11

สารอินทรีย์

11.1 แหล่งธรรมชาติที่สำคัญของสารอินทรีย์

11.2 พันธะและสูตรโครงสร้างในสารประกอบคาร์บอน

11.3 แหล่งธรรมชาติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

11.4 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

11.5 สารประกอบอินทรีย์ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ

11.6 สารประกอบอะโรมาติก

11.7 สารประกอบอะมีนและอะมีด

บทนำ

สารอินทรีย์ (organic compound) เป็นสารประกอบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ สารอินทรีย์ช่วยให้การดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นไปอย่างสะดวกสบายและปลอดภัยยิ่งขึ้นคือ มีการถนอมอาหาร โดยการทำอาหารกระป๋องและอาหารสำเร็จรูปต่าง ๆ ทำให้มีสีย้อมผ้า เครื่องสำอาง เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม ทั้งที่เป็นใยธรรมชาติและใยสังเคราะห์ และทำให้มียาชนิดต่าง ๆ เช่น ยาฆ่าเชื้อโรค ยาฆ่าแมลงต่าง ๆ รวมทั้งยาปฏิชีวนะ

11.1 แหล่งธรรมชาติที่สำคัญของสารอินทรีย์

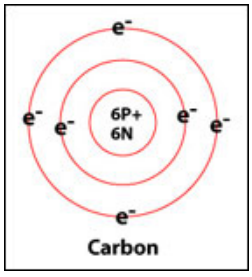
แหล่งธรรมชาติที่สำคัญของสารอินทรีย์อาจได้มาจากพืชและสัตว์โดยตรง หรือมาจากทางอ้อมในรูปของเชื้อเพลิงธรรมชาติได้แก่

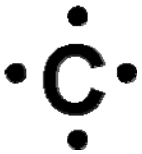
1. **พืชและสัตว์** เมื่อนำส่วนต่างๆ ของพืชมาสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ จะได้สารอินทรีย์เกิดขึ้นหลายชนิด เช่น เซลลูโลสจากใยฝ้ายและลำต้นพืช แป้งจากใบและรากพืชบางชนิด น้ำตาลและกรดอินทรีย์บางชนิดจากผลไม้ สารเอสเทอร์จากน้ำมันหอมของดอกไม้

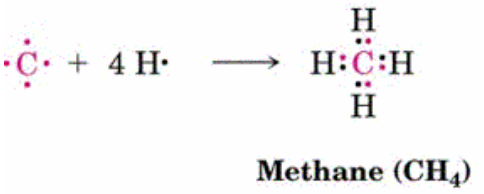
2. **เชื้อเพลิงธรรมชาติ** เป็นแหล่งธรรมชาติที่สำคัญของการกำเนิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอน แหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ ปิโตรเลียม หินน้ำมัน (oil shale) และถ่านหิน

11.2 พันธะและสูตรโครงสร้างในสารประกอบคาร์บอน

อะตอมของธาตุคาร์บอนจะอยู่ในหมู่ 4 A ของตารางธาตุ ดังนั้นอะตอมของคาร์บอนจะมีอิเล็กตรอนวงนอกเท่ากับ 4 e^- จึงต้องการอีก 4 e^- ร่วมกันเพื่อให้ครบ 8 อิเล็กตรอนตามกฎออคเตท (octate) และพันธะที่ธาตุคาร์บอนจับกับธาตุอื่นเป็นแบบโควาเลนท์ (covalent bond) ซึ่งเกิดการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างอะตอมทั้งสอง







11.2.1 สูตรโครงสร้างและไอโซเมอร์

ไอโซเมอร์ (isomer) เป็นสารประกอบที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกันแต่โครงสร้างต่างกันซึ่งมีผลให้คุณสมบัติทางเคมี หรือสมบัติทางกายภาพต่างกัน เช่น n - butane และ isobutane เรียกว่ามีไอโซเมอร์ซึ่งกันและกัน

$$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_3 \qquad \begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CH_3 - CH - CH_3 \end{matrix}$$

n - Butane (C_4H_{10}) Isobutane (C_4H_{10})

ถ้าจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นจำนวนไอโซเมอร์ก็จะเพิ่มขึ้น เช่น butane , pentane และ hexane จะมีไอโซเมอร์เป็น 2 , 3 และ 5 ตามลำดับ เช่น

จำนวนคาร์บอน	**จำนวนไอโซเมอร์**
C_3	1
C_4	2
C_5	3

11.2.2 เปรียบเทียบความแตกต่างของสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์

สารประกอบอินทรีย์	**สารประกอบอนินทรีย์**
1. ติดไฟได้ เช่น เอทธานอลหรืออะซีโตน	1. ไม่ติดไฟ เช่น แบเรียมคลอไรด์
2. ทำปฏิกิริยาช้ากว่าสารอนินทรีย์ เพราะเป็นสารนอนอีเล็คโตรไลต์ (non - electrolyte)	2. ทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่า
3. จุดหลอมเหลวต่ำ	3. จุดหลอมเหลวสูง
4. ไม่ละลายน้ำเนื่องจากเป็นนอนโพลาร์	4. ละลายน้ำได้ดีเนื่องจากเป็นโพลาร์
5. สารอินทรีย์โดยปกติประกอบกันด้วยหลาย ๆ อะตอม	5. สารอนินทรีย์ประกอบกันเพียง 2 - 3 อะตอม
6. ปฏิกิริยาเคมีรวมกันโดยใช้โมเลกุล	6. ปฏิกิริยาเคมีรวมกันโดยใช้ไอออน
7. สารอินทรีย์โครงสร้างซับซ้อน	7. โครงสร้างแบบง่าย ๆ

11.3 แหล่งธรรมชาติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

แหล่งธรรมชาติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่สามารถพบได้ คือ สารปิโตร-เลียม และก๊าซธรรมชาติ ทั้งปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติเกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์จากซากพืชและสัตว์ทับทมกันเป็นเวลานานนับร้อยล้านปีอยู่ใต้ดิน และความร้อนของเปลือกโลกที่อัดตัวกันแน่น ประเภทของน้ำมันดิบสามารถแบ่งออกเป็นปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติ

1. ปิโตรเลียม หรือ น้ำมันดิบ (Crude oil) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 1 ตัวคือ มีเทน (methane , CH_4) ไปจนถึงคาร์บอน 30 - 40 ตัว ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีจุดเดือดต่างกันไป ส่วนปิโตรเลียมที่มีสารไฮโดรคาร์บอนต่ำ จะมีสถานะเป็นก๊าซใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนและอุตสาหกรรม ส่วนพวกจำนวนคาร์บอนสูงขึ้นจะเป็นของเหลว การแยกส่วนต่างๆ ของน้ำมันดิบจะอาศัยจุดเดือดแต่ละชนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน สารไฮโดรคาร์บอนในปิโตรเลียมที่คาร์บอนไม่เกิน 6 ตัว สามารถแยกให้บริสุทธิ์ได้ซึ่งมีประโยชน์ในการผลิตสารต่างๆ เช่น ยางสังเคราะห์ สีย้อมผ้า พลาสติกและไนลอน

2. ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดเดียวกับสารปิโตรเลียม ส่วนใหญ่จะมีจำนวนคาร์บอน 1 ถึง 4 ตัว เช่น CH_4 (methane) CH_3CH_3 (ethane) , $CH_3CH_2CH_3$ (propane) และ $CH_3CH_2CH_2CH_3$ (butane) นอกเหนือจากสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้อาจมีคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนหรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ปะปนมากับก๊าซธรรมชาติ ประโยชน์ที่ได้จากก๊าซธรรมชาติได้แก่

Methane สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

Ethane สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม เช่น ในการผลิตพลาสติก ยางเทียมและไนลอน

ก๊าซหุงต้ม (LPG) LPG (liquified petroleum gas) เป็นสารผสมระหว่างโพรเพน (propane) กับบิวเทน (butane) ในอัตราส่วน 30 : 70 ประโยชน์ของ LPG จะใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มและใช้ทดแทนน้ำมันที่ใช้กับเครื่องยนต์ได้

11.4 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon compound) ประกอบด้วยธาตุเพียง 2 ชนิดคือ ไฮโดรเจนและคาร์บอน ซึ่งลักษณะโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนนี้สามารถแบ่งตามโครงสร้างออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. สารประกอบอะลิฟาติก (Aliphatic compound) เป็นสารประกอบที่ โมเลกุลต่อเป็นลูกโซ่ตรง (chain compound) และแบบแขนงข้าง (branch chain) สารประกอบอะลิฟาติกสามารถ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1.1 ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated hydrocarbon) คือสารประกอบที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนเป็นแบบพันธะเดี่ยว (single bond) ได้แก่ พวกสารประกอบอัลเคน (alkane)

1.2 ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated hydrocarbon) คือสารประกอบที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนเป็นแบบพันธะคู่ (double bond) ได้แก่ อัลคีน (alkene) และอัลไคน์ (alkyne)

2. สารประกอบไซคลิก (Cyclic compound) เป็นสารประกอบวงแหวนชนิด ที่มีพันธะคู่ (double bond) และพันธะเดี่ยว (single bond) สลับกันไปเรียกว่าสารประกอบอะโรมาติก เช่น benzene , aromatic aldehyde , aromatic alcohol , aromatic ketone หรือบางทีอาจจะต่อกันเป็นวงแหวนจึงเรียกว่าสารประกอบอะลิไซคลิก (alicyclic compound) เช่น ไซโคลอัลเคน (cycloalkane) และไซโคลอัลคีน (cycloalkene)

11.4.1 สารอัลเคน (Alkane)

สารอัลเคนเป็น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัว มีลักษณะโครงสร้างอะตอมของคาร์บอนจับเป็นแบบพันธะเดี่ยวหรือพันธะซิกม่า (σ - bond , C - C) และมีสูตรโครงสร้างโมเลกุลทั่วไปคือ C_nH_{2n+2} กำหนดให้ n = 1 , 2 , 3 , ..., n เช่น

ค่า n	สูตรโมเลกุล	ชื่อ
1	CH_4	Methane
2	C_2H_6	Ethane
3	C_3H_8	Propane
4	C_4H_{10}	Butane
5	C_5H_{12}	Pentane
6	C_6H_{14}	Hexane
7	C_7H_{16}	Heptane
8	C_8H_{18}	Octane
9	C_9H_{20}	Nonane
10	$C_{10}H_{22}$	Decane

สารอัลเคนที่เกิดในธรรมชาตินั้นแหล่งที่สำคัญที่สุดคือปิโตรเลียม ซึ่งประกอบด้วยสารอัลเคนหลายชนิดปนกันอยู่ ประโยชน์ทางการแพทย์จะเป็นพวกที่มีขนาดของโมเลกุลตั้งแต่ 26 - 28 เรียกว่า vaseline

หมู่อัลคิล (alkyl group) คือหมู่ของอะตอมไฮโดรเจนที่มีการสูญเสียไป 1 อะตอมของสารประกอบอัลเคน ดังนั้นสูตรของหมู่อัลคิลคือ C_nH_{2n+1} การเรียกชื่อหมู่อัลคิลจะเรียกโดยการตัดคำ - ane ท้ายชื่อของสารอัลเคนแล้วเติม - yl เข้าไปแทน การเรียกชื่อแสดงไว้ดังนี้

ชื่อ	**สูตร**
Methyl	CH_3-
Ethyl	CH_3- CH_2-
Propyl	CH_3 - CH_2 - CH_2-
Butyl	CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2-

11.4.1.1 สมบัติทางกายภาพของสารอัลเคน

สมบัติทางกายภาพของสารอัลเคนขึ้นอยู่กับการจัดเรียงอะตอมและจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล เช่น ที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C , 1 atm จะเห็นว่าสารอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอน 1 - 4 อะตอมมีสถานะเป็นก๊าซ จำนวนคาร์บอน 5 - 19 อะตอมมีสถานะเป็นของเหลวและจำนวนคาร์บอน 20 อะตอมขึ้นไปมีสถานะเป็นของแข็ง

ตารางที่ 11.1 จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของ n -Alkane

สูตร	**ชื่อ**	**จุดหลอมเหลว (^{0}C)**	**จุดเดือด**
CH_4	methane	-183	-162
CH_3CH_3	ethane	-172	-89
$CH_3CH_2CH_3$	propane	-187	-42
$CH_3CH_2CH_2CH_3$	n-butane	-135	-0.3
$CH_3(CH_2)_3CH_3$	n-pentane	-130	36
$CH_3(CH_2)_4CH_3$	n-hexane	-94	69
$CH_3(CH_2)_5CH_3$	n-heptane	-91	98
$CH_3(CH_2)_6CH_3$	n-octane	-57	126

1. จุดเดือด (Boiling point) และจุดหลอมเหลว (Melting point) จะเห็นได้ว่าจำนวนคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นค่าของจุดเดือดของอะตอมจะเพิ่มขึ้น ถ้าเปรียบเทียบค่าจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของสารอัลเคนชนิดแบบเส้น (straight chain) และแบบแขนงข้าง (branch chain) โดยมีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน จะเห็นได้ว่าสารอัลเคนที่มีแขนงข้างจะมีค่าจุดเดือดและจุดหลอมเหลวต่ำกว่าโมเลกุลที่เป็นเส้นตรง

2. ความหนาแน่น (Density) ความหนาแน่นของโมเลกุลเส้นตรงจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของจำนวนคาร์บอน ในพวกโมเลกุลแบบแขนงข้างจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าพวกที่เป็นเส้นตรงถ้าเทียบจำนวน คาร์บอนอะตอมที่เท่ากัน

3. ความหนืด (Viscosity) ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น

4. การละลาย (Solubility) สารอัลเคนเกือบจะไม่ละลายในน้ำเลย เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้อยมาก และละลายในตัวทำละลายที่มีคุณสมบัติที่เหมือนกันสารอัลเคนที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงส่วนใหญ่มาจากการกลั่นปิโตรเลียม ซึ่งสามารถแยกได้เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ตามช่วงของจุดเดือดได้ดังนี้

ตารางที่ 11.2 ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม

อัลเคน	สารที่กลั่นได้	ช่วงของจุดเดือด	ประโยชน์
CH_4 C_2H_6 C_3H_8 C_4H_{10}	natural gas	-160^0- 0^0	ใช้เป็นเชื้อเพลิง
C_5H_{12} C_6H_{14}	petroleum ether	35^0-70^0	ใช้เป็นตัวทำละลาย และไขมัน
C_7H_{16} C_8H_{18}	gassoline (น้ำมันเบนซิน)	70^0-150^0	ใช้ในเครื่องยนต์ และใช้เป็นตัวทำละลาย
C_9H_{20} $C_{14}H_{30}$	kerosene (น้ำมันก๊าด)	150^0 - 250^0	ใช้เป็นเชื้อเพลิง
$C_{15}H_{32}$ $C_{20}H_{42}$	lubricating oil	250^0 ขึ้นไป	ใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่น
สูงกว่า $C_{20}H_{42}$	vaseline, paraffin tar residue	ส่วนที่ติดอยู่กับเครื่องกลั่น	ใช้ทำยา, ทำเทียนไข

11.4.1.2 ปฏิกิริยาของสารอัลเคน

ปฏิกิริยาของสารอัลเคน ส่วนใหญ่จะเป็นปฏิกิริยาที่ต้องใช้ความรุนแรงเนื่องจากพันธะระหว่าง C - C และ C - H เป็นแบบพันธะซิกม่า (σ - bond) ซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้

1. ปฏิกิริยาไพโรไลซีส (Pyrolysis หรือ Cracking) เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ความร้อนโดยปราศจากออกซิเจน จะทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่แตกออกเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก

2. ปฏิกิริยาสันดาป (Combustion) สารประกอบอัลเคนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ที่สำคัญที่สุดคือจะได้พลังงานออกมา

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O \quad \Delta H = -210 \text{ Kcal/mole}$$

($\Delta H = -$ คือปฏิกิริยาคายความร้อน)

สมการทั่วไปคือ $C_nH_{2n+2} + \frac{3n+1}{2} O_2 \longrightarrow n\,CO_2 + (n+1)\,H_2O$

3. ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) เป็นปฏิกิริยาการแทนที่หมู่ไฮโดรเจนในสารประกอบอัลเคนด้วยสารฮาโลเจนได้แก่ Cl_2 และ Br_2 ส่วน I_2 จะไม่ว่องไวในปฏิกิริยา และปฏิกิริยาจะเกิดได้ต้องมีแสงหรือความร้อนเข้าช่วย

$$CH_3 - CH_2 - CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{\text{แสง } 300\,^0C} CH_3 - CH_2 - CH_2 - Cl + CH_3 - \underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}} - CH_2$$

n - Propane

1 - Chloropropane (45 %)

2-Chloropropane (55%)

4. ปฏิกิริยาไอโซเมอร์ไรเซชัน (Isomerization) เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนไอโซเมอร์จากโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงเป็นโมเลกุลแบบแขนงข้าง โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ $300\,^0C$ และมี $AlCl_3$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_3 \xrightarrow[300\,^0C]{AlCl_3} CH_3 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} - CH_3$$

n - Butane

Iso - butane

ปฏิกิริยานี้มีประโยชน์ในการเปลี่ยน n - butane ให้เป็นโมเลกุลแบบแขนงข้างเพื่อให้น้ำมันเชื้อเพลิงมีออกเทนสูงขึ้น

11.4.2 สารอัลคีน (Alkene)

สารอัลคีน เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดที่ไม่อิ่มตัว มีลักษณะโครงสร้างอะตอมของคาร์บอนจับเป็นแบบพันธะคู่ (C = C) มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลทั่วไปคือ C_nH_{2n} กำหนดให้ n = จำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 2 , 3 , 4 , ..., n สารอัลคีนตัวแรกคือ เอทธิลลีน (ethylene) มีสูตรโมเลกุลเป็น C_2H_4 ($CH_2 = CH_2$) ซึ่งเป็นสารที่ใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมเพื่อการสังเคราะห์สารโพลีเมอร์ ในทางการแพทย์เคยใช้เอทธิลลีนเป็นยาสลบ

ถ้า	n = 2	จะมีสูตรโมเลกุลเป็น	C_2H_4	Ethylene
	n = 3	จะมีสูตรโมเลกุลเป็น	C_3H_6	Propene
	n = 4	จะมีสูตรโมเลกุลเป็น	C_4H_8	Butene

สมบัติทางกายภาพของสารอัลคีนคล้ายกับสารอัลเคนคือไม่ละลายน้ำแต่จะละลายในสารละลายที่มีคุณสมบัติที่เหมือนกัน เช่น คลอโรฟอร์มหรือเบนซิน

11.4.2.1 ปฏิกิริยาของสารอัลคีน

1. ปฏิกิริยาแบบเพิ่มเข้า (Addition) สารอัลคีนทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรเจนเฮไรด์ (HCl , HBr และ HI) หรือสารฮาโลเจนได้แก่ Cl_2 , Br_2 และ F_2 ซึ่งจะว่องไวในปฏิกิริยา ส่วน I_2 ไม่ว่องไวในปฏิกิริยา ซึ่งสารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ของอัลคีน

$CH_2 = CH_2 + Br_2 \longrightarrow Br - CH_2 - CH_2 - Br$ 1,2 - Dibromoethane
Ethylene

$CH_2 = CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3 - CH_2 - Cl$ Ethyl chloride

2. ปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ปฏิกิริยาที่สารโมเลกุลขนาดเล็กที่เรียกว่าโมโนเมอร์ (monomer) หลาย ๆ โมเลกุลมารวมกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น พลาสติกและยางสังเคราะห์

$$n\ CH_2 = CH_2 \xrightarrow{R\text{-}O\text{-}O\text{-}R\ /\ heat} -[-\ CH_2 - CH_2\ -]_n-$$

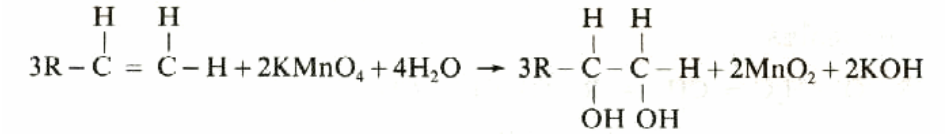
Ethylene — Polyethylene

$$n\ CH_2 = CH - Cl \xrightarrow{R\text{-}O\text{-}O\text{-}R\ /\ heat} -[-\ CH_2 - CH_2 - Cl\ -]_n -$$

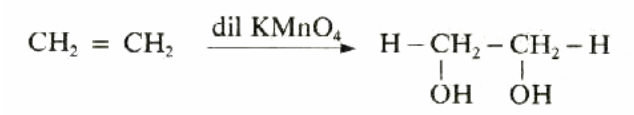
Vinyl chloride — Polyvinyl chloride (PVC)

3. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) สารประกอบอัลคีนสามารถถูกออกซิไดซ์ ด้วยตัวออกซิไดซ์ เช่น สารโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นกับสภาวะของปฏิกิริยาดังนี้

1. ปฏิกิริยากับ $KMnO_4$ ที่เจือจางและในสารละลายที่เป็นกลาง สารอัลคีนจะถูกออกซิไดซ์เป็นสารไกลคอล (glycol)

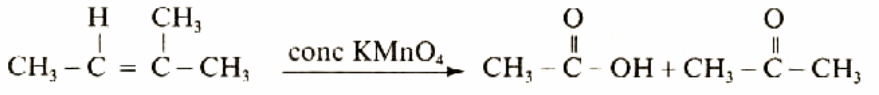


Glycol



Ethylene — Ethylene glycol

2. ปฏิกิริยากับ $KMnO_4$ ที่เข้มข้นและร้อนในสารละลายที่เป็นกลาง สารอัลคีนจะถูกออกซิไดซ์เป็นสารคีโตน (ketone) และกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid)



2 - Methylbutene — Acetic acid — Acetone

11.4.3 สารอัลไคน์ (Alkyne)

สารอัลไคน์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับสารอัลคีน ลักษณะโครงสร้างอะตอมของคาร์บอนจับเป็นแบบพันธะสาม (C ≡ C) มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลทั่วไปคือ C_nH_{2n-2} โดยที่ n = 2 , 3 , 4 , ..., n สารอัลไคน์ตัวแรกได้แก่ อะเซตธีลีน (acetylene) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น C_2H_2 (HC ≡ CH)

ถ้า n = 2	สูตรโมเลกุลเป็น	C_2H_2	Acetylene
n = 3	สูตรโมเลกุลเป็น	C_3H_4	Propyne
n = 4	สูตรโมเลกุลเป็น	C_4H_6	Butyne

สารอัลไคน์เป็นสารประกอบชนิดไม่มีขั้ว จึงมีคุณสมบัติทางกายภาพจะคล้ายกับสารอัลเคนและอัลคีนซึ่งไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้ว โมเลกุลของสารที่จำนวนคาร์บอนน้อยจะอยู่ในสถานะก๊าซ ในจำนวนคาร์บอนที่เท่ากันสารอัลไคน์จะมีจุดเดือดสูงกว่าสารประกอบอัลคีน

11.4.3.1 ปฏิกิริยาของสารอัลไคน์

1. ปฏิกิริยาแสดงความเป็นกรดของ terminal alkyne

R – C ≡ C- **H** ⟵ Acetylenic hydrogen (terminal hydrogen)

acetylenic hydrogen จะแสดงความเป็นกรดมากกว่าสารอัลเคนและอัลคีน ดังนั้นจึงมีประโยชน์ในการบอกความแตกต่างชนิดของสารอัลไคน์ว่าเป็นเทอร์มินอลอัลไคน์ (terminal alkyne) หรือไม่

$$H-C\equiv C-H \xrightarrow[180^\circ]{Na} NaC\equiv CNa$$

Acetylen Sodium acetylide

$$CH_3-\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle H}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-C\equiv C-CH_3 \xrightarrow[180^\circ]{Na} \text{ไม่เกิดปฏิกิริยา}$$

3 - Pentyne

2. ปฏิกิริยากับโลหะหนัก สารอัลไคน์สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะหนักได้

$$\underset{\text{Acetylene}}{H-C\equiv C-H} + CuCl_2 \xrightarrow{NH_3} \underset{\text{Copper acetylide}}{H-C\equiv C-Cu}$$

$$H-C\equiv C-H + AgNO_3 \xrightarrow{NH_3} \underset{\text{Silver acetylide}}{H-C\equiv C-Ag}$$

3. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อสารอัลไคน์ถูกออกซิไดซ์ด้วย $KMnO_4$ ที่สภาวะอุณหภูมิสูง ๆ จะได้สารประกอบคาร์บอกซิลิก

$$R-C\equiv C-R \xrightarrow{KMnO_4 \ / \ heat} \underset{\text{Carboxylic acid}}{R-COOH} + CO_2$$

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาของสารอัลไคน์ และอัลคีนจะแตกต่างกัน เนื่องจากปฏิกิริยาของสารอัลคีนจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบอัลดีไฮด์หรือคีโตนแต่สารอัลไคน์จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบคาร์บอกซิลิก

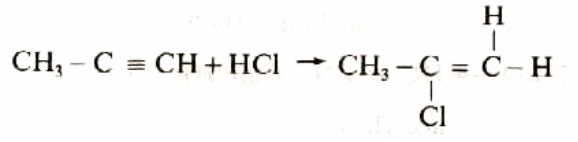
4. ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) สารอัลไคน์ทำปฏิกิริยากับน้ำโดยมีกรด H_2SO_4 กับ $HgSO_4$ เป็นคะตะลิสต์ จะได้สารประกอบอัลดีไฮด์หรือคีโตนขึ้นอยู่กับชนิดของอัลไคน์

$$\underset{\text{Acetylene}}{HC\equiv CH} + H_2O \xrightarrow[H_2SO_4]{HgSO_4} CH_2=\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}-H \longrightarrow \underset{\text{Acetaldehyde}}{CH_3-\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}-H}$$

$$\underset{\text{Propyne}}{CH_3-C\equiv CH} + H_2O \xrightarrow[H_2SO_4]{HgSO_4} CH_2-\overset{\displaystyle O-H}{\overset{|}{C}}=CH_2 \longrightarrow \underset{\text{(ใช้เตรียมอะซีโตนในอุตสาหกรรม)}}{CH_3-\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}-CH_3}$$

5. ปฏิกิริยาแบบเพิ่มเข้า (Addition) สามารถแบ่งตามประเภทของสารต่างๆ ที่เข้าทำปฏิกิริยากับสารอัลไคน์ดังนี้

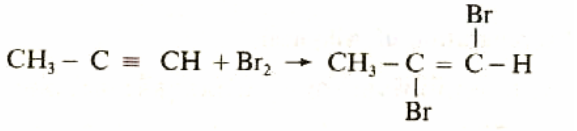
5.1 สารอัลไคน์ทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรเจนเฮไรด์ (HCl, HBr และ HI)



Propyne 2-Chloropropane

5.2 สารอัลไคน์ทำปฏิกิริยากับสารฮาโลเจนได้แก่ Cl_2, Br_2 และ F_2 ซึ่งจะว่องไวในปฏิกิริยา ส่วน I_2 ไม่ว่องไวในปฏิกิริยา ซึ่งสารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะสามของสารอัลไคน์

Acetylene 1,1,2,2 -Tetrachloroethane



Propyne 1,2 - Dibromopropene

11.5 สารประกอบอินทรีย์ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ

สารประกอบอินทรีย์นอกจากประกอบด้วย สารคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบแล้วยังมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอีก สารอินทรีย์ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสามารถจัดแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้

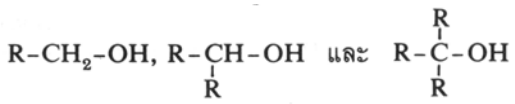
ตารางที่ 11.3 สารอินทรีย์ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ

ชื่อ	สูตร	คำลงท้าย	ตัวอย่าง	ชื่อ
alcohol	R - O - H	- ol	CH_2- OH	methanol
ether	R - O - R′	- oxy	CH_2- O - CH_2 - CH_3	methyloxyethane
aldehyde	R - CHO	- al	CH_2- CH_2- CHO	propanal
ketone	R - CO - R	- one	CH_2- CO - CH_2- CH_3	butanone
acid	R - COOH	- oic acid	CH_2 - CH_2- COOH	propaonic acid
ester	R - COOR′	- yl - oate	CH_2- CH_2- $COOCH_3$	methylpropanoate

R , R′ แทนหมู่ alkyl อาจเหมือนหรือต่างกันจะมีสูตรโครงสร้างโมเลกุลทั่วไปคือ - C_nH_{2n+1}

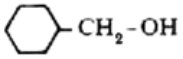
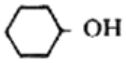
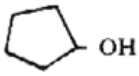
11.5.1 สารประกอบแอลกอฮอล์

สารประกอบแอลกอฮอล์คือ สารมีหมู่ฟังค์ชันของไฮดรอกไซด์ต่อกับหมู่อัลคิล หรือวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring, Ar) ซึ่งมีสูตรทั่วไปคือ ROH สารประกอบแอลกอฮอล์มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีต่างๆ กันซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล การแบ่งประเภทของแอลกอฮอล์จะแบ่งตามหมู่ไฮดรอกไซด์ที่ต่ออยู่กับคาร์บอนอะตอม ซึ่งมีโครงสร้างแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ



Primary alcohol Secondary alcohol Tertiary alcohol

ตารางที่ 11.4 โครงสร้างและชื่อสามัญของสารประกอบแอลกอฮอล์บางชนิด

ชื่อ	ชนิด	ชื่อสารแอลกออล์
CH_3- CH_2- OH	primary	ethyl alcohol
CH_3- CH_2- CH_2 CH_2- OH	primary	butyl alcohol
CH_3- CH - CH_2- OH | CH_3	primary	isobutyl alcohol
CH_3- CH - CH_2- CH_3 | OH	secondary	sec - butyl alcohol
CH_3 | CH_3- C - OH alcohol | CH_3	tertiary	tert - butyl
	primary	cyclohexylmethanol
	secondary	cyclopentanol
	secondary	cyclohexanol

11.5.1.1 สมบัติทางกายภาพของสารประกอบแอลกอฮอล์

1. จำนวนของคาร์บอนมีผลต่อการละลายน้ำคือ แอลกอฮอล์ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 1 - 3 อะตอมสามารถละลายน้ำได้ดี และเมื่อจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นการละลายเริ่มลดลง เนื่องจากคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นมีผลให้หมู่ไฮดรอกไซด์ถูกคาร์บอนบดบังไปทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้ไม่ดี

2. จำนวนคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นจะมีจุดเดือดสูงขึ้นตามลำดับ

3. สารประกอบแอลกอฮอล์สามารถถูกออกซิไดซ์ได้สารประกอบอัลดีไฮด์หรือคีโตนซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบแอลกอฮอล์

4. ถ้าเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของสารประกอบแอลกอฮอล์ พบว่าลักษณะโครงสร้างแบบแขนงข้างมีจุดเดือดต่ำกว่าลักษณะโครงสร้างแบบเส้นตรง

ตารางที่ 11.5 จุดเดือดของสารประกอบแอลกอฮอล์บางชนิด

ชื่อ	สูตร	จุดเดือด
methanol	CH_3 - OH	64.6
ethanol	CH_3- CH_2 - OH	78.4
2 - propanol	CH_3- CH - CH_3 | OH	82.3
1 - propanol	CH_3- CH_2- CH_2 - OH	97.2

11.5.1.2 สารประกอบแอลกอฮอล์ที่สำคัญ

สารประกอบแอลกอฮอล์ที่สำคัญบางชนิดมีดังนี้

1. เมทธานอล (Methanol , CH_3OH) ได้จากการกลั่นไม้ที่อุณหภูมิ 250 ^{0}C ในที่สูญญากาศ สารเมทธานอลเตรียมได้จากปฏิกิริยาการรวมตัวของสารไฮโดรเจนกับสารคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิและความดันสูง สารเมทธานอลเป็นสารพิษเมื่อเข้าไปในร่างกายจะถูกออกซิไดซ์เป็นกรดฟอร์มิก (formic acid) และฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde)

2. เอทธานอล (Ethanol , C_2H_5OH) สามารถเตรียมจากการหมักของน้ำตาลหรือแป้ง ขบวนการหมักนี้จะได้สารเอทธานอลประมาณไม่เกิน 12 - 15 % ถ้าต้องการเตรียมแอลกอฮอล์ให้มีเปอร์เซ็นต์สูงขึ้นจะต้องนำสารละลายที่หมักได้ไปกลั่นอีกครั้ง สารเอทธานอลใช้มากในการผสมเครื่องดื่มและบางครั้งใช้เป็นตัวทำละลายในน้ำหอม อุตสาหกรรมสีและฆ่าเชื้อโรค (ใช้แอลกอฮอล์เข้มข้น 70 %)

3. กลีเซอรอล (Glycerol) จัดเป็นโพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) ซึ่งมีหมู่ - OH อยู่ 3 หมู่ CH_2-CH-CH_2 เป็นองค์ประกอบของไขมันใช้
| | |
OH OH OH

เป็นส่วนประกอบของเครื่องสำอางค์ ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมยาสูบเพราะมีสมบัติในการดูดความชื้นในอากาศซึ่งจะช่วยรักษาใบยาสูบให้ชุ่มชื้นอยู่เสมอ

11.5.2 สารประกอบอีเทอร์

สารประกอบอีเทอร์ได้แก่ สารประกอบที่มีโมเลกุลของออกซิเจนต่ออยู่กับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 2 หมู่ มีสูตรทั่วไป R - O - R′ หรือ R - O - Ar หรือ Ar - O - Ar (R , R′ = สารไฮโดรคาร์บอนและ Ar = สารอะโรมาติก) ซึ่งสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างสาร alkoxide และสารอัลคิลเฮไลด์

$$CH_3 - O - Na\ (s) + CH_3I\ (l) \xrightarrow{\text{แอลกอฮอล์}} CH_3 - O - CH_3\ (g) + NaI(s)$$

Sodium methoxide Methyliodine Dimethylether

$$C_6H_5\ ONa\ (s) + CH_3 - CH_2I\ (l) \xrightarrow{\text{แอลกอฮอล์}} C_6H_5 - O - CH_2 - CH_3\ (g) + NaI\ (s)$$

Sodium phenoxide Ethyliodine Ethoxybenzene

11.5.2.1 สมบัติทางกายภาพของสารประกอบอีเทอร์

1. จุดเดือดจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบเพิ่มขึ้น

Methyloxymethane (CH_3-O-CH_3) MW = 30 จุดเดือด -23 ^{0}C

Methyloxyethane (CH_3-O-CH_2CH_3) MW = 60 จุดเดือด 10.8 ^{0}C

Ethyloxyethane (CH_3CH_2-O-CH_2CH_3) MW = 74 จุดเดือด 34.51 ^{0}C

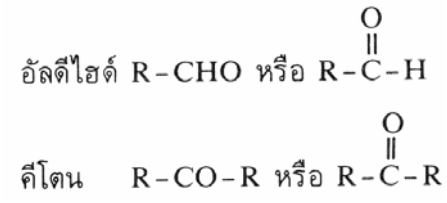
สารประกอบอีเทอร์ เช่น methyloxymethane และ methyloxyethane จะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้อง ส่วน ethyloxyethane จะเป็นของเหลวใสไม่มีสี ในสมัยก่อนเราใช้ methyloxymethane (dimethylether) เป็นสารให้ความเย็นสำหรับตู้เย็น

2. การติดไฟ สารประกอบอีเทอร์ติดไฟได้ดีกว่าสารประกอบแอลกอฮอล์ จะเห็นได้ว่าจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นการระเหยและการติดไฟจะช้าลง

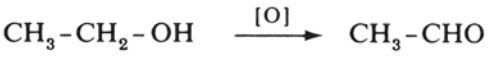
3. สารประกอบอีเทอร์ใช้เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ สารประกอบชนิดไดเอทธิลอีเทอร์สามารถละลายไขมันได้ง่าย จึงมีประโยชน์ในการสกัดไขมันออกจากของผสม

11.5.3 สารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตน

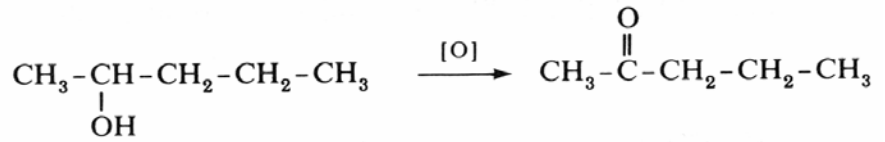
อัลดีไฮด์ (aldehyde) และคีโตน (ketone) คือ สารที่มีหมู่คาร์บอนิล (>C = O) โดยมี R หรือ Ar ต่ออยู่จึงเรียกสารทั้งสองนี้ว่า สารประกอบคาร์บอนิล (carbonyl compound) และสารทั้งสองมีสูตรทั่วไปดังนี้



สารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตนได้มาจากการออกซิไดซ์ของสารประกอบแอลกอฮอล์ชนิด primary alcohol และ secondary alcohol



Ethanol (primary alcohol) — Ethanal (aldehyde)



Pentan - 2 - ol (secondary alcohol) — Pentan - 2 - one (ketone)

11.5.3.1 สมบัติทางกายภาพของสารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตน

1. สารประกอบอัลดีไฮด์ที่อยู่ในรูปของสารประกอบฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) และอะเซตอลดีไฮด์ (acetaldehyde) นั้นจะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 3 อะตอมขึ้นไปจะเป็นของเหลว ส่วนจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอมขึ้นไปจะเป็นของแข็ง ถ้าเปรียบเทียบจุดเดือดของสารประกอบอัลดีไฮด์และสารประกอบ

2. สารประกอบอัลดีไฮด์ประเภทอะลิฟาติกที่มีโมเลกุลเล็กๆ จะมีกลิ่นฉุน แต่พวกที่มีโมเลกุลของจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 8 - 12 จะมีกลิ่นหอมคล้ายดอกไม้ จึงนิยมนำไปทำน้ำหอม

3. สารประกอบอัลดีไฮด์ที่โมเลกุลขนาดเล็ก เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์ และอะเซตอลดีไฮด์ จะละลายน้ำได้ดี แต่ถ้าขนาดของโมเลกุลเพิ่มขึ้นการละลายน้ำจะยาก

4. สารประกอบคีโตนทุกตัวเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง

5. สารประกอบคีโตนส่วนมากใช้เป็นตัวทำละลายสารอินทรีย์ได้ทุกชนิด และรวมกับน้ำได้ในทุกอัตราส่วน ดังนั้นจึงทำให้สารอะซีโตนเป็นตัวทำละลายที่มีประโยชน์มากในอุตสาหกรรม

11.5.3.2 สารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตนบางชนิด

สารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตนที่สำคัญบางตัวได้แก่

1. ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) เป็นสารโมเลกุลที่มีขนาดเล็กที่สุด ไม่มีสีและมีกลิ่นฉุน เมื่ออยู่ในสถานะก๊าซจึงทำการเคลื่อนย้ายลำบาก ดังนั้นมักเตรียมอยู่ในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้น 37 - 40 % ซึ่งเรียกว่าสารฟอร์มาลิน (formalin) และถูกนำไปใช้ในการป้องกันการเน่าเปื่อยของซากสัตว์

2. อะเซตอลดีไฮด์ (Acetaldehyde) เป็นสารไม่มีสี ระเหยได้ง่าย ถ้าให้ความร้อนโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะเกิดโพลีเมอร์ไรซ์กลายเป็นสารพาราอัลดีไฮด์ (paraldehyde) ซึ่งใช้เป็นยานอนหลับ

11.5.4 สารประกอบกรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์หรือกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) มีสูตรทั่วไปคือ R – COOH โดยที่ R คือสารอะลิฟาติกหรืออะโรมาติก ซึ่งมีสูตรโครงสร้างโมเลกุลทั่วไปคือ $C_nH_{2n}O_2$ โดย n = 1 , 2 , 3 , ... , n

ถ้ามีหมู่ COOH 1 หมู่เกาะติดกับ R group เรียกว่า Monocarboxylic acid (Mono acid)
ถ้ามีหมู่ COOH 2 หมู่เกาะติดกับ R group เรียกว่า Dicarboxylic acid (Di acid)
ถ้ามีหมู่ COOH 3 หมู่เกาะติดกับ R group เรียกว่า Tricarboxylic acid (Tri acid)

11.5.4.1 สมบัติทางกายภาพของสารประกอบกรดอินทรีย์

สารประกอบกรดอินทรีย์มีคุณสมบัติทางกายภาพดังนี้

1. เป็นของเหลวและมีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว ถ้าจำนวนคาร์บอนมีมากกว่า 10 ตัวจะเป็นของแข็ง มีลักษณะเหมือนขี้ผึ้งและระเหยยาก

2. จุดเดือดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 20 ^{0}C เมื่อจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น 1 อะตอม เพราะมีหมู่ > C = O และ -OH อยู่ในโมเลกุล จึงทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลด้วยพันธะโปรตอน (protron binding)

3. จำนวนคาร์บอนยิ่งเพิ่มขึ้นการละลายในน้ำจะยากขึ้น แต่สามารถละลายได้ดีในสารประกอบแอลกอฮอล์

11.5.4.2 กรดอินทรีย์ที่สำคัญ

กรดอินทรีย์ที่สำคัญบางชนิดดังตารางข้างล่าง

สูตร	ชื่อสามัญ (กรด)	IUPAC	ที่เกิดและประโยชน์
HCOOH	ฟอร์มิก	เมธาโนอิก (methanoic)	เมื่อมดแดงกัดศัตรูจะปล่อยสารนี้ออกมา ใช้ในกระบวนการเตรียมเส้นใย
CH_3CH_3COOH	โพรพิออนิก	โพรพาโนอิก (propanoic)	$(CH_3CH_3COO)Ca$ ใช้ในอุตสาหกรรมทำขนมปัง
C_6H_5COOH	--	เบนโซอิก (benzoic)	ยากันบูด
COOH | COOH	ออกซาลิก	อีเธนไดโออิก	ในใบผักชนิดหนึ่ง

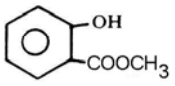
11.5.5 สารประกอบเอสเทอร์

เอสเทอร์ (ester) เป็นสารประกอบอนุพันธ์ของสารประกอบคาร์บอกซิลิก สมบัติของสารประกอบเอสเทอร์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจะมีกลิ่นหอม ใช้มากในอุตสาหกรรมเครื่องหอมและและเครื่องสำอาง ไอของสารประกอบเอสเทอร์ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ยกเว้นจะสูดดมเข้าไปเป็นจำนวนมาก สารประกอบเอสเทอร์เป็นของเหลวที่ไม่มีสีและละลายน้ำได้น้อยจึงมีคุณสมบัติเป็นกลาง นอกจากนี้ยังมีค่าจุดเดือดและจุดหลอมเหลวต่ำกว่าแอลกอฮอล์เมื่อเปรียบเทียบขนาดของโมเลกุลเท่ากัน เพราะสารเอสเทอร์จะไม่เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ สารประกอบเอสเทอร์ที่สำคัญได้แก่

1. Methyl salicylate เป็นน้ำมันที่พบในพืช มีมากในระกำ ทางการค้าใช้ผสมน้ำหอมใส่ในลูกกวาดและใช้เป็นยาทาแก้เคล็ดขัดยอก

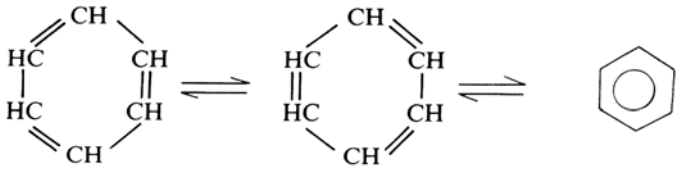
2. Acetyl salicylate เป็นของแข็งสีขาว ใช้ระงับอาการปวดและแก้ไข้ลดความร้อน ซึ่งเป็นยาที่เรียกว่าแอสไพริน แต่ถ้ารับประทานมากจะเป็นพิษต่อร่างกาย

ตารางที่ 11.6 ตัวอย่างของสารประกอบเอสเทอร์บางชนิด

ชื่อ	ชนิด	ชื่อสารเอสเทอร์
n - butyl acetate	$CH_3 (CH_2)_2 CH_2$- O - $COCH_3$	กล้วยหอม
octyl acetate	CH_2- (CH_2)$_7$- O - $COCH_3$	ส้ม
methyl butylate	CH_2 - O - CO - CH_2- CH_2- CH_3	สับปะรด
ethyl acetate	CH_2- CH_2- O - $COCH_3$	ดอกนมแมว
methyl butylate		น้ำมันระกำ

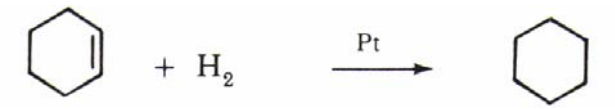
11.6 สารประกอบอะโรมาติก

สารประกอบอะโรมาติก หมายถึงสารประกอบของหมู่คาร์บอนและหมู่ไฮโดรเจนอะตอมเกาะกันเป็นวงแหวนด้วยพันธะเดี่ยวและสลับกับพันธะคู่ สารประกอบอะ-โรแมติกจะพบมากในน้ำมันดิบและที่พบมากในธรรมชาติ ได้แก่ เบนซิน(benzene) แนพทาลีน



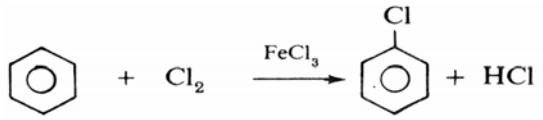
(นิยมเขียนเช่นนี้)

การเกิดเรโซแนนซ์นี้จะมีพลังงานเกิดขึ้นในโครงสร้างซึ่งเรียกว่าพลังงานเรโซแนนซ์ (resonance energy) ซึ่งหาค่าได้จากการนำเอาสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวมาทำปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (hydrogenation) ภายใต้สภาวะมาตรฐาน จะเกิดความร้อนของปฏิกิริยาเท่ากับ 28.6 Kcal / mole



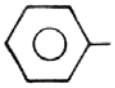
Cyclohexene Cyclohexane

แต่เบนซินมีพันธะคู่อยู่ 3 แห่ง ดังนั้นถ้าเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันภายใต้สภาวะมาตรฐานน่าจะเกิดความร้อนของปฏิกิริยาคือ 3x28.6 เท่ากับ 85.8 Kcal/mole แต่การทดลองจริงพบว่าได้ความร้อนของปฏิกิริยาเกิดขึ้นเพียง 49.8 Kcal/mole ดังนั้นพลังงานเรโซแนนซ์ของสารประกอบเบนซินที่ควรได้จึงเท่ากับ 85.8-49.8 เท่ากับ 36 Kcal/mole นอกจากนี้ปฏิกิริยาของสารประกอบเบนซินสามารถทำปฏิกิริยากับสารฮาโลเจน (Cl_2 , Br_2 และ I_2) ได้ตามสมการ



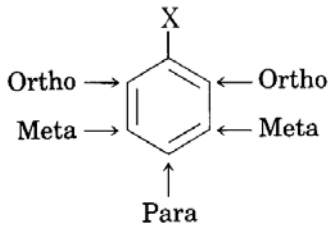
Benzene Chlorobenzene

ถ้าไฮโดรเจนในสารประกอบเบนซินถูกขจัดออกไปเหลือ C_6H_5- จะเรียกว่าหมู่ฟีนิล (phenyl group)



Phenyl group

อนุพันธ์ของเบนซินที่มีธาตุอื่นเข้าแทนที่ไฮโดรเจนในวงแหวนเบนซินขึ้นอยู่กับหมู่ฟังค์ชันที่เกาะอยู่กับวงแหวนเบนซินนั้น ดังนั้นจึงต้องกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ บนวงแหวนเบนซินที่จะให้ธาตุอื่น ๆ เข้าแทนที่คือ

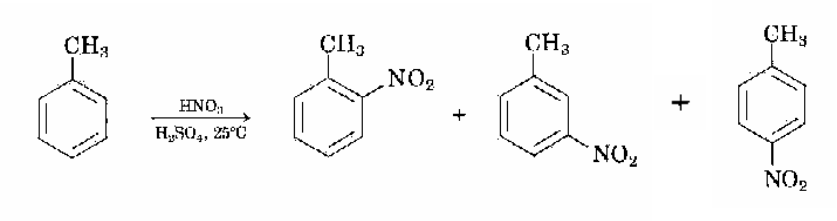


X = Functional group

หมู่ฟังค์ชันที่ควบคุมธาตุอื่น ๆ ที่เข้าแทนที่ไฮโดรเจนในตำแหน่งต่าง ๆ ของสารประกอบเบนซินซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 พวกคือ

หมู่ฟังค์ชันที่กำหนดตำแหน่ง ortho / para		**หมู่ฟังค์ชันที่กำหนดตำแหน่ง meta**	
(Activate ring)		**(Deactivate ring)**	
Halogen	- Br_2 - Cl_2 - I_2	Nitro	- NO_2
Alkyl	- R	Acid	- COOH
Hydroxyl	- OH	Ester	- COOR
Alkoxy	- OR	Amine	- $CONH_2$
Amino	- NH_2	Aldehyde	- COH
N - Substituted amide	- NH – CO - R	Ketone	- COR
		Nitrile	- C ≡ N
		Sulfonate	- SO_3H

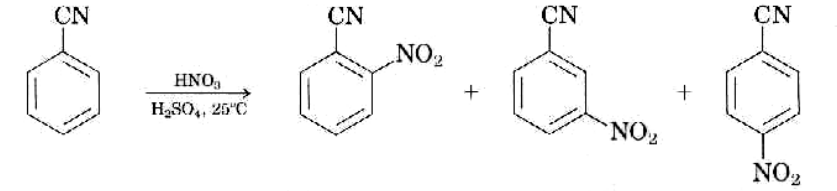
1. พวก activate ring ธาตุที่เข้าแทนที่ไฮโดรเจนในวงแหวนเบนซินจะเข้าที่ตำแหน่ง ortho และ para



Toluene o - Nitrotoluene m - Nitrotoluene p - Nitrotoluene

(63 %) (3 %) (34 %)

2. พวก deactivate ring ธาตุที่เข้าแทนที่ไฮโดรเจนในวงแหวนเบนซินจะเข้าที่ตำแหน่ง meta



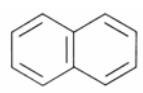
Benzonitrile o - Nitrobenzo nitrile m - Nitrobenzo nitrile p - Nitrobenzo nitrile

(17 %) (81 %) (2 %)

11.6.1 สารประกอบอะโรมาติกชนิดอื่น ๆ ที่มีโครงสร้างคล้ายสารประกอบเบนซิน

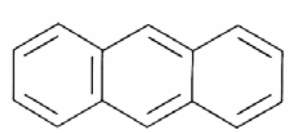
สารประกอบอะโรมาติกชนิดอื่นๆ ที่มีโครงสร้างคล้ายสารประกอบเบนซินมีดังนี้

1. แนพทาลีน (Napthalene) เป็นของแข็งผลึกสีขาว ใช้ป้องกันแมลงสาป มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{10}H_8$ สารอนุพันธ์ของแนพทาลีนที่สำคัญมี 2 ตัวคือ α - napthalene และ β - napthalene



Naphthalene

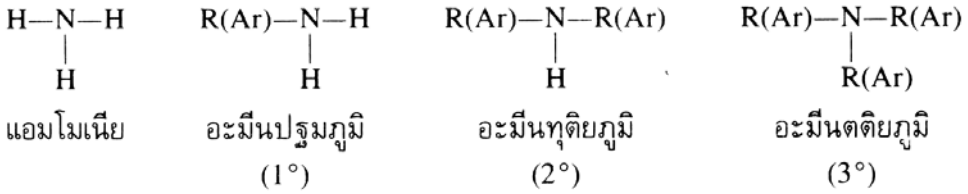
2. แอนทราซีน (Anthracene) พบในถ่านหิน มีจุดเดือดระหว่าง 300-350 ^{0}C มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{14}H_{10}$ มีสมบัติเป็นสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวและสารประกอบอะโรมาติก



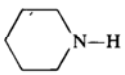
Anthracene

11.7 สารประกอบอะมีนและอะมีด

อะมีน (amine) คือสารประกอบที่มีหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ติดกับหมู่อัลคิล (-R) หรือวงแหวนอะโรมาติก (Ar) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ



ตัวอย่างสารประกอบอะมีนบางชนิดดังตารางข้างล่าง

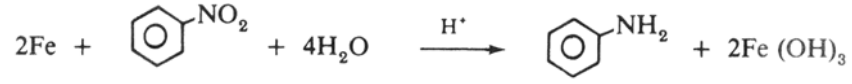
โครงสร้าง	ชื่อ	น้ำหนักโมเลกุล	จุดเดือด
CH_3- NH_2	methylamine	31	- 7.5
CH_3CH_2- NH_2	ethylamine	45	17
CH_3 - NH - CH_3	diethylamine	45	7.5
$CH_3CH_2CH_2$- NH_2	propylamine	59	49
(CH_3)$_3$ N	trimethylamine	59	3
	piperidine	85	106

ถ้าเปรียบเทียบสารอะมีนชนิดอะลิฟาติกกับสารอะมีนชนิดอะโรมาติก พบว่าสารอะมีนชนิดอะลิฟาติกจะมีความเป็นเบสและละลายน้ำได้มากกว่าสารอะมีนชนิดอะโรมาติก

เอไมด์ (amide) อาจถือได้ว่าเป็นอนุพันธ์ของกรดอินทรีย์ โดยหมู่ -OH ในกรดอินทรีย์ถูกแทนที่ด้วยหมู่อะมิโน ($-NH_2$) เช่น acetamide และ benzamide สารประกอบเอไมด์มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง และยังสามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์และอีเทอร์ แต่ก็มีสารเอไมด์บางชนิดที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น formamide , acetamide , proionamide และ butyramide แต่มีสาร formamide เพียงตัวเดียวเท่านั้นที่มีสถานะเป็นของเหลว ส่วน เอไมด์ชนิดอื่น ๆ จะมีสถานะเป็นของแข็ง ตัวอย่างของสารประกอบเอไมด์บางชนิด

โครงสร้าง	ชื่อ	จุดหลอมเหลว (^0C)	จุดเดือด (^0C)
$HCONH_2$	formamide	2	193
$CH_3CO - NH_2$	acetamide	82	222
$CH_3CH_2CO - NH_2$	propionamide	81	213
$CH_3CH_2CH_2CO - NH_2$	butyramide	115	216
$C_6H_5CO - NH_2$	benzamide	132	290

สารประกอบเอไมด์ที่มีประโยชน์มากที่สุดคือ aniline ซึ่งในอุตสาหกรรมเตรียมได้จากสาร nitrobenzene ทำปฏิกิริยากับเหล็กในกรดไฮโดรคลอริก (HCl)



ประโยชน์ของสารประกอบเอไมด์ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับสังเคราะห์สารอื่นๆ เช่น ทำสีย้อมผ้า ทำยาโรยแผลที่รู้จักคือ sulfaanilamide และสารอินดิเคเตอร์ สารประกอบเอไมด์เองจะมีพิษต่อระบบประสาท ระบบเลือดและกล้ามเนื้อหัวใจ