การศึกษาเคมีอินทรีย์เบื้องต้น

(Introduction to Organic Chemistry)

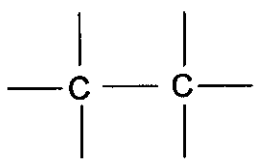
2

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์
2. สามารถจำแนกชนิดของสารประกอบอินทรีย์และสารอนุพันธ์
3. เพื่อศึกษาปฏิกิริยาเฉพาะของสารประกอบอินทรีย์บางชนิด

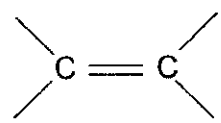
ทฤษฎี

สารประกอบอินทรีย์ ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน (C) ซึ่งเกิดพันธะกับอะตอมของคาร์บอนเองและกับอะตอมอื่นได้ เช่น ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) เป็นต้น คาร์บอนอะตอมเป็นเททระเวเลนท์ (tetravalent) จะเกิดพันธะโควาเลนท์ได้ 4 พันธะรอบคาร์บอนอะตอม พันธะที่เกิดจะมี 3 แบบ คือ พันธะเดี่ยว (single bond) พันธะคู่ (double bond) และพันธะสาม (triple bond)



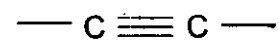
Single bond

พันธะเดี่ยว



Double bond

พันธะคู่



Triple bond

พันธะสาม

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีองค์ประกอบเฉพาะคาร์บอนอะตอมและไฮโดรเจนอะตอมเท่านั้น ซึ่งจำแนกได้หลายประเภทตามวิธีการจำแนก

วิธีที่ 1 จำแนกตามวิธีการต่อของคาร์บอนอะตอม ได้แก่

1. **อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbon)** เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยคาร์บอนที่ต่อกันเป็น*สายโซ่ตรง (straight chain)* หรือ *ต่อแบบโซ่กิ่ง (branched chain)*

n-butane 2-butene isobutane 2,3 dimethylbutane

straight chain **branched chain**

2. **ไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (cyclic hydrocarbon)** เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมที่ต่อกันเป็นวงปิด ซึ่งมีทั้งวงปิดที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยว พันธะคู่และพันธะสาม และวงปิดที่มีพันธะเดี่ยวสลับกับพันธะคู่ เรียกว่า *สารประกอบอะโรมาติก (aromatic hydrocarbon)*

cyclohexane cyclopentane Benzene

cyclic **aromatic**

วิธีที่ 2 จำแนกตามชนิดของพันธะระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนอะตอม ได้แก่

1. **อัลเคน (alkane) หรือ พาราฟิน (paraffins)** เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมเป็นพันธะเดี่ยว อัลเคนจัดเป็น*โมเลกุลอิ่มตัว (saturated molecule)* มีสูตรทั่วไปเป็น $\mathbf{C_nH_{2n+2}}$ เช่น มีเทน (CH_4, methane) อีเทน (C_2H_6, ethane) โพรเพน (C_3H_8, propane) บิวเทน (C_4H_{10}, buthane)

2. **อัลคีน (alkene) หรือ โอลิฟิน (olefins)** เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมเป็นพันธะคู่ มีสูตรทั่วไปเป็น $\mathbf{C_nH_{2n}}$ เช่น เอทิลีน (C_2H_4, ethylene) บิวทีน (C_4H_8, butene)

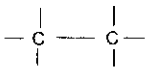
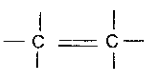
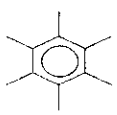
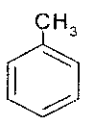
3. **อัลไคน์ (alkyne)** เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมเป็นพันธะสาม มีสูตรทั่วไปเป็น $\mathbf{C_nH_{2n-2}}$ เช่น เอไทน์ (C_2H_2, ethyne) โพรไพน์ (C_3H_4, propyne)

ทั้งอัลคีนและอัลไคน์ จัดเป็น*โมเลกุลชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated molecule)*

ตารางที่ 2.1 ประเภทของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

ประเภท	ชนิดของพันธะ		ตัวอย่าง	
1. อะลิฟาติก				
1. อัลเคน[a]	$-\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}-\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}-$	พันธะเดี่ยว	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$	n-hexane
2. อัลคีน[b]	$-\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}=\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}-$	พันธะคู่	$CH_3CH_2CH_2CH{=}CH_2$	1-hexene
3. อัลไคน์[b]	$-C\equiv C-$	พันธะสาม	$CH_3CH_2CH_2C{\equiv}CH$	1-hexyne

2. ไซคลิก

1. ไซโคลอัลเคน[a]	 พันธะเดี่ยว		cyclohexane
2. ไซโคลอัลคีน[b]	 พันธะคู่		cyclohexene
3. อะโรมาติก			benzene
			toluene

[a]Saturated [b]Unsaturated

สารที่มีโครงสร้างแตกต่างกันจะทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพแตกต่างกันด้วย สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอันดับแรกคือเป็น*สารประกอบที่ไม่มีขั้ว (non-polar)* ดังนั้นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะไม่ทำปฏิกิริยากับตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ แต่จะรวมตัวกับตัวทำละลายจำพวกที่ไม่มีขั้วได้ดี เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbontetrachloride, CCl_4) ไดคลอโรมีเทน (dichloro-methane, CH_2Cl_2) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะพบอยู่ในธรรมชาติ เช่น ในน้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันดิบ

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะขึ้นอยู่กับชนิดของพันธะที่อยู่ในสารประกอบนั้นๆ เช่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารประกอบอิ่มตัวอัลเคนจะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ (combustion) กับ O_2 ได้ แต่จะไม่เกิดปฏิกิริยากับ รีเอเจนท์ ในขณะที่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารประกอบไม่อิ่มตัว (อัลคีนและอัลไคน์) ไม่ติดไฟ แต่จะเกิดปฏิกิริยาเพิ่มเข้า (addition) กับรีเอเจนต์ได้ที่พันธะคู่หรือพันธะสามของคาร์บอน เกิดเป็นสารประกอบชนิดอิ่มตัว

สำหรับสารประกอบอะโรมาติก ที่รู้จักกันดีก็คือ**เบนซีน (benzene, C_6H_6)**

ปฏิกิริยาที่สำคัญที่เกิดขึ้นกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

อัลเคน (alkane)

1. ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (combustion reaction)

สารประกอบอัลเคนสามารถเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ได้ เช่น ปฏิกิริยาเผาไหม้ของบิวเทนและมีเทน จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำเป็นสารผลิตภัณฑ์

$$2C_4H_{10}(g) + 13O_2(g) \longrightarrow 8CO_2(g) + 10H_2O(g)$$

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

2. ปฏิกิริยาแทนที่ (substitution reaction)

จะเกิดในสภาวะที่มีแสงหรืออุณหภูมิสูงกับฮาโลเจน เกิดเป็นอัลคิลเฮไลด์ (alkyl halide) ซึ่งเกิดจากการแทนที่ของฮาโลเจนกับไฮโดรเจนอะตอมในอัลเคน เช่น มีเทนสามารถเกิดปฏิกิริยากับคลอรีนในที่สว่างได้

$$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} \underset{\text{chloromethane}}{CH_3Cl} + HCl$$

แสงอุลตราไวโอเลต (hν) จะทำให้พันธะระหว่าง Cl กับ Cl แตกออกเป็นฟรีเรดิคัล $Cl_2 \xrightarrow{h\nu} Cl^{\bullet} + Cl^{\bullet}$ จากนั้นจึงทำปฏิกิริยาที่พันธะคาร์บอน-ไฮโดรเจน

อัลคีน (alkene) และอัลไคน์ (alkyne)

1. ปฏิกิริยาเพิ่มเข้า (addition reaction)

เนื่องจากเป็นสารประกอบชนิดไม่อิ่มตัว มีพันธะพาย (π-bonds) ซึ่งสามารถแตกได้ง่าย สำหรับพันธะซิกมา (σ-bonds) ที่เกิดขึ้นใหม่จะเกิดพันธะกับอะตอมใหม่ที่เข้ามา เช่น *ปฏิกิริยาเพิ่มเข้าของไฮโดรเจน (hydrogenation reaction)*

$$CH_2{=}CHCH_3 + H_2 \xrightarrow{\text{catalyst}} CH_3CH_2CH_3$$

1-propene propane

ปฏิกิริยาจะเกิดเร็วมากขึ้นในอุณหภูมิปกติ ที่มีคะตะลิสต์เป็นพลาตินัม (platinum, Pt) หรือ นิเกิล (nickel, Ni)

นอกจากนี้ยังเกิด*ปฏิกิริยาเพิ่มเข้าของฮาโลเจน (halogenation reaction)* อีกด้วย

$$CH_3CH{=}CHCH_3 + Br_2 \longrightarrow CH_3\overset{Br}{\overset{|}{C}}H\text{-}\overset{Br}{\overset{|}{C}}HCH_3$$

สีน้ำตาลแดง ไม่มีสี

จะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วในตัวทำละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ปฏิกิริยาที่สำคัญอีกปฏิกิริยาคือ*ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization)* เป็นการต่อกันให้เป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้นจากโมเลกุลเล็กๆ

2. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

อัลคีนและอัลไคน์สามารถถูกออกซิไดส์ได้ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$)

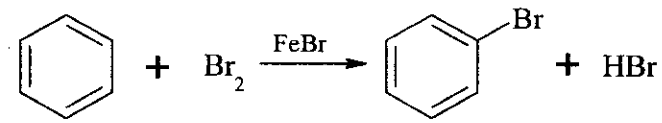
$$3CH_3CH{=}CHCH_3 + 2KMnO_4 + 4H_2O \longrightarrow 3\,CH_3\overset{OH}{\overset{|}{C}}H\text{-}\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3 + 2MnO_2 + 2KOH$$

สีม่วง สีน้ำตาล

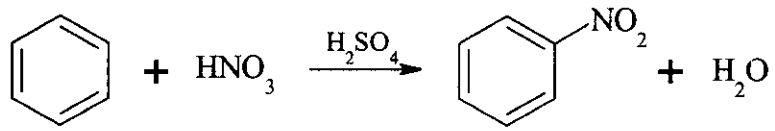
จากปฏิกิริยาข้างต้นพบว่าสีม่วงของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลของแมงกานีสไดออกไซด์

อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon)

1. ปฏิกิริยาแทนที่ไฮโดรเจนอะตอม โดยอะตอมอื่น เช่น



bromobenzene



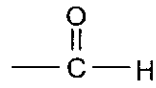
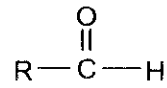
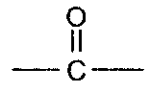
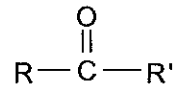
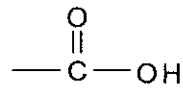
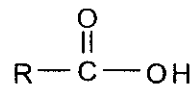
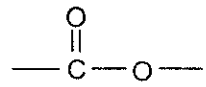
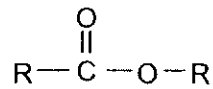
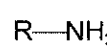
nitrobenzene

สารอนุพันธ์ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon derivatives)

สารอนุพันธ์ไฮโดรคาร์บอนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีการเพิ่มธาตุอื่น เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน ฮาโลเจน ลงไปด้วย ส่วนที่เพิ่มเข้าไปนี้เรียกว่า *หมู่ฟังก์ชันนัล (functional group)* ซึ่งจะทำให้สารประกอบเหล่านี้มีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพแตกต่างกันไป ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 หมู่ฟังก์ชันนัลของสารอนุพันธ์ไฮโดรคาร์บอน

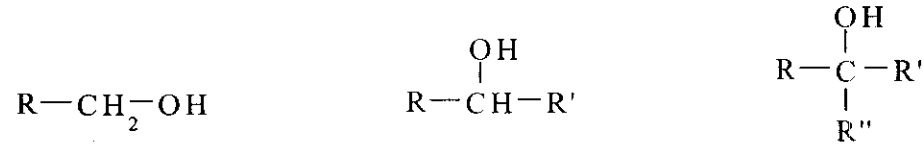
ประเภท	หมู่ฟังก์ชันนัล	สูตรทั่วไป	ตัวอย่าง
Halohydrocarbons	—X(F, Cl, Br, I)	R—X	CH_3I Iodomethane (methyl iodide)
Alcohols	—OH	R—OH	CH_3OH Methanol (methyl alcohol)

ประเภท	หมู่ฟังก์ชันนัล	สูตรทั่วไป	ตัวอย่าง
Aldehydes			CH_2O Methanal (formaldehyde)
Ketones			CH_3COCH_3 Popanone (dimethyl ketone or acetone)
Carboxylic acids			CH_3COOH Ethanoic acid (acetic acid)
Esters			$CH_3COOCH_2CH_3$ Ethyl acetate
Amines			CH_3NH_2 Aminomethane (methylamine)

R and R' represent hydrocarbon fragments

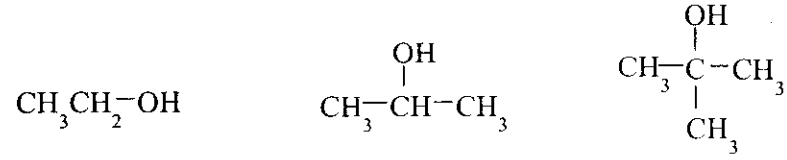
แอลกอฮอล์ (alcohols)

เป็นสารอนุพันธ์ไฮโดรคาร์บอนที่สำคัญใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมต่างๆ แอลกอฮอล์จะมี*หมู่ไฮดรอกซิล* (hydroxyl group, -OH) เป็นหมู่ฟังก์ชันนัล โดยตำแหน่งของ -OH ที่เกาะกับคาร์บอนอะตอมในหมู่อัลคิล (ไฮโดรคาร์บอนที่มีไฮโดรเจนหายไป 1 อะตอม, alkyl group) จะแบ่งออกได้ 3 ประเภท ตามจำนวนของหมู่อัลคิลที่เกาะอยู่กับคาร์บอนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่



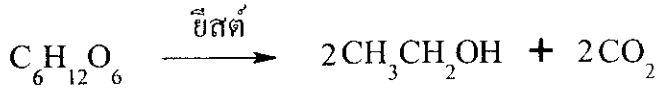
Primary alcohol	Secondary alcohol	Tertiary alcohol
แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ	แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ	แอลกอฮอล์ตติยภูมิ

โดยที่ R, R', R" เป็นหมู่อัลคิลที่อาจเหมือนหรือแตกต่างกันก็ได้ เช่น



Ethyl alcohol	Isopropyl alcohol	t-Butyl alcohol
a primary alcohol	a secondary alcohol	a tertiary alcohol

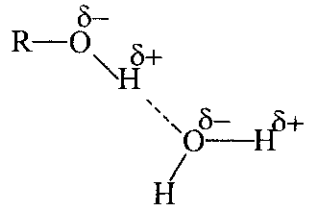
แอลกอฮอล์ที่รู้จักกันดีคือเมทานอล (methanol, CH_3OH) และเอทานอล (ethanol, CH_3CH_2OH) เมทานอลจะเป็นสารที่มีพิษ (high toxic) ต่อมนุษย์ทำให้ตาบอดและตายได้ ส่วนเอทานอล (ethanol) พบในการหมักของพืช เช่น เบียร์ ไวน์ และวิสกี้ ซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากกลูโคสใน ข้าวโพด ข้าวบาเลย์ และองุ่น



ethanol

แอลกอฮอล์อีกตัวที่น่าสนใจคือฟีนอล (phenol,) มีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่กับวงเบนซีน (benzene ring) เป็นอนุพันธ์ที่พบในยา

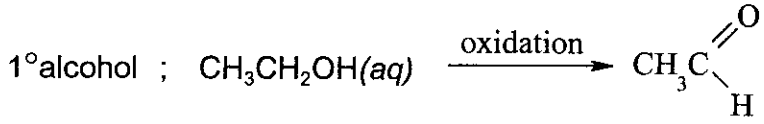
แอลกอฮอล์มีหมู่ฟังก์ชันนัล (-OH) คล้ายกับน้ำ (H_2O) เป็นสารประกอบมีขั้ว (polar) จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) กับน้ำได้ ดังรูป



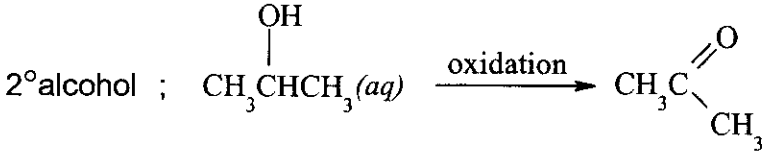
แอลกอฮอล์เป็น Brønsted acids ในน้ำ

$$CH_3CH_2OH(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + CH_3CH_2O^-(aq)$$

สำหรับ 1° alcohol และ 2° alcohol จะถูกออกซิไดส์เป็นอัลดีไฮด์ (aldehyde) และคีโตน (ketone) ได้ ตามลำดับ



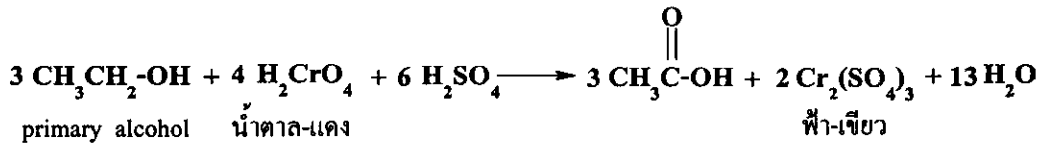
aldehyde

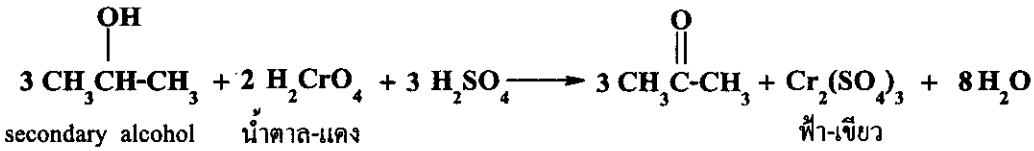


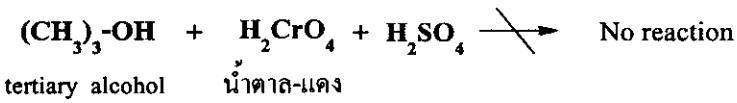
ketone

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลกอฮอล์เกิดขึ้นโดยไฮโดรเจนอะตอมที่ถูกเพิ่มเข้าที่คาร์บอนอะตอมที่มี -OH เกาะอยู่ ใน 1° alcohol และ 2° alcohol โดยมีตัวออกซิไดส์ได้หลายตัว เช่น โครเมียมแอนไฮดรายด์ในกรดซัลฟุริกเข้มข้น (CrO_3/H_2SO_4) และ โพแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตในกรด ($KMnO_4/H^+$) ส่วน 3° alcohol จะไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากไม่มีไฮโดรเจนอะตอมเกาะอยู่กับคาร์บอนอะตอมที่มี -OH เกาะอยู่

ตัวอย่างเช่นปฏิกิริยาของกรดโครมิก สามารถออกซิไดส์ 1° alcohol และ 2° alcohol ได้ ดังนั้นจึงใช้กรดโครมิกในการทดสอบหาความแตกต่างของ 1° alcohol และ 2° alcohol ออกจาก 3° alcohol ได้ ในปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้น จะเปลี่ยนสีของกรดโครมิกจากสีน้ำตาลแดงเป็นสารละลายฟ้า-เขียว ดังสมการ

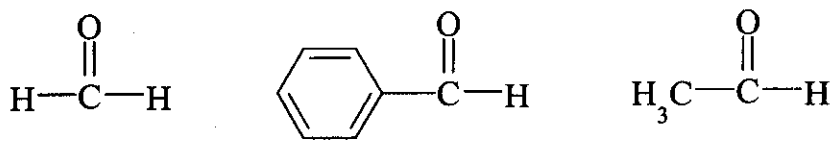






อัลดีไฮด์ (aldehyde) และ คีโตน (ketone)

จัดเป็นสารประกอบคาร์บอนิล (carbonyl compound) โดยมีหมู่คาร์บอนิล (carbonyl, $-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-$) เป็นหมู่ฟังก์ชันนัลในโมเลกุล ถ้ามีไฮโดรเจนอะตอมเกาะอยู่กับหมู่คาร์บอนิลสารประกอบประเภทนั้นจะเป็น**อัลดีไฮด์ (aldehyde)** โครงสร้างทั่วไปจึงเป็น $R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$ โดย R เป็นหมู่อัลคิลหรืออะโรมาติก และ มี $-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$ อยู่ที่ปลายโซ่อะตอมของคาร์บอน เช่น



formaldehyde benzaldehyde acetaldehyde

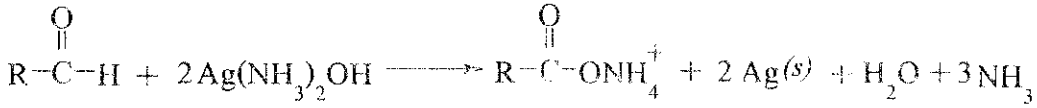
สำหรับสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิลที่ไม่อยู่ตรงปลายโซ่ มีคาร์บอนอะตอมเกาะอยู่ทั้งสองข้างของคาร์บอนในหมู่คาร์บอนิล จะเป็นสารประกอบ**คีโตน (ketone,** $R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-R'$**)** เช่น อะซิโตน (acetone, $CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3$)

ทั้งอัลดีไฮด์และคีโตน มีโครงสร้างคล้ายกันและสามารถถูกรีดิวซ์ได้ด้วย H_2 โดยมีพลาตินัม (Pt) เป็นคะตะลิสต์ ได้ 1° alcohol และ 2° alcohol ตามลำดับ แต่ในปฏิกิริยาออกซิเดชัน อัลดีไฮด์จะว่องไวต่อปฏิกิริยามากกว่าคีโตน เพราะมีพันธะระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจน (C-H) ที่ต่ออยู่กับคาร์บอนในหมู่คาร์บอนิล ทำให้ถูกออกซิไดส์เป็นกรดคาร์บอกซิลลิกได้ง่ายกว่า แต่คีโตนจะไม่เกิดปฏิกิริยานี้

aldehyde carboxilic acid

ตัวออกซิไดส์มีหลายตัวได้แก่

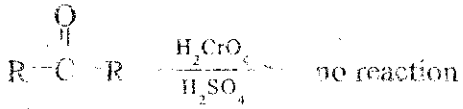
1. *ทอลเลนส์รีเอเจนต์ (Tollens' reagent)* เป็นรีเอเจนต์ที่ได้จากปฏิกิริยาของแอมโมเนียกับซิลเวอร์ไนเตรต อัลดีไฮด์ทุกตัวจะให้โลหะเงิน ซึ่งสามารถจับเป็นกระจกเงาที่ข้างหลอดทดลองได้ จึงมักเรียกว่าเกิด *silver mirror*



aldebyde silver mirror

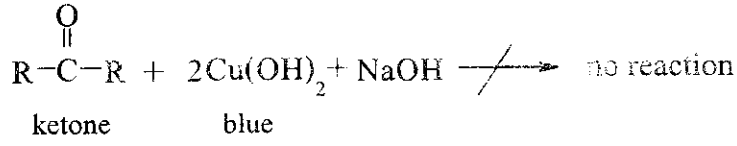
2. *กรดโครมิก (chromic acid test)* เฉพาะอัลดีไฮด์เท่านั้นที่จะถูกออกซิไดส์เป็นกรดคาร์บอกซิลิกด้วยกรดโครมิก ปฏิกิริยาระหว่างกรดโครมิกกับอัลดีไฮด์ จะได้สารละลายสีฟ้า-เขียวของ $Cr_2(SO_4)_3$ ส่วนคีโตนจะไม่เกิดปฏิกิริยานี้

aldehyde brown-red blue-green

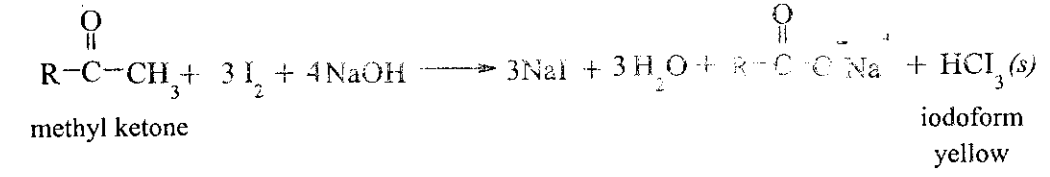


ketone

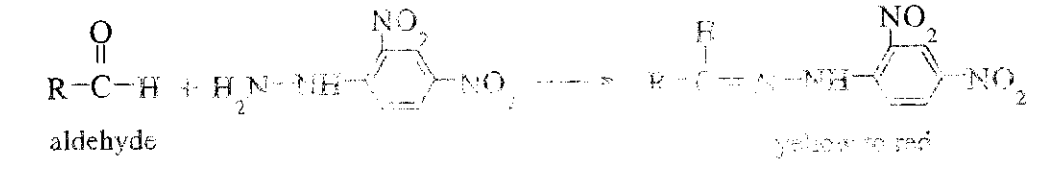
3. *สารละลายเบเนดิกส์ (benedict's test)* อะลิฟาติกอัลดีไฮด์ (aliphatic aldehyde) จะถูกออกซิไดส์ได้ด้วยสารละลายเบเนดิกส์ (สารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์(II)ซิเตรต ในสารละลายเบส) คอปเปอร์(II)อิออน จะถูกรีดิวซ์เป็นออกไซด์ของคอปเปอร์(I)อิออน (Cu_2O) เป็นตะกอนสีแดงเข้ม สำหรับอะโรมาติกอัลดีไฮด์ (aromatic aldehyde) และคีโตนจะไม่เกิดปฏิกิริยากับสารละลายเบเนดิกส์

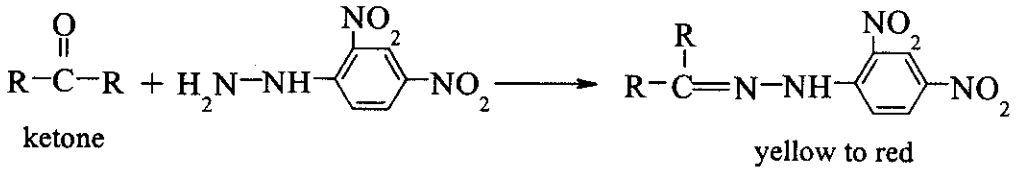


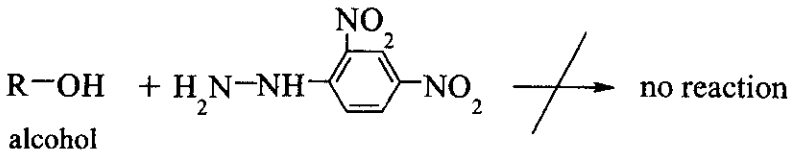
4. *สารทดสอบไอโอโดฟอร์ม (Iodoform test)* สารประกอบเมทิลคีโตน (methyl ketone) จะให้ตะกอนสีเหลืองของไอโอโดฟอร์ม (HCI_3) เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีน (I_2) ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



5. *สารละลาย 2,4-ไดไนโตรฟีนิลไฮดราซีน (2,4-dinitrophenylhydrazine test)* ทั้งอัลดีไฮด์และคีโตนสามารถทำปฏิกิริยากับ 2,4 ไดไนโตรฟีนิลไฮดราซีน ได้ตะกอนสีเหลือง-แดง (สำหรับแอลกอฮอล์จะไม่เกิดปฏิกิริยา)







6. *สารละลายฟีห์ลิง (Fehling test)* น้ำตาลและสารประกอบอัลดีไฮด์สามารถถูกรีดิวซ์ได้ด้วยสารละลายฟีห์ลิง พบโดยนักเคมีชาวเยอรมัน H.C.Von Fehling สารละลายนี้จะประกอบด้วย

- Fehling's A เป็นสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ($CuSO_4$)
- Fehling's B เป็นสารละลาย alkaline sodium tartrate 2,3-dihydroxy-butanedioate

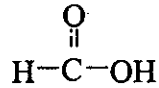
โดยผสมสารทั้งสองเท่าๆกัน ทำปฏิกิริยากับอัลดีไฮด์ จะให้สารผลิตภัณฑ์เป็นตะกอนสีน้ำตาลแดงของคอปเปอร์(I)ออกไซด์

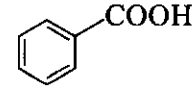
ตารางที่ 2.3 สรุปประเภทของสารที่เกิดปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ต่างๆ

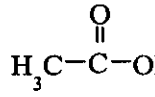
สารประกอบ	รีเอเจนต์ที่ใช้ทดสอบ
อัลดีไฮด์และคีโตน	2,4-Dinitropheylhydrazine
อัลดีไฮด์	Chromic acid
อะลิฟาติกอัลดีไฮด์	Tollens' reagent
เมทิลคีโตน	Iodoform

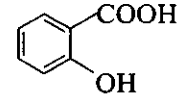
กรดคาร์บอกซิลิกและเอสเทอร์ (carboxylic acids and esters)

กรดคาร์บอกซิลิกเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างคล้ายกับอัลดีไฮด์และคีโตน มีหมู่คาร์บอนิลเหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่กรดคาร์บอกซิลิกมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่ด้วยโครงสร้างจึงเป็น $R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$ ซึ่งหมู่ $-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$ เรียกว่า*หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl = carbonyl + hydroxyl)* และ R อาจเป็นไฮโดรเจนอะตอม หมู่อัลคิล หรือ อะโรมาติก ก็ได้ เช่น

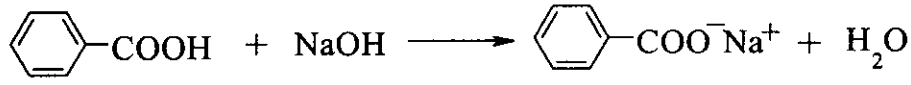

formic acid


benzoic acid


acetic acid


salicylic acid

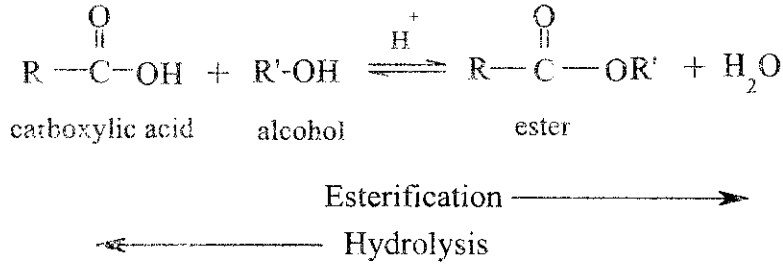
กรดคาร์บอกซิลิกที่รู้จักกันดีคือ กรดอะซิติกหรือกรดน้ำส้ม กรดคาร์บอกซิลิกเป็นกรดอ่อน แตกตัวในน้ำได้น้อยมาก แต่สามารถทำปฏิกิริยากับเบสแก่ได้เกลือที่ละลายน้ำได้ดี



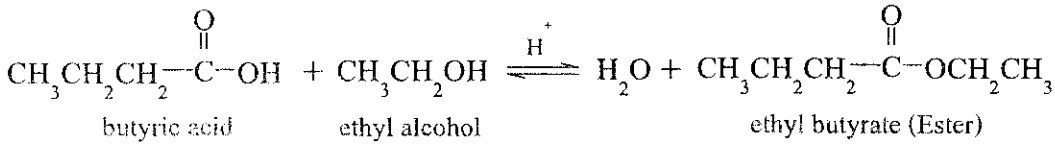
benzoic acid
Insoluble

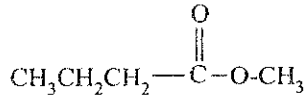
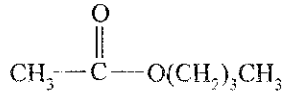
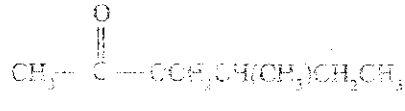
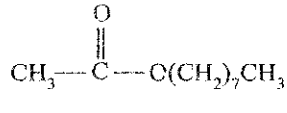
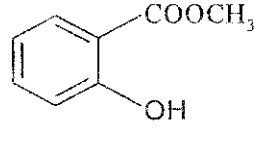
sodium benzoate
Soluble

ปฏิกิริยาที่สำคัญอีกปฏิกิริยาหนึ่งของกรดคาร์บอกซิลิกคือปฏิกิริยาการรวมตัวกับแอลกอฮอล์ได้เป็นเอสเทอร์ โดยการขจัดน้ำออก โดยมีกรดเป็นคะตะลิสต์ ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้เรียกว่า*ปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์ (esterification reaction)*

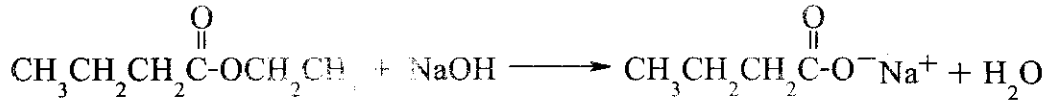


สำหรับเอสเทอร์เป็นสารประกอบโควาเลนต์ที่มีสูตรทั่วไปคือ $R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR'$ ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลวระเหยได้ง่ายและมีกลิ่นหอม มักจะเป็นที่มาของกลิ่นผลไม้และกลิ่นดอกไม้บางชนิด จึงมักนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น



methyl butyrate		กลิ่นสับปะรด
n-butyl acetate		กลิ่นกล้วย
isoamyl acetate		กลิ่นกล้วย
octyl acetate		กลิ่นส้ม
methyl salicylate		กลิ่นน้ำมันระกำ

ปฏิกิริยาที่สำคัญของเอสเทอร์คือ*ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (saponification)* เกิดจากปฏิกิริยากับเบสได้เป็นเกลือของกรดคาร์บอกซิลิกและแอลกอฮอล์ ซึ่งใช้ทำสบู่นั่นเอง ตัวอย่างเช่น



Saponification

คำถามก่อนการทดลอง

1. จงบอกความแตกต่างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ
   ก. สารประกอบอะโรมาติกและสารประกอบอะลิฟาติก
   ข. สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดโซ่และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไซคลิก
   ค. สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัวและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว
2. จงยกตัวอย่างสารประกอบโอลีฟินที่ทำการทดลองในวันนี้
3. สารประกอบอัลคีนสามารถเกิดปฏิกิริยาประเภทใดกับโบรมีนได้
4. จงเขียนชื่อของสารประกอบอัลเคน 10 ชนิดแรก
5. แอลกอฮอล์ชนิดใดที่สามารถถูกออกซิไดส์ได้ด้วยโพแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตแล้วได้สารผลิตภัณฑ์เป็นคีโตน
6. สารประกอบอินทรีย์ชนิดใดที่เป็นของเหลว ระเหยได้ และมีกลิ่นหอม
7. จงยกตัวอย่างสารประกอบเอสเทอร์พร้อมทั้งเขียนชื่อสารประกอบดังกล่าว
8. ปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารประกอบใด
9. จงบอกความแตกต่างของโครงสร้างของสารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตน
10. สารรีเอเจนต์ใดที่ใช้ทดสอบสารประกอบอัลดีไฮด์ได้
11. จงยกตัวอย่างสารที่มีสมบัติเป็นอะโรมาติกที่ใช้ในการทดลองวันนี้

อุปกรณ์และสารเคมี

1. กระจกนาฬิกา , กระบอกตวง
2. หลอดทดลอง
3. หลอดหยด
4. ไซโคลเฮกเซน (cyclohexane)
5. ไซโคลเฮกซีน (cyclohexene)
6. 5% โบรมีนในสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (5%Br/CCl_4)
7. 0.5% โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนส (0.5%$KMnO_4$)
8. เมทานอล (methanol, CH_3OH)
9. 10% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (10%NaOH)
10. 10% กรดซัลฟุริก (10%H_2SO_4)
11. เอทานอล (ethanol หรือ ethyl alcohol , CH_3CH_2OH)
12. กรดอะซิติก (acetic acid, CH_3COOH)
13. กรดซัลฟุริกเข้มข้น (H_2SO_4 conc.)
14. เอมิลแอลกอฮอล์ (amylalcohol, $CH_3(CH_2)_4OH$)
15. ผลึกกรดซาลิไซลิก (salicylic acid, $COOHC_6H_4OH$)
16. 5% ซิลเวอร์ไนเตรต (5%$AgNO_3$)
17. 5% แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (5%NH_4OH)
18. 10% ฟอร์มาลดีไฮด์ (10%HCOH)
19. อะซิโตน (acetone, CH_3COCH_3)
20. เบนซาลดีไฮด์ (benzaldehyde, C_6H_5COH)
21. Fehling solution A และ B
22. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol, $CH_3CHOHCH_3$)

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

1.1 ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (combustion)

เป็นปฏิกิริยาของออกซิเจน (O_2) ซึ่งจะเกิดได้สมบูรณ์กับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวได้สารผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O)

ข้อควรระวัง

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารที่ติดไฟและไอของสารเป็นพิษต่อร่างกายและสามารถดูดซึมได้ทางผิวหนัง ให้นักศึกษาทำการทดลองนี้ในตู้ดูดควัน

วิธีการทดลอง

1. เตรียมกระจกนาฬิกา 2 อัน
   อันที่ 1 หยดไซโคลเฮกเซน 5 หยด อันที่ 2 หยดไซโคลเฮกซีน 5 หยด
2. จุดไม้ขีดไฟ สังเกตสีของเปลวไฟและเขม่าไฟ บันทึกผลการทดลอง

ผลการทดลอง

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน	ผลการทดลอง
ไซโคลเฮกเซน	
ไซโคลเฮกซีน	

1.2 ปฏิกิริยากับโบรมีน (bromination)

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว จะทำปฏิกิริยากับ Br_2 ใน CCl_4 หรือเฮกเซนได้อย่างรวดเร็ว แต่จะเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวได้เมื่อมีแสงหรือที่อุณหภูมิสูงเท่านั้น การทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นสังเกตได้จากสีของโบรมีนที่หายไป เช่น

$$CH_3CH{=}CHCH_3 + Br_2 \longrightarrow CH_3\overset{Br}{\underset{|}{C}}H\text{-}\overset{Br}{\underset{|}{C}}HCH_3$$

สีส้ม ไม่มีสี

$$CH_3CH_2CH_2CH_3 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3CH_2CH_2CH_2Br$$

สีส้ม ไม่มีสี

ข้อควรระวัง

ตัวทำละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) เป็นสารก่อมะเร็ง เมื่อสิ้นสุดการทดลองจะต้องเทลงในขวดทิ้งสารที่เตรียมไว้ให้ในตู้ดูดควันเท่านั้น

วิธีการทดลอง

1. เตรียมหลอดทดลองขนาดเล็กที่แห้งและสะอาด 4 หลอด ส่สารต่อไปนี้ (พันหลอดทดลองหลอดที่ 1 และ 2 ด้วยกระดาษก่อนไม่ให้แสงเข้าได้)

หลอดที่	สภาวะ	สารประกอบไฮโดรคาร์บอน	5% Br_2/CCl_4
1	มืด	ไซโคลเฮกเซน 1 มล.	3 หยด
2	มืด	ไซโคลเฮกซีน 1 มล.	3 หยด
3	สว่าง	ไซโคลเฮกเซน 1 มล.	3 หยด
4	สว่าง	ไซโคลเฮกซีน 1 มล.	3 หยด

2. ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที (หลอดที่ 1 และ 2 เก็บไว้ในที่มืด)

3. สังเกตสีของสารละลาย บันทึกผลการทดลอง

ผลการทดลอง

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ใน 5% Br_2/CCl_4	สภาวะ	ผลการทดลอง (สีของสารละลาย)	สารผลิตภัณฑ์ที่ เกิดขึ้น
ไซโคลเฮกเซน	มืด		
ไซโคลเฮกซีน	มืด		
ไซโคลเฮกเซน	สว่าง		
ไซโคลเฮกซีน	สว่าง		

1.3 ปฏิกิริยากับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนส (Baeyer test)

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนส ($KMnO_4$) เป็นตัวออกซิไดส์ (สำหรับสารประกอบอัลเคนและอะโรมาติก จะไม่เกิดปฏิกิริยานี้) เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นจะพบว่าสีม่วงของ $KMnO_4$ หายไปและเกิดตะกอนสีน้ำตาลของ MnO_2 ในการทดลอง ดังตัวอย่างของ

$$3\,CH_3CH{=}CHCH_3 + 2\,KMnO_4 + 4H_2O \longrightarrow 3\,CH_3\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}H\text{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}HCH_3 + 2\,MnO_2 + 2\,KOH$$

Purple Brown

หมายเหตุ สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นไกลคอล (glycol) หรือ 1,2-ไดอัล (1,2-diol)

วิธีการทดลอง

เตรียมหลอดทดลอง 2 หลอด

หลอดที่ 1 เติมไซโคลเฮกเซน 1 มล. หลอดที่ 2 เติมไซโคลเฮกซีน 1 มล.

แล้วหยด 0.5%$KMnO_4$ หลอดละ 3 หยด สังเกตสีของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนส ว่าเปลี่ยนไปหรือไม่ เปลี่ยนเป็นสีอะไร

ผลการทดลอง

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน	ผลการทดลอง
ไซโคลเฮกเซน	
ไซโคลเฮกซีน	

สรุปผลการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนบางชนิด

	การเผาไหม้	ฟอกสีโบรมีนในที่มืด	ฟอกสีโบรมีนในที่สว่าง	ทำปฏิกิริยากับ $KMnO_4$
ไซโคลเฮกเซน				
ไซโคลเฮกซีน				

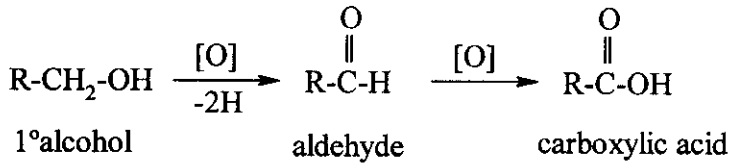
✓ เกิดปฏิกิริยา

✗ ไม่เกิดปฏิกิริยา

ตอนที่ 2 ศึกษาสมบัติของแอลกอฮอล์

2.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลกอฮอล์กับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนส

แอลกอฮอล์เป็นสารละลายที่มีขั้ว สำหรับแอลกอฮอล์ชนิดปฐมภูมิและทุติยภูมิ (1°alcohol และ 2°alcohol) เท่านั้นที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ $KMnO_4$ สำหรับแอลกอฮอล์ชนิดปฐมภูมินั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไปได้อีก เกิดเป็นกรดคาร์บอกซิลิกได้ ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น



วิธีการทดลอง

เตรียมหลอดทดลอง 6 หลอด เติมสารต่อไปนี้

หลอดที่	เมทานอล (มล.)	ไอโซโพรพานอล (มล.)	น้ำกลั่น (มล.)	10%NaOH (หยด)	10%H_2SO_4 (หยด)	0.5%$KMnO_4$ (หยด)
1	1	-	4	1	-	1
2	1	-	4	-	1	1
3	1	-	4	-	-	1
4	-	1	4	1	-	1
5	-	1	4	-	1	1
6	-	1	4	-	-	1

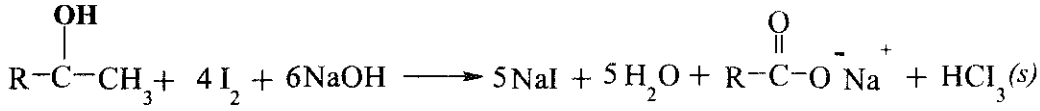
บันทึกผลการทดลอง แล้วนำไปอุ่นในอ่างน้ำเดือดนาน 15 นาที สังเกตผล และบันทึกผลการทดลองอีกครั้ง

ผลการทดลอง

แอลกอฮอล์	สภาวะ	ที่อุณหภูมิห้อง	เมื่อให้ความร้อน
เมทานอล	ด่าง		
เมทานอล	กรด		
เมทานอล	กลาง		
ไอโซโพรพานอล	ด่าง		
ไอโซโพรพานอล	กรด		
ไอโซโพรพานอล	กลาง		

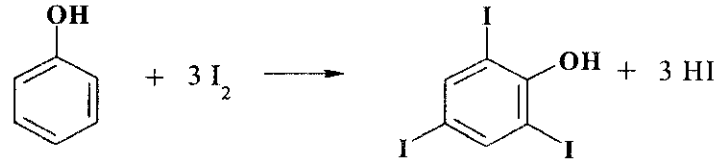
2.2 ปฏิกิริยาทดสอบไอโอโดฟอร์ม (Iodoform Test)

สารละลายไอโอโดฟอร์มจะใช้ทดสอบสารประกอบแอลกอฮอล์เฉพาะเอทิลแอลกอฮอล์และแอลกอฮอล์ที่มีโครงสร้างของ $-CH_3CH(OH)$ อยู่ในโมเลกุล โดยปฏิกิริยาของสารประกอบแอลกอฮอล์ดังกล่าวที่เกิดขึ้น จะเกิดกับสารประกอบไอโอดีนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้สารผลิตภัณฑ์เป็นตะกอนสีเหลืองของ ไอโอโดฟอร์ม



alcohol — iodoform yellow

สารประกอบฟีนอลสามารถปฏิกิริยานี้ได้เช่นเดียวกัน ดังสมการ



phenol — triiodophenol yellow

วิธีการทดลอง

1. เตรียมหลอดทดสอบที่สะอาด 2 หลอด

   หลอดที่ 1 เติมเมทานอล 1 มล.

   หลอดที่ 2 เติมไอโซโพพานอล 1 มล.

2. นำหลอดทดลองทั้งสองหลอดเติม 6M NaOH ลงไปหลอดละ 2 มล. แล้วเติมสารละลายของ I_2-KI ทีละหยดจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม จึงเติม 6M NaOH ลงไปอีกครั้งจนสารละลายกลับเป็นใส

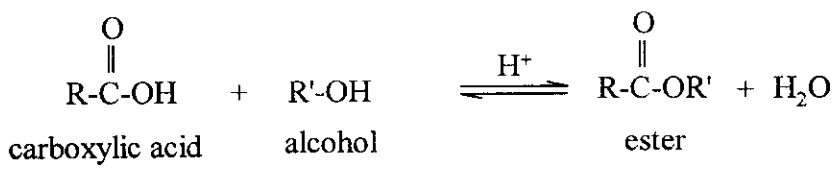
3. นำไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60°ซ ประมาณ 5 นาที
4. แช่หลอดทดลองในน้ำแข็งประมาณ 5 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผลการทดลอง

ผลการทดลอง

หลอดที่	สารประกอบแอลกอฮอล์	ผลการทดลอง
1		
2		

ตอนที่ 3 ปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์ (esterification)

ปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการรวมตัวของกรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอล์ โดยมีกรด (H^+) เป็นคะตะลิสต์



วิธีการทดลอง

เตรียมหลอดทดลอง 3 หลอด เติมสารต่างๆต่อไปนี้

หลอดที่	แอลกอฮอล์	กรดคาร์บอกซิลิก	กรดซัลฟุริกเข้มข้น
1	เอทานอล 2 มล.	กรดอะซิติก 1 มล.	10 หยด
2	เอมิลแอลกอฮอล์ 2 มล.	กรดอะซิติก 1 มล.	10 หยด
3	เมทานอล 2 มล.	กรดซาลิไซลิก 1 กรัม	10 หยด

นำหลอดทั้งหมดไปอุ่นในอ่างน้ำเดือดนาน 5 นาที สังเกตกลิ่นของสารละลาย บันทึกผลการทดลอง

รูปที่ 2.1 แสดงวิธีการดมกลิ่นของสารผลิตภัณฑ์

ผลการทดลอง

หลอดที่	ชื่อเอสเทอร์ที่ได้	กลิ่นคล้าย
1		
2		
3		

ตอนที่ 4 การทดสอบอัลดีไฮด์ โดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันกับTollens' reagent และ Fehling's test

ข้อควรระวัง

ตะกอนที่ได้จากการทดสอบกับ Tollens' reagent ต้องละลายให้หมดด้วยกรดไนตริกเจือจางก่อนเทลงในอ่างน้ำทิ้ง เพราะตะกอนสามารถสลายตัว แล้วทำให้เกิดการระเบิดได้

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายทอลเลนส์

ใส่ 5%$AgNO_3$ 2 มล. และ 10%NaOH 2 หยด ในบีกเกอร์ขนาดเล็ก จะพบว่าเกิดตะกอนเงินออกไซด์ ละลายตะกอนที่ได้ด้วย 5%NH_4OH ทีละหยด คนสม่ำเสมอ จนกระทั่งตะกอนละลายหมด จะได้สารละลายทอลเลนส์ แล้วนำไปทดสอบสารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตนในตารางในข้อ 3

2. เตรียม Fehling's test

นำ Fehling's test A และ Fehling's test B อย่างละ 2 มล. ใส่หลอดทดลองขนาดใหญ่ คนสารละลาย จะได้ Fehling's solution นำไปทดสอบสารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตนในตารางในข้อ 3

3. เตรียมหลอดทดลองขนาดเล็ก 6 หลอด สำหรับชุดที่ 1 และชุดที่ 2

ชุดที่ 1

หลอดที่	สารละลายทอลเลนส์ (มล.)	สารที่ทดสอบ (3 หยด)
1	1	10% ฟอร์มาลดีไฮด์
2	1	อะซิโตน
3	1	เบนซาลดีไฮด์

ชุดที่ 2

หลอดที่	สารละลาย Fehling's test(มล.)	สารที่ทดสอบ (3 หยด)
4	1	10% ฟอร์มาลดีไฮด์
5	1	อะซิโตน
6	1	เบนซาลดีไฮด์

4. นำทุกหลอดไปอุ่นในอ่างน้ำเดือดประมาณ 10 นาที สังเกตผลการทดลอง

ผลการทดลอง

สารประกอบ	สูตรโครงสร้าง	Tollen's reagent	Fehling's test
10%ฟอร์มาลดีไฮด์			
อะซิโตน			
เบนซาลดีไฮด์			

ตอบคำถาม

1. การทดลองใดบ้างที่ใช้ทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน
2. สารใดเกิดปฏิกิริยากับสารอื่นได้ดีกว่ากันระหว่างไซโคลเฮกเซนและไซโคลเฮกซีน เพราะเหตุใด
3. จงเขียนสมการที่เกิดขึ้นของสารประกอบไซโคลเฮกเซนและไซโคลเฮกซีน กับโบรมีน
4. จงเติมสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเพิ่มเข้าของสมการต่อไปนี้ให้สมบูรณ์

   4.1 $CH_3CH_2CH{=}CH_2 + Br_2 \longrightarrow$

   4.2 $CH_2{=}CHCH_3 + HCl \longrightarrow$

   4.3 $CH_2{=}CH_2 + H_2SO_4 \longrightarrow$

5. จงเขียนสูตรทั่วไปของสารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชันต่อไปนี้ พร้อมยกตัวอย่าง

   5.1 อัลดีไฮด์

   5.2 คีโตน

   5.3 เมทิลคีโตน

   5.4 อะโรมาติกอัลดีไฮด์

6. สารละลายทอลเลนส์ใช้ทดสอบสารประกอบอินทรีย์ประเภทใด

7. ที่สภาวะต่าง ๆ แอลกอฮอล์ประเภทใดที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ $KMnO_4$ ได้ผลดีที่สุด

8. กรดซัลฟุริกเข้มข้นที่เติมลงไปเล็กน้อย ทำหน้าที่อะไรในปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์

9. สารประกอบเอสเทอร์ $CH_3\text{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}\text{-}OC_2H_5$ เกิดจากปฏิกิริยาของสารใด

10. จากปฏิกิริยา $CH_3CH_2OH + CH_3CH_2COOH \xrightarrow{H_2SO_4} ?$

    สารผลิตภัณฑ์ที่ได้คือสารใด