขอารบิกบ่งชี้ตำแหน่งพันธะคู่ไว้ข้างหน้าชื่อโครงสร้างหลัก (นับตำแหน่งอะตอมที่มีพันธะคู่ให้เป็นตำแหน่งน้อยที่สุด)
- กรณีที่มีพันธะคู่มากกว่าหนึ่งแห่งให้ใส่ตัวเลขตำแหน่งของที่อยู่ของพันธะคู่และใช้คำว่า di, tri, tetra อยู่หน้าคำลงท้าย -ene เช่น
  - มีพันธะคู่ 2 แห่งในสูตรโครงสร้าง คำลงท้ายเป็น ไดอีน (diene)
  - มีพันธะคู่ 3 แห่งในสูตรโครงสร้าง คำลงท้ายเป็น ไตรอีน (triene)

ตารางที่ 4.5 ชื่อเรียกสารประกอบแอลคีนที่เป็นโซ่ตรง

จำนวนคาร์บอน	**สูตร (C_nH_{2n})**	**สูตรโครงสร้าง**	**ชื่อเรียก (ภาษาไทย)**	**ชื่อเรียก (ภาษาอังกฤษ)**
2	C_2H_4	$H_2C=CH_2$	อีทีน	ethene
3	C_3H_6	$H_2C=CHCH_3$	1-โพรพีน	1-propene (prop-1-ene)
4	C_4H_8	$H_2C=CHCH_2CH_3$	1-บิวทีน	1-butene (but-1-ene)
4	C_4H_8	$H_3CCH=CHCH_3$	2-บิวทีน	2-butene
5	C_5H_{10}	$H_3CCH=CHCH_2CH_3$	2-เพนทีน	2-pentene
5	C_5H_{10}	$H_2C=CHCH_2CH=CH_2$	1,4-เพนตะไดอีน	1,4-pentadiene

ไซโคลแอลคีน (cycloalkene) คือแอลคีนที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวง การเรียกชื่อให้เรียกตามจำนวนอะตอมคาร์บอนที่ต่อกันเป็นวง เรียกคำขึ้นต้นด้วย ไซโคล



ภาพที่ 4.9 ไซโคลแอลคีน

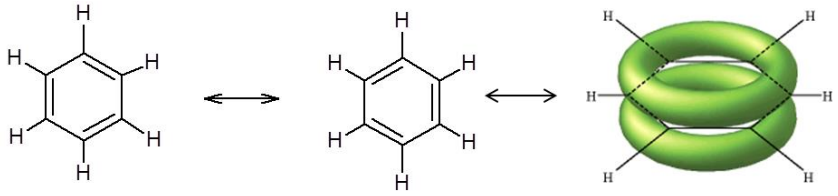
1.3) สารประกอบแอลไคน์ สารอินทรีย์ประเภทนี้เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ในโมเลกุลมีพันธะสามเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว มีสูตรทั่วไปคือ C_nH_{2n-2} การเรียกชื่อสารประกอบแอลไคน์ใช้หลักการเรียกชื่อเหมือนกับแอลคีน แต่ใช้คำลงท้ายด้วยเสียงไอน์ (–yne)

ตารางที่ 4.6 ชื่อเรียกสารประกอบแอลไคน์ที่เป็นโซ่ตรง

จำนวนคาร์บอน	**สูตร (C_nH_{2n-2})**	**สูตรโครงสร้าง**	**ชื่อเรียก (ภาษาไทย)**	**ชื่อเรียก (ภาษาอังกฤษ)**
2	C_2H_2	$HC{\equiv}CH$	อีไทน์	ethyne
3	C_3H_4	$HC{\equiv}CCH_3$	1-โพรไพน์	1-propyne
4	C_4H_6	$HC{\equiv}CCH_2CH_3$	1-บิวไทน์	1-butyne
4	C_4H_6	$H_3CC{\equiv}CCH_3$	2-บิวไทน์	2-butyne
5	C_5H_8	$H_3CC{\equiv}CCH_2CH_3$	2-เพนไทน์	2-pentyne
5	C_5H_8	$HC{\equiv}CCH_2C{\equiv}CH$	1,4-เพนตะไดไทน์	1,4-pentadiyne

2) สารประกอบแอโรแมติก

สารประกอบแอโรแมติก คือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวง มีจำนวน อิเล็กตรอนเป็น 4n+2 (เมื่อ n = 1, 2, 3) และอิเล็กตรอนเหล่านี้ไม่อยู่ประจำที่ (delocalized electron) สารที่รู้จักกันดีได้แก่ เบนซีน (benzene, C_6H_6) ซึ่งคาร์บอนทั้งหกอะตอมต่อกันเป็นหกเหลี่ยมและคาร์บอนทุก ๆ อะตอมอยู่ในระนาบเดียวกันและมีจำนวน 6 อิเล็กตรอน แต่อะตอมของคาร์บอนมีความยาวเท่ากัน คือ 139 พิโกเมตร ซึ่งเป็นค่าระหว่างความยาวพันธะของคาร์บอนที่เป็นพันธะเดี่ยว (154 พิโกเมตร) กับพันธะคู่ (134 พิโกเมตร) และมีมุมระหว่างพันธะเท่ากันทุกมุม



ภาพที่ 4.10 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 เช่นทำเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ 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 ส่วนคำลงท้าย และส่วนคำนำหน้า

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเท่านั้นเป็นองค์ประกอบ สารประกอบแอลิฟาติกจำแนกตามโครงสร้างที่เป็นโซ่เปิด สำหรับไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะเดี่ยวเรียกว่าไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว คือแอลเคน ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่ภายในโมเลกุลมีพันธะคู่หรือพันธะสามเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว คือแอลคีนและแอลไคน์ สารประกอบที่มีวงแหวนเบนซีนจัดเป็นพวกแอโรแมติก

กิจกรรม

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

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

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* (4th 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* (14th ed.). Pearson Education, Inc.

Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12th ed.). McGraw-Hill.

Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11th ed.). Cengage Learning.

Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6th ed.). John Wiley & Sons, Inc

Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11th ed.). Pearson Prentice Hall.

Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14th ed.). McGraw-Hill.

Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3rd ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9th ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

แผนการสอนสัปดาห์ที่ 7

หน่วยที่ 4 สารอินทรีย์และหมู่ฟังก์ชัน
บทเรียนที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชัน **จำนวนชั่วโมง 3**

จุดประสงค์การสอน (จุดประสงค์ทั่วไป)

1. เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับหมู่ฟังก์ชัน

ผลการเรียนรู้ (จุดประสงค์เฉพาะ)

1. บอกหมู่ฟังก์ชัน
2. บอกชื่อสารอินทรีย์

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

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

สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

1. เอกสารคำสอน รายวิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร power point
3. https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=11425
4. https://www.facebook.com/chemographics
5. https://www.slideshare.net/woravith

การวัดผล

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

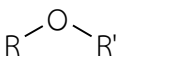
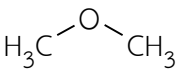
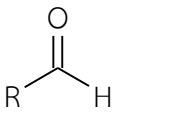
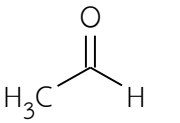
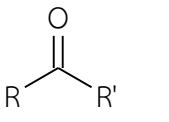
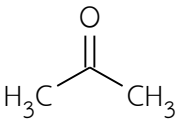
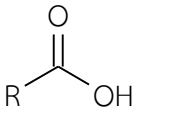
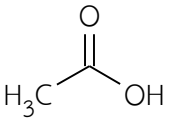
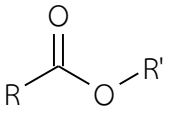
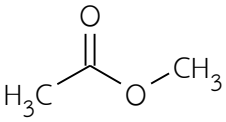
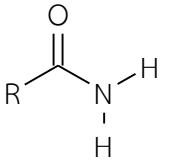
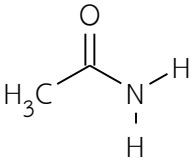
บทเรียนที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชัน

4.2.1 หมู่ฟังก์ชัน

1) หมู่ฟังก์ชัน

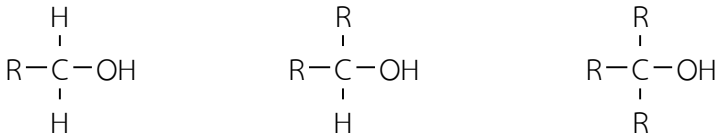
หมู่ฟังก์ชัน (functional groups) เป็นส่วนโครงสร้างองค์ประกอบเฉพาะตัว หมู่ฟังก์ชันเป็นตัวกำหนดการทำปฏิกิริยาและสมบัติทางเคมีอื่น ๆ ของโมเลกุล ซึ่งหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์จะเป็นตัวบอกสมบัติเฉพาะในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ สมบัติการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบอินทรีย์จะเป็นไปตามหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์เหล่านั้น นอกจากนี้หมู่ฟังก์ชันยังเป็นการจำแนกชนิดของสารประกอบอินทรีย์ตามคุณสมบัติ เช่น สารประกอบแอลกอฮอล์จะมีหมู่ฟังก์ชัน -OH เป็นต้น

ตารางที่ 4.7 หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์

หมู่ฟังก์ชัน	**โครงสร้าง**	**ชื่อคำลงท้าย**	**ตัวอย่าง**	**IUPAC (common name)**
แอลเคน (alkane)	C-C	-ane	$CH_3CH_2CH_3$	propane
แอลคีน (alkene)	C=C	-ene	$H_2C{=}CHCH_3$	1-propene
แอลไคน์ (alkyne)	C≡C	-yne	$HC{\equiv}CCH_3$	1-propyne
แอลกอฮอล์ (alcohol)	R-OH	-ol	CH_3CH_2-OH	ethanol (ethyl alcohol)
อีเทอร์ (ether)		-oxy		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_2	-amine	CH_3CH_2-NH_2	ethanamine

แอลกอฮอล์

สารประกอบแอลกอฮอล์ เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (–OH) เป็นหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว มีสูตรทั่วไป คือ R–OH ซึ่ง R คือหมู่แอลคิล แอลกอฮอล์ จำแนกเป็น 3 ประเภท ขึ้นกับจำนวนหมู่แอลคีลที่จับกับหมู่ C-OH ดังนี้



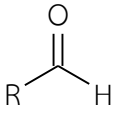
primary alcohol (1°) secondary alcohol (2°) tertiary alcohol (3°)

แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ R เพียง 1 หมู่ จับกับ R-CH_2-OH เรียกว่า primary alcohol หรือแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ และเมื่อมี R จำนวน 2 หมู่ จับกับ R_2-CH-OH เรียกว่า secondary alcohol หรือแอลกอฮอล์ทุติยภูมิ และถ้ามี R จำนวน 3 หมู่ จับกับ R_3-C-OH เรียกว่า tertiary alcohol หรือแอลกอฮอล์ตติยภูมิ

หลักการเรียกชื่อแอลกอฮอล์ตามระบบ IUPAC ให้เรียกตามจำนวนคาร์บอนของไฮโดรคาร์บอน และใช้หลักเกณฑ์ทั่วไปเช่นเดียวกับการเรียกแอลเคน โดยตัด e ออกแล้วเติม ol

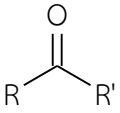
แอลดีไฮด์และคีโตน

แอลดีไฮด์ (aldehyde) และคีโตน (ketone) มีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวที่เหมือนกันคือ C=O เรียกว่า หมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) ซึ่งแอลดีไฮด์มีหมู่คาร์บอนิลจับกับไฮโดรเจนหนึ่งอะตอม ยกเว้น ฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งมีหมู่คาร์บอนิลจับกับไฮโดรเจน 2 อะตอม สูตรทั่วไปดังนี้



แอลดีไฮด์

เมื่อ R = H หรือ หมู่แอลคิล หรือ แอริล



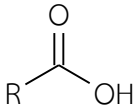
คีโตน

เมื่อ R = หมู่แอลคิล หรือ แอริล

หลักการเรียกชื่อแอลดีไฮด์และคีโตนตามระบบ IUPAC ให้เรียกตามจำนวนคาร์บอนของไฮโดรคาร์บอน และใช้หลักเกณฑ์ทั่วไปเช่นเดียวกับการเรียกแอลเคน โดยตัด e ออกแล้วเติม al สำหรับแอลดีไฮด์ และเติม one สำหรับคีโตน

กรดคาร์บอกซิลิก

กรดคาร์บอกซิลิก มีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวคือ -COOH เรียกว่า หมู่คาร์บอซิลิก (carboxylic group) มีสูตรทั่วไป

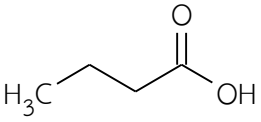
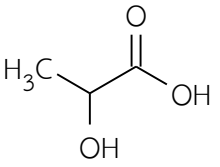
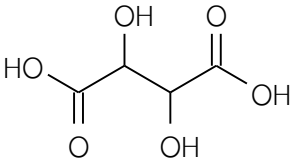
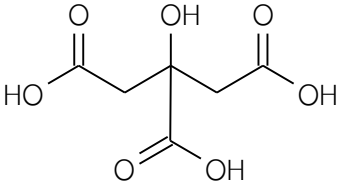


เมื่อ R = H หรือ หมู่แอลคิล หรือ หมู่แอริล

กรดอินทรีย์ทั่วไปจึงเป็นกรดแก่พอสมควร เช่น กรดแอซีติก แต่ยังเป็นกรดที่อ่อนมากเมื่อปรียบเทียบกับกรดอนินทรีย์ การเรียกชื่อกรดอินทรีย์ตามระบบ IUPAC ให้เรียกตามจำนวนคาร์บอนของไฮโดรคาร์บอน และใช้หลักเกณฑ์เดียวกับการเรียกสารอินทรีย์อื่นๆ โดยตัด e ออกแล้วเติม –oic acid

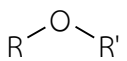
กรดคาร์บอกซิลิก ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ได้สารประกอบเอสเตอร์ (ester) หรือทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียได้สารเอไมด์ (amide) กรดคาร์บอกซิลิกที่เป็นแอลิฟาติกจำนวนมาก สกัดมาจากแหล่งธรรมชาติ ตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 กรดคาร์บอกซิลิกที่พบในธรรมชาติ

ชื่อสามัญ	**สูตรโมเลกุล**	**แหล่งที่พบ**
กรดฟอร์มิก (formic acid)	HCOOH	มด ผึ้ง แมลง
กรดแอซิติก (acetic acid)	CH_3COOH	น้ำผลไม้
กรดบิวทิลริก (butyric acid)		ไขมันเนย
กรดแลคติก (lactic acid)		นมบูด
กรดทาร์ทาริก (tartaric acid)		น้ำผลไม้
กรดซิตริก (citric acid)		น้ำผลไม้ประเภทส้มและมะนาว

อีเทอร์

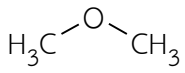
อีเทอร์ (ether) เป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสราง ทั่วไปเปน R-O-R’

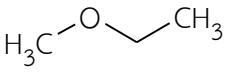


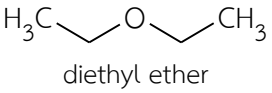
เมื่อ R และ R’ เป็นหมูแทนที่แอลคิลหรือหมูแอริล หมูแทนที่ทั้งสองนี้อาจเหมือนกันหรือตางกันก็ได้ แต่ถ่าเหมือนกันเรียกวา อีเทอรอย่างง่ายหรืออีเทอรสมมาตร (symmetrical ethers) ถ้าแตกต่างกันเรียกวาอีเทอรผสมหรืออีเทอรไมสมมาตร (unsymmetrical ethers)

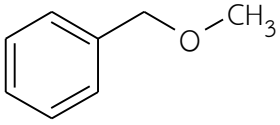
อีเทอรสามารถแบงออกได้เป็น 2 กลุมคือแอลิฟาติกและแอโรแมติกอีเทอร โดยในสวนของแอลิฟาติกอีเทอรนั้นหมู R และ R’ เป็นหมูแอลคิล ในขณะที่แอโรแมติกอีเทอร จะมีหมู R หรือ R’ หนึ่งหมูหรือทั้งสองหมู่เป็นหมูแอริล อีเทอรที่มีหมูหนึ่งเป็นแอลคิลและอีกหมูหนึ่งเป็น แอริลเรียกวา แอริล

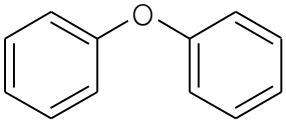
แอลคิลอีเทอรหรือฟโนลิกอีเทอร (aryl alkyl ether หรือ phenolic ether) แต่ถ้าทั้งสองหมู่เป็นแอริล เรียกวา ไดแอริลอีเทอร (diaryl ether)

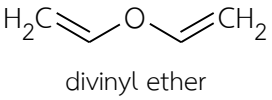

dimethyl ether


ethyl methyl ether


diethyl ether

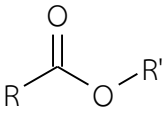

benzyl methyl ether


diphenyl ether

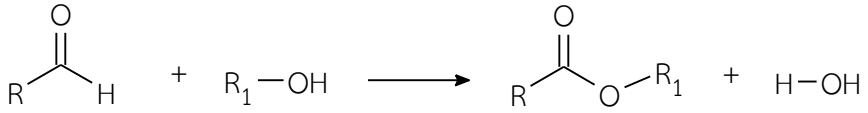

divinyl ether

เอสเทอร์

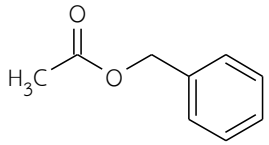
เอสเทอร์ (ester) เป็นอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิก เอสเทอร์มีสูตรทั่วไป

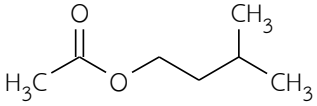


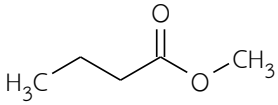
ซึ่งเอสเทอร์เตรียมได้ตากปฏิกิริยาระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอส์ เรียกว่า เอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification)

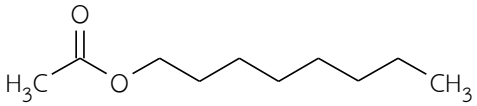

เอสเทอร์

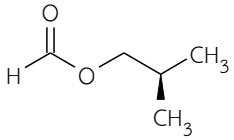
เอสเทอร์ส่วนใหญ่มีกลิ่นหอมแบบผลไม้ เช่น เอมิลแอซิเตต (amyl acetate) มีกลิ่นหอมแบบกล้วย ออกทิลแอซิเตต (octyl acetate) หอมแบบส้ม เอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ จึงใช้เสริมกลิ่นและรสของอาหาร และใช้ทำน้ำหอม เอสเทอร์ที่สำคัญมีกลิ่นเฉพาะตัวมีดังนี้ methyl butyrate ให้กลิ่นแอปเปิล ethylbutyrate ให้กลิ่นสับประรด และ octyl acetate ให้กลิ่นส้ม เป็นต้น

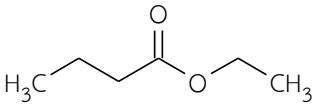

benzyl acetate (jasmine)

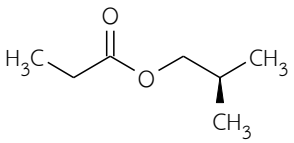

isopentyl acetate (banana)

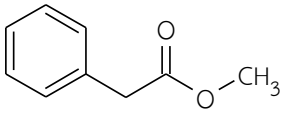

methyl butylate (apple)

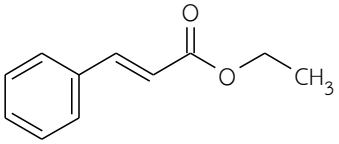

octyl acetate (orange)


isobutyl formate (raspberry)


ethyl butylate (pineapple)

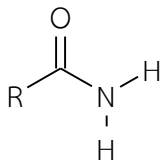

isobutyl propionate (rum)


methylphenyl acetate (honey)


ethyl cinnamate (cinnamon)

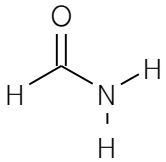
เอไมด์

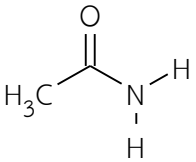
เอไมด์ (amides) คือสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุ C, H, O และ N เกิดจากหมู่แอมิโน ($-NH_2$) เข้าไปแทนที่หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ในกรดคาร์บอกซิลิก



สูตรทั่วไปของเอไมด์

ตัวอย่างสารประกอบเอไมด์





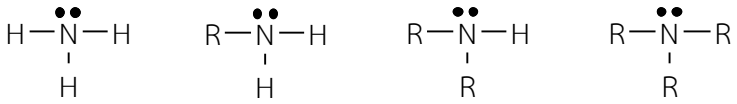
ชื่อสามัญ	formamide	acetamide
ชื่อ IUPAC	methanamide	ethanamide

เอไมด์เป็นโมเลกุลมีขั้ว โดยขั้วของโมเลกุลอยู่ที่ $CONH_2$ ทั้งนี้ออกซิเจนซึ่งเป็นธาตุที่มีอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูง จะแสดงสภาพไฟฟ้าลบ ส่วนไฮโดรเจนจะแสดงสภาพขั้วไฟฟ้าบวก เนื่องจากเป็นโมเลกุลมีขั้ว จึงละลายน้ำได้ เช่นเดียวกับเอมีน แต่การละลายจะลดลงเมื่อจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้น เพราะส่วนที่ไม่มีขั้วจะเพิ่มขึ้น สารละลายของเอไมด์ ไม่แสดงสมบัติเป็นเบส เพราะเมื่อละลายน้ำจะไม่ให้ OH^-

เอมีน

เอมีน (amines) เป็นสารอินทรีย์ซึ่งมี $-NH_2$ เป็นหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวจึงจัดเอมีนเป็นอนุพันธ์ของแอมโมเนีย โดยแทนที่ H ของ NH_3 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 4.11 เอมีน

เอมีนมีสมบัติเป็นเบสเช่นเดียวกับแอมโมเนีย เพราะไนโตรเจนมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่ เอมีนส่วนใหญ่มีกลิ่นเหม็นและเป็นพิษ เอมีนเป็นโมเลกุลโคเวเลนต์มีขั้ว ส่วนที่มีขั้วคือ $-NH_2$ โดย N มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงกว่า จะมีสภาพขั้วไฟฟ้าลบ ส่วน H จะมีสภาพขั้วไฟฟ้าบวก เนื่องจากเป็นโมเลกุลมีขั้ว จึงละลายในน้ำได้ สารละลายของเอมีนแสดงสมบัติเป็นเบส เมื่อทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส

เอมีนบางชนิดไม่ละลายน้ำ แต่แสดงสมบัติเป็นเบสได้ เพราะมีไนโตรเจนที่สามารถรับโปรตอนได้ เมื่อโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น การละลายน้ำจะลดลง เนื่องจากส่วนที่ไม่มีขั้วเพิ่มขึ้น สำหรับเอมีนที่มี

โครงสร้างอย่างเดียวกัน เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้น หรือเมื่อจำนวนอะตอมของคาร์บอนเพิ่มขึ้น จุดเดือดและจุดหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้น

เอมีนชนิดที่เรียกว่าแอลคาลอยด์ (alkaloid) พบในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น เมล็ด ใบ ดอก เปลือกและราก ตัวอย่างเช่น มอร์ฟีน พบในดอกฝิ่น ใช้เป็นยาบรรเทาปวด โคเคน พบในใบโคลา ใช้เป็นยาทาผิวหนัง ควินินพบในของต้นซินโคนา ใช้รักษาโรคมาลาเรีย

2) หมู่แทนที่

หมู่แทนที่ คือหมู่ที่มาเกาะในโครงสร้างหลัก โดยหมู่แทนที่อาจเป็นอะตอมหรือโมเลกุล พอสรุปได้ดังนี้

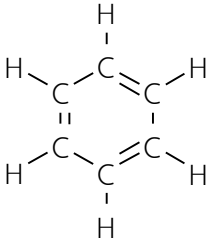
2.1) หมู่แอลคิล

หมู่แอลคิล (alkyl group) คือหมู่แทนที่ที่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนน้อยกว่าสารประกอบแอลเคนอยู่หนึ่งอะตอม เขียนแทนด้วย R- ชื่อเรียกหมู่แอลคิลจะเรียกตามแอลเคน แต่เปลี่ยนเสียงลงท้ายเป็น อิล (-yl) หมู่แอลคิลที่เล็กที่สุดคือหมู่เมทิล ($-CH_3$) ซึ่งได้มาจากมีเทน (CH_4)

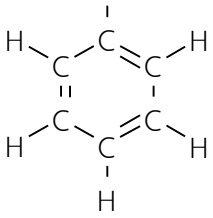
CH_3-	ชื่อเรียก เมทิล (methyl)
CH_2CH_2-	ชื่อเรียก เอทิล (ethyl)
$CH_2CH_2CH_2$-	ชื่อเรียก *นอร์มัล*-โพรพิล (*n*-propyl)
$CH_2CH_2CH_2CH_2$-	ชื่อเรียก *นอร์มัล*-บิวทิล (*n*-butyl)
$CH_2CH(CH_3)-CH_2$-	ชื่อเรียก *ไอโซ*-บิวทิล (*iso*-butyl)

2.2) หมู่แอลริล

กลุ่มแอริล (aryl group) มักประกอบด้วยวงแหวนแอโรแมติก หมู่แอริลเป็นสารประกอบแอโรแมติกธรรมดาที่อะตอมไฮโดรเจนหนึ่งอะตอมจะถูกลบออกจากวงแหวน เพื่อให้สามารถยึดติดกับสายคาร์บอนได้ วงแหวนแอโรแมติกที่พบมากที่สุดคือเบนซิน หมู่เอริลทั้งหมดมาจากโครงสร้างเบนซีน (benzene, C_6H_6)

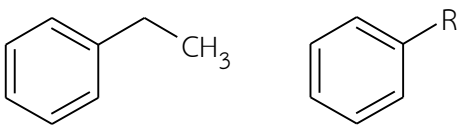


benzene (C_6H_6)



phenyl (C_6H_5-)

C_6H_5-	ชื่อเรียก ฟีนิล (phenyl)
$C_6H_5-CH_2$-	ชื่อเรียก เบนซิล (benzyl)



เบนซิล (benzyl) ฟีนิล (phenyl)

ภาพที่ 4.12 กลุ่มแอริล

2.3) หมู่แทนที่อื่น

-F	ชื่อเรียก ฟลูออโร (fluoro)
-Cl	ชื่อเรียก คลอโร (chloro)
-Br	ชื่อเรียก โบรโม (bromo)
-I	ชื่อเรียก ไอโอโด (iodo)
$-NO_2$	ชื่อเรียก ไนโตร (nitro)
$-NH_2$	ชื่อเรียก แอมิโน (amino)
-OH	ชื่อเรียก ไฮดรอกซี (hydroxy)

4.2.2 ชื่อสารอินทรีย์

1) แอลเคนและไซโคลแอลเคน

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมด หลักการเรียกชื่อ ดังนี้

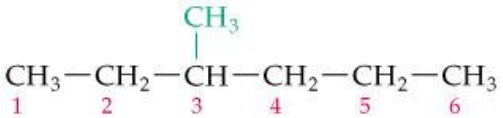
(1) หาโซ่ที่มีจำนวนคาร์บอนต่อกันยาวมากที่สุด แล้วเรียกโซ่หลักนี้เป็นชื่อโครงสร้างหลัก (ตารางที่ 4.1) และคำลงท้ายเป็น -ane

(2) กำหนดลำดับอะตอมคาร์บอน โดยพิจารณาตำแหน่งที่มีโซ่กิ่ง หรือหมู่แทนที่มาเกาะกับคาร์บอนในโซ่หลัก ให้กำหนดอะตอมคาร์บอนของโซ่หลักที่ใกล้หมู่แทนที่ให้เป็นเลขที่น้อยที่สุด

(3) หมู่แทนที่หนึ่งหมู่ ให้ระบุตำแหน่งคาร์บอนที่หมู่แทนที่เกาะ ตามด้วยเครื่องหมายขีด (-) ตามด้วยชื่อหมู่แทนที่และตามด้วยชื่อโครงสร้างหลัก โดยไม่ต้องเว้นวรรค

(4) หมู่แทนที่มากกว่า 1 หมู่ (ไม่เหมือนกัน) ให้ระบุตำแหน่งคาร์บอนที่หมู่แทนที่เกาะทุกหมู่ โดยเรียงชื่อหมู่แทนที่ตามอักษรภาษาอังกฤษ

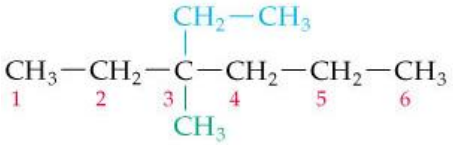
(5) หมู่แทนที่มากกว่า 1 หมู่ (เหมือนกัน) ให้ระบุตำแหน่งคาร์บอนที่หมู่แทนที่เกาะทุกหมู่ คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) โดยระบุจำนวนหมู่แทนที่ที่เหมือนกันเป็นภาษากรีก (2 = di, 3 = tri, 4 = tetra)



3-methylhexane

โซ่หลัก คือ hexane

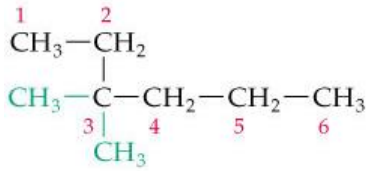
โซ่กิ่ง (หมู่แทนที่) คือ methyl เกาะตำแหน่งที่ 3 ของโซ่หลัก



3-ethyl-3-methylhexane

โซ่หลัก คือ hexane

โซ่กิ่ง (หมู่แทนที่) คือ methyl และ ethyl เกาะตำแหน่งที่ 3 เดียวกันของโซ่หลัก



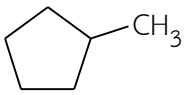
3,3-dimethylhexane

โซ่หลัก คือ hexane

โซ่กิ่ง (หมู่แทนที่) คือ methyl 2 หมู่เกาะตำแหน่งที่ 3 เดียวกันของโซ่หลัก

(6) ไซโคลแอลเคน (cycloalkane) โดยใช้ชื่อไซโคลแอนเคนเป็นชื่อโครงสร้างหลัก

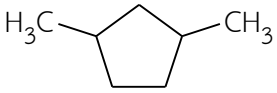
- กรณีหมู่แทนที่หนึ่งหมู่ ให้เรียกชื่อหมู่แทนที่แล้วตามด้วยชื่อโครงสร้างหลัก เช่น methylcycolpentane
- กรณีหมู่แทนที่มากกว่าหนึ่งหมู่ ให้ระบุตำแหน่งหมู่แทนที่ที่มีอักษรที่มาก่อนมีตำแหน่งคาร์บอนต่ำสุด แล้วระบุตำแหน่งของหมู่แทนที่ตัวต่อไป



methylcyclopentane

โซ่หลัก คือ cyclopentane

หมู่แทนที่ คือ methyl เกาะตำแหน่งที่ 1 ของโซ่หลัก

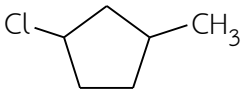


1,3-dimethylcyclopentane

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

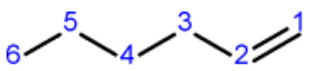
กำหนดตำแหน่งคาร์บอนที่หมู่ chloro เป็น 1 และหมู่ methyl เป็น 3 (เรียงตามตัวอักษร)

2) แอลคีน

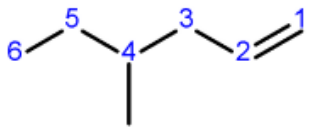
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะคู่ภายในโมเลกุล หลักการเรียกชื่อแอลคีนเช่นเดียวกับแอลเคนและไซโคลแอลเคน แต่มีข้อแตกต่าง ดังนี้

(1) ระบุตำแหน่งคาร์บอนของโซ่หลักโดยให้พันธะคู่เป็นตำแหน่งน้อยที่สุด ให้เรียกชื่อโซ่หลักตามจำนวนคาร์บอน (ตารางที่ 4.1) ตามด้วยตำแหน่งพันธะคู่ ตามด้วย -ene

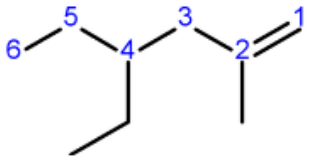
(2) หลักการเรียกชื่อหมู่แทนที่ เช่นเดียวกับแอลเคนและไซโคลแอลเคน



hex-1-ene
(1-hexene)

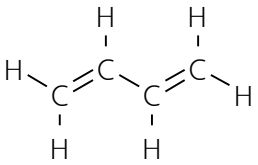


4-methylhex-1-ene
(4-methylhexene)



4-ethyl-2-methylhex-1-ene
(4-ethyl-2-methylhexene)

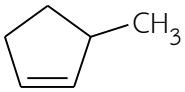
(2) กรณีที่มีพันธะคู่มากกว่าหนึ่งแห่งให้ใส่ตัวเลขตำแหน่งของที่อยู่ของพันธะคู่และใช้คำว่า diene และ triene เป็นคำลงท้ายสำหรับพันธะคู่ 2 และ 3 ตำแหน่ง ตามลำดับ



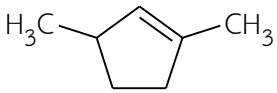
1,3-butadiene

(3) ไซโคลแอลคีน (cycloalkene) โดยใช้ชื่อไซโคลแอลคีนเป็นชื่อโครงสร้างหลัก

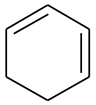
- กำหนดตำแหน่งพันธะคู่เป็นตำแหน่งที่ 1
- นับตำแหน่งหมู่แทนที่ให้เป็นเลขน้อยสุด
- อ่านชื่อหมู่แทนที่ตามลำดับตัวอักษร



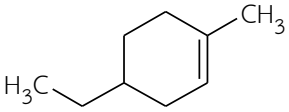
3-methylcyclopentene



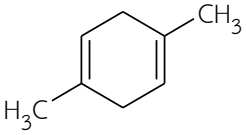
1,3-dimethylcyclopent-1-ene



cyclohexea-1,3-diene



4-ethyl-1-methylcyclohexene

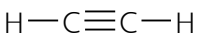


1,4-dimethylcyclohexa-1,4-diene

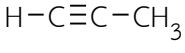
3) แอลไคน์

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะสามภายในโมเลกุล หลักการเรียกชื่อแอลไคน์เช่นเดียวกับแอลคีนและไซโคลแอลคีน แต่มีเสียงลงท้ายเป็น -yne

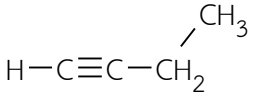
กรณีที่มีพันธะสามมากกว่าหนึ่งแห่งให้ใส่ตัวเลขตำแหน่งของที่อยู่ของพันธะสามและใช้คำว่า diyne และ triyne เป็นคำลงท้ายสำหรับพันธะสาม 2 และ 3 ตำแหน่ง ตามลำดับ



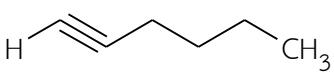
ethyne



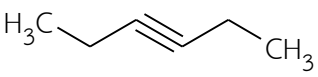
1-propyne
(prop-1-yne)



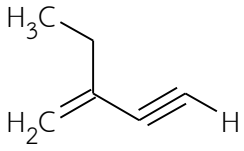
1-butyne
(but-1-yne)



1-hexyne
(hex-1-yne)



3-hexyne
(hex-3-yne)



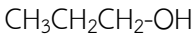
2-ethyl-1-ene-3-yne

4) แอลกอฮอล์

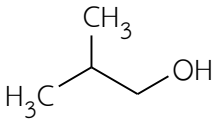
สารประกอบแอลกอฮอล์ มีสูตรทั่วไป คือ R–OH

การเรียกชื่อสามัญของแอลกอฮอล์ เรียกหมู่แอลคิล ตามด้วยคำว่าแอลกอฮอล์ เช่น เมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)

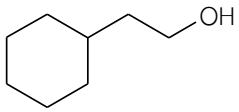
การอ่านชื่อ IUPAC ของแอลกอฮอล์มีหลักการเช่นเดียวกับแอลเคน แอลคีนและแอลไคน์ แต่คำลงท้ายเป็น -ออล์ (-ol) กำหนดตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่หมู่ -OH เกาะให้เป็นตำแหน่งน้อยสุด



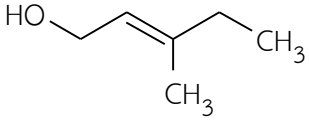
1-butanol



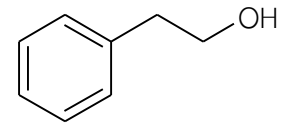
2-methylpropanol
(*iso*-butanol)



4-cyclohexyl-1-butanol

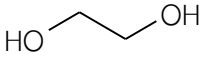


3-methyl-2-pentenol
(3-methyl-2-penten-1-ol)

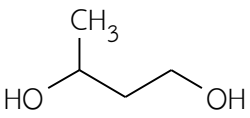


2-phenylethanol

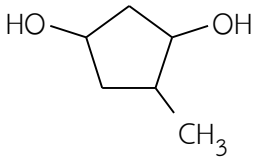
โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชัน OH สองหมู่ให้เรียกคำลงท้ายเป็น ไดออล (diol)



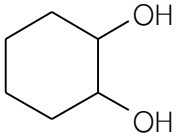
ethane-1,2-diol



butane-1,3-diol



4-methylcyclopentane-1,3-diol



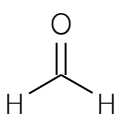
cyclohexane-1,2-diol

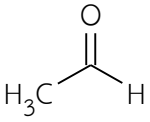
5) แอลดีไฮด์

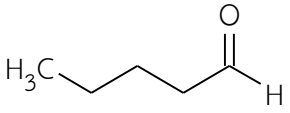
สารประกอบแอลดีไฮด์ เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล (–C=O) เป็นหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว

ชื่อสามัญของแอลดีไฮด์ เรียกตามชื่อสามัญทั่วไปตามด้วยคำว่า ดีไฮด์ เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) หรือ แอซิตัลดีไฮด์ (acetaldehyde)

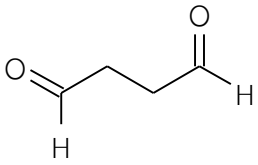
การเรียกชื่อแอลดีไฮด์ตามระบบ IUPAC มีหลักการเช่นเดียวกับแอลเคน แอลคีนและแอลไคน์ แต่คำลงท้ายเป็น -แอล (–al) กำหนดตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่หมู่คาร์บอนิลเกาะให้เป็นตำแหน่งที่ 1

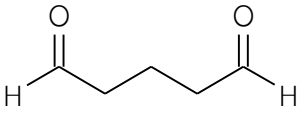

methanal
(formaldehyde)


ethanal
(acetaldehyde)


pentanal
(valeraldehyde)

โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลสองหมู่ให้เรียกคำลงท้ายเป็น ไดแอล (-dial)


butanedial

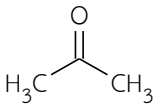

pentanedial

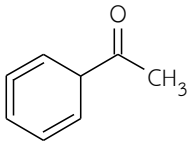
6) คีโตน

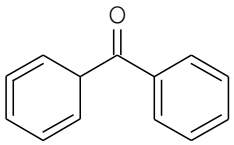
สารประกอบคีโตน เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล (–C=O) เป็นหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว

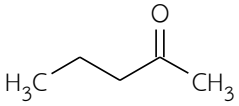
ชื่อสามัญของคีโตนเรียกตามชื่อสามัญทั่วไปตามด้วยเสียงลงท้ายเป็น โอน เช่น แอซิโตน (acetone)

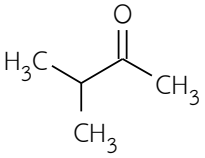
การเรียกชื่อคีโตนตามระบบ IUPAC มีหลักการเช่นเดียวกับแอลดีไฮด์ แต่คำลงท้ายเป็น -โอน (–one) กำหนดตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่หมู่คาร์บอนิลเกาะให้เป็นตำแหน่งน้อยสุด

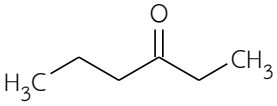

propanone
(acetone)


acetophenone
(methyl phenyl ketone)

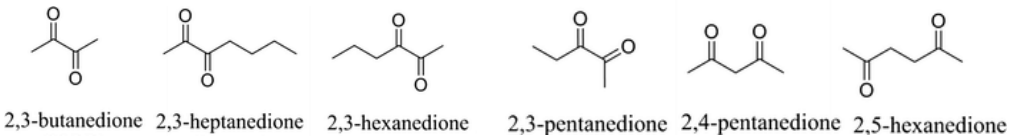

benzophenone
(diphenyl ketone)


2-pentanone
(methyl propyl ketone)


3-methyl-2-butanone
(methyl isopropyl ketone)


3-hexanone
(ethyl propyl ketone)

โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ให้เรียกคำลงท้ายเป็น ไดโอน (-dione)


2,3-butanedione 2,3-heptanedione 2,3-hexanedione 2,3-pentanedione 2,4-pentanedione 2,5-hexanedione

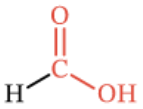
7) คาร์บอกซิลิก

สารประกอบคาร์บอกซิลิก เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล (–COOH) เป็นหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว

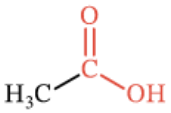
ชื่อสามัญของคาร์บอกซิลิก เรียกตามชื่อสามัญทั่วไปตามด้วยเสียงลงท้ายเป็น แอซิด เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดแอซิติก (acetic acid)

การเรียกชื่อคาร์บอกซิลิก ตามระบบ IUPAC มีหลักการเช่นเดียวกับสารประกอบอินทรีย์ แต่คำลงท้ายเป็น -โออิก แอซิด (-oic acid) กำหนดตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่หมู่คาร์บอกซิลเกาะให้เป็นตำแหน่งที่ 1

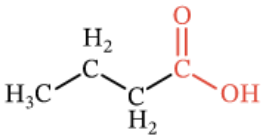
โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ให้เรียกคำลงท้ายเป็น -dioic acid



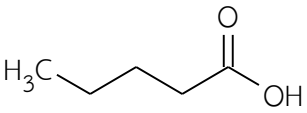
methanoic acid
(formic acid)



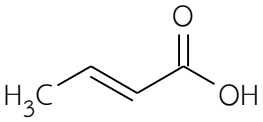
ethanoic acid
(acetic acid)



butanoic acid
(butyric acid)

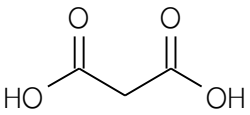


pentanoic acid

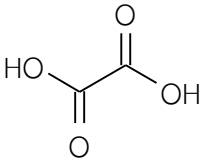


2-butenoic acid

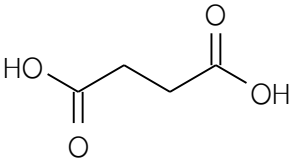
โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ให้เรียกคำลงท้ายเป็น ไดโออิก แอซิด (-dioic acid)



propanedioic acid



ethan-1,2-dioic acid
(oxalic acid)



butan-1,4-dioic acid
(succinic acid)

8) อีเทอร์

อีเทอร์ (Ether) เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่แอลคิลหรือหมู่แอริลต่อกับออกซิเจน มีสูตรทั่วไปคือ R-O-R’ ซึ่ง R และ R’ แทนหมู่แทนที่ (หมู่แอลคิล หรือหมู่แอริล)

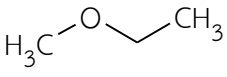
การเรียกชื่อสามัญของอีเทอรให้เรียกหมูแอลคิล 2 หมู ที่เกาะกับออกซิเจน ถ้าหมูที่ตออยูกับออกซิเจนเปนแอลคิลหรือหมูแอริลทั้งสองหมูให้เรียกชื่อเรียงตามลำดับอักษร แล้วลงท้ายด้วยอีเทอร แต่ถาเป็นอีเทอรอย่างง่ายให้ใช้คำ วา di- นำหนาหมูแอลคิล

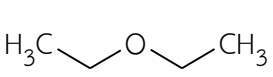
CH_3-O-CH_2CH_3	CH_3CH_2-O-CH_2CH_3	C_6H_5-O-CH_2CH_3
ethyl methyl ether	diethyl ether	ethyl phenyl ether

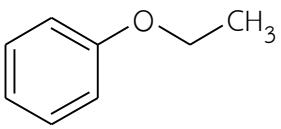
การเรียกชื่อระบบ IUPAC ของอีเทอรจะเรียกเป็นแอลคอกซี แอลเคน (alkoxyalkanes) กำหนดให้หมูแอลคิล/หมู่แอริล ที่มีขนาดใหญ่กว่าเป็นชื่อหลัก เรียกหลังสุดตามชื่อของแอลเคน ส่วนหมูแอลคิล/หมู่แอริลขนาดเล็กให้เรียกชื่อในรูปของหมูแอลคอกซี (alkoxy) ดังตารางที่ 4.9

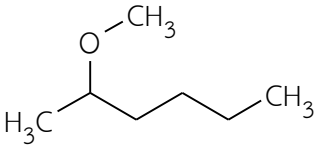
ตารางที่ 4.9 หมู่แอลคอกซี

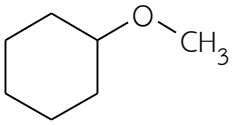
หมู่แอลคิล/หมู่แอริล	ชื่อหมู่แอลคิล/หมู่แอริล	หมู่แอลคอกซี	ชื่อหมู่แอลคอกซี
CH_3–	methyl	CH_3O–	methoxy
CH_3CH_2–	ethyl	CH_3CH_2O–	ethoxy
$(CH_3)_2CH$–	isopropyl	$(CH_3)_2CHO$–	*iso*-propoxy
$(CH_3)_3C$–	tert-butyl	$(CH_3)_3CO$–	*tert*-butoxy
C_6H_5–	phenyl	C_6H_5O–	phenoxy


methoxyethane


ethoxyethane


ethoxybenzene

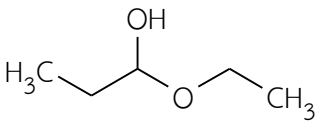

2-methoxyhexane

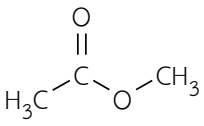

methoxycyclohexane

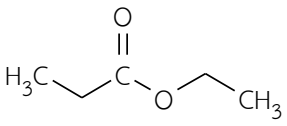
9) เอสเทอร์

เอสเทอร์คือกรดอินทรีย์ที่ไฮโดรเจนอะตอมของหมู่ OH ถูกแทนที่ด้วย หมู่แอลคิล ส่วนใหญ่มีกลิ่นหอม มีสูตรทั่วไปเป็น R-CO-OR หรือ R'COOR หรือ R'CO_2R มีสูตรโมเลกุลทั่วไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ (เหมือนกรดอินทรีย์) และมีหมู่แอลคอกซีคาร์บอนิล (-COOR) เป็นหมู่ฟังก์ชัน

การเรียกชื่อระบบ IUPAC ของเอสเทอร์ต้องเรียกชื่อหมู่แอลคิลหรือหมู่แอริลที่มาจากหมู่แอลกอฮอล์ แล้วตามด้วยชื่อของกรดคาร์บอกซิลิก แต่เปลี่ยนคำลงท้ายจาก –โออิก (–oic) เป็น โอเอต (–oate)


ethylpropanoate


methyl ethanoate
(methyl acetate)


ethyl propanoate

10) เอมีน

สารประกอบเอมีน เป็นสารอินทรีย์ที่มีอะตอม N เป็นหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว

ชื่อสามัญให้เรียกแบบ แอลคิลเอมีน (alkylamine) เรียกชื่อหมู่แอลคิลที่ต่อที่อะตอมไนโตรเจน ตามลำดับตัวอักษร และเติมคำลงท้ายว่าเอมีน (-amine) เช่น

$H_3C\text{-}NH_2$ (methylamine)

$H_3CH_2C\text{-}NH_2$ (ethylamine)

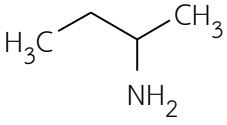
$H_3C\text{-}NH\text{-}CH_3$ (dimethylamine)

การเรียกชื่อ IUPAC ให้เรียกแบบ แอลเคนเอมีน (alkanamine) ใช้หลักเกณฑ์เดียวกับการเรียกชื่อสารอินทรีย์อื่น ๆ โดยที่เอมีนปฐมภูมิ (1°amine) ลงท้ายด้วยเอมีน (amine) เช่น

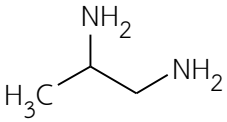
$H_3C\text{-}NH_2$ methamine

$CH_3CH_2\text{-}NH_2$ ethanamine

$CH_3CH_2CH_2\text{-}NH_2$ propanamine



1-methyl propanamine

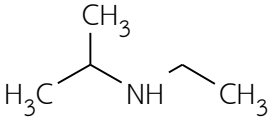


propane-1,2-diamine

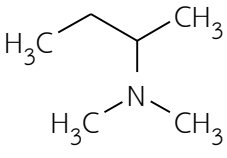
กรณีเอมีนทุติยภูมิ (2°amine) และเอมีนตติยภูมิ (3°amine) เรียกชื่อหมู่แอลคิลที่ต่อที่อะตอมไนโตรเจน ตามลำดับตัวอักษร และเขียน *N* นำหน้าหมู่แอลคิล และลงท้ายด้วยเอมีน เช่น *N*-methylpropanamine

$H_3C\text{-}NH\text{-}CH_3$ *N*-methylmethamine

$CH_3CH_2CH_2\text{-}NH\text{-}CH_3$ *N*-methylpropanamine



N-ethylpropan-2-amine



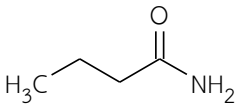
N,*N*-dimethyl-1-methylpropanamine

นอกจากนี้ยังสามารถรียกชื่อโดยใช้ชื่อหมู่แทนที่ $-NH_2$ (amino) ได้เช่น

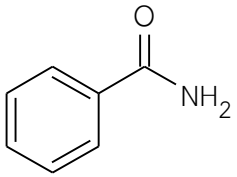
$CH_3\text{-}NH_2$	$CH_3CH_2\text{-}NH_2$	$CH_3CH_2CH_2\text{-}NH_2$
aminomethane	aminoethane	aminopropane
(methylamine)	(ethylamine)	(propylamine)

11) เอไมด์

การเรียกชื่อสามัญให้เรียกตามกรดอินทรีย์ โดยตัด -ic acid ออกแล้วเติม -amide เข้าไปแทนส่วนการเรียกชื่อระบบ IUPAC ให้เรียกชื่อตามกรดอินทรีย์เช่นเดียวกัน โดยตัด -oic acid ออกแล้วเติม -amide เข้าไปแทน

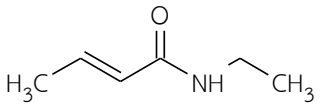


butanamide

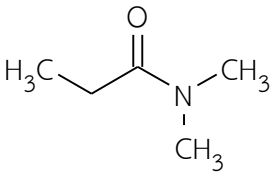


Benzamide

กรณี 2°amide และ 3°amide เรียกชื่อหมู่แอลคิลที่ต่อที่อะตอมไนโตรเจน ตามลำดับตัวอักษร และเขียน *N* นำหน้าหมู่แอลคิล และลงท้ายด้วยเอไมด์



N-ethyl-2- butanamide



N,N-dimethylprpanamide

สรุปท้ายบทเรียน

หมู่ฟังก์ชันเป็นส่วนโครงสร้างองค์ประกอบเฉพาะตัว หมู่ฟังก์ชันเป็นตัวกำหนดการทำปฏิกิริยาและสมบัติทางเคมีอื่น ๆ ของโมเลกุล ซึ่งหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์จะเป็นตัวบอกสมบัติเฉพาะในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ หมู่แทนที่ คือหมู่ที่มาเกาะในโครงสร้างหลัก โดยหมู่แทนที่อาจเป็นอะตอมหรือโมเลกุล เช่นหมู่แอลคิลคือหมู่แทนที่มาจากแอลเคนแต่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนน้อยกว่าแอลเคนอยู่หนึ่งอะตอม เขียนแทนด้วย R- ชื่อเรียกหมู่แอลคิลจะเรียกตามแอลเคน แต่เปลี่ยนเสียงลงท้ายเป็น อิล กลุ่มแอริล มักประกอบด้วยวงแหวนแอโรแมติก หมู่แอริลเป็นสารประกอบแอโรแมติกธรรมดาที่อะตอมไฮโดรเจนหนึ่งอะตอมจะถูกลบออกจากวงแหวน หลักการเรียกชื่อสารอินทรีย์จะเรียกได้ทั้งแบบชื่อสามัญและชื่อตาม IUPAC โดยสารแต่ละชนิดจะมีชื่อเรียกแต่ต่างกันตามชนิดของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ แต่เราอาจสรุปเป็นหลักใหญ่ได้คือ หาโซ่ที่มีจำนวนคาร์บอนต่อกันยาวมากที่สุด แล้วเรียกโซ่หลักนี้เป็นชื่อโครงสร้างหลัก กำหนดลำดับอะตอมคาร์บอน โดยพิจารณาตำแหน่งที่มีโซ่กิ่ง หรือหมู่แทนที่มาเกาะกับคาร์บอนในโซ่หลัก ให้กำหนดอะตอมคาร์บอนของโซ่หลักที่ใกล้หมู่แทนที่ให้เป็นเลขที่น้อยที่สุด หมู่แทนที่หนึ่งหมู่ ให้ระบุตำแหน่งคาร์บอนที่หมู่แทนที่เกาะ ตามด้วยชื่อหมู่แทนที่และตามด้วยชื่อโครงสร้างหลัก ถ้ามีหมู่แทนที่มากกว่า 1 หมู่ (ไม่เหมือนกัน) ให้ระบุตำแหน่งคาร์บอนที่หมู่แทนที่เกาะทุกหมู่ โดยเรียงชื่อหมู่แทนที่ตามอักษรภาษาอังกฤษ เป็นต้น

กิจกรรม

ขั้นตอน	**วิธีการ**
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 4.2
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (10 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 อภิปรายสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

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* (4th 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* (14th ed.). Pearson Education, Inc.

Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12th 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* (11th ed.). Cengage Learning.

Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6th ed.). John Wiley & Sons, Inc

Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11th ed.). Pearson Prentice Hall.

Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14th ed.). McGraw-Hill.

Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3rd ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9th ed.). McGraw-Hill Publishing Company.