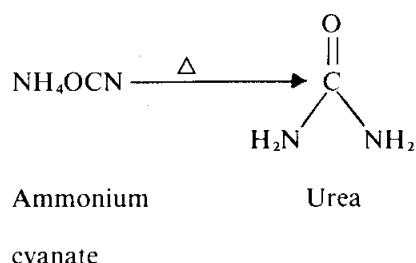


บทที่ ๖ เคมีอินทรีย์ ORGANIC CHEMISTRY

ก่อนศตวรรษที่ 18 นักเคมีได้แบ่งสารประกอบที่รู้จักออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ สารประกอบอินทรีย์ ได้แก่สารประกอบที่ได้มาจากการพืชและสัตว์ และสารประกอบคันนิනทรีย์ ได้แก่สารประกอบที่มีองค์ประกอบมาจากเกลือแร่ต่างๆ แต่เดิมเชื่อกันว่าสารประกอบอินทรีย์ได้มาจากสิ่งที่มีชีวิต ได้แก่พืชและสัตว์เท่านั้น มนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นจากสารอินทรีย์ได้

อย่างไรก็ตามนักเคมีได้พยายามสังเคราะห์สารอินทรีย์ ในห้องปฏิบัติการจากสารอินทรีย์ติดต่อ แต่ก็ไม่ประสบความสำเร็จ จนกระทั่งใน ค.ศ. 1828 Friedrich Wöhler นักเคมีชาวเยอรมัน สามารถเตรียมยูเรียซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่พบในปัจจุบัน ได้ในห้องปฏิบัติการจากแอมโมเนียมไซยาเนต (Ammonium cyanate) :

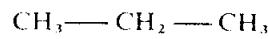


ต่อจากนั้นนักเคมีได้สังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ในห้องปฏิบัติการได้สำเร็จ อีกเป็นจำนวนมาก เคมีอินทรีย์จึงไม่จำกัดอยู่เพียงแต่สารผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติเท่านั้น แต่เป็นการศึกษาทางเคมีของสารประกอบคาร์บอน ปัจจุบันเรารู้จักสารประกอบอินทรีย์ กันมากกว่าสองล้านชนิด ซึ่งเกือบจะทั้งหมดประกอบด้วยคาร์บอนกับไฮโดรเจน นอกจากนั้น ยังมีธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบอีกด้วย เช่น ออกซิเจน ในไตรเจน กำมะถัน คลอรีน พลูอิโรมีน ไอโซดีน และฟอสฟอรัส เป็นต้น

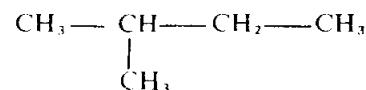
6.1 การจำแนกสารประกอบอินทรีย์ (Classification of Organic compounds)

เราสามารถจำแนกสารประกอบอินทรีย์ออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ โดยอาศัยความคล้ายคลึงกันของโครงสร้างได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1. สารประกอบอะลิฟติก (Aliphatic compounds) ได้แก่สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นโซ่อิ่ม (open chain) โดยที่อะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นโซ่ตรง (straight chain) หรือโซ่แย้ง (branched chain) ด้วยพันธะโคเวเลนต์ ซึ่งอาจจะเป็นชนิดพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสามก๊าดี เช่น

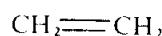


Propane



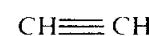
2 – methyl butane

(isopentane)



ethene

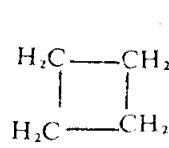
(ethylene)



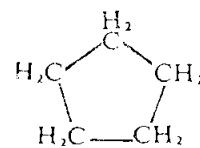
ethyne

(acetylene)

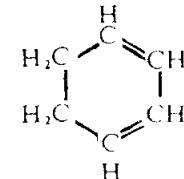
2. สารประกอบอะลิไซคลิก (Alicyclic compounds) ได้แก่สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวง (ring) โดยที่อะตอมของคาร์บอนต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ ชนิดพันธะเดี่ยว หรือพันธะคู่ ก็ได้ เช่น



cyclobutane

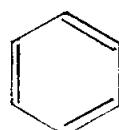


cyclopentane

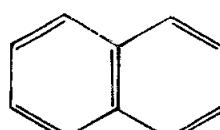


1,3 - hexadiene

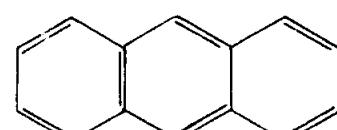
3. สารประกอบอะโรเมติก (Aromatic compounds) ได้แก่สารประกอบที่มีอะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นวง มีจำนวน π อิเล็กตรอนเป็น $4n + 2$ เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็มบวก ได ๆ เช่น 1, 2, 3 และอิเล็กตรอนเหล่านี้สามารถดีโลคัลไลซ์ (delocalize) ได เช่น



benzene

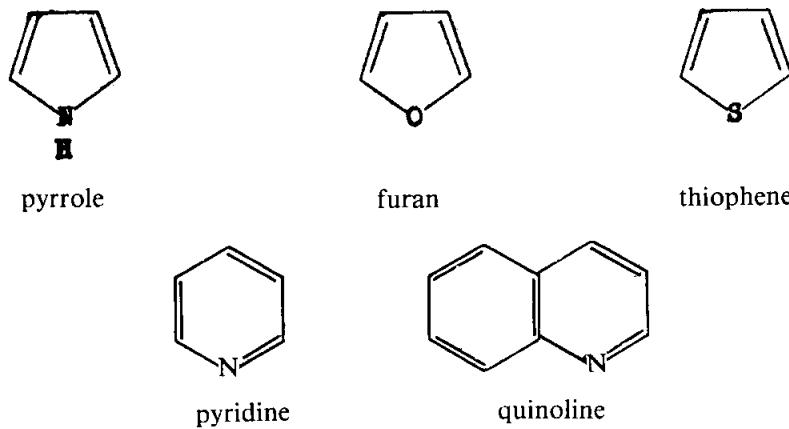


naphthalene



anthracene

4. สารประกอบออกเทอโรไฮดรอเจนิก (Heterocyclic compounds) ได้แก่ สารประกอบที่มีอะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นวงโดยมีอะตอมของธาตุ เช่น ในโตรเจน อออกซิเจน ชัลเฟอร์ มาคั่นอยู่ในวงระหว่างอะตอมของคาร์บอนด้วย เช่น



6.2 หมู่ฟังก์ชันนัล (Functional groups)

สารประกอบอินทรีย์ทั้ง 4 กลุ่มที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 6.1 นั้น อาจจะแบ่งเป็นชนิดต่าง ๆ ตามหมู่ฟังก์ชันนัล (หมู่ฟังก์ชันนัลคืออะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่มีอยู่ในโมเลกุลซึ่งทำให้โมเลกุlnนั้น ๆ มีสมบัติทางเคมีเฉพาะตัว) ซึ่งหมู่ฟังก์ชันนัลที่พบบ่อย ๆ มี 11 หมู่ คือ ไฮdrocarbons, แอลกออล (alcohols), อัลคลิลไฮเดรต (alkyl halides), อีเทอร์ (ethers), ยัลเดอเรต (aldehydes), คิโตน (ketones), การดكار์บออกซิลิก (carboxylic acids), เอสเทอร์ (esters), อะมีน (amines), เอเมด (amides) ดังนั้น แทนที่เราจะศึกษาสมบัติทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์เป็นส้านชนิด เราจะศึกษาสมบัติทางเคมีของหมู่ฟังก์ชันนัลเหล่านี้แทนนั้น ทั้งนี้เพราะโมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันนัลเหมือนกันจะมีสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกัน หมู่ฟังก์ชันนัลที่พบบ่อย ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 หมู่ฟังก์ชันนัลที่พบบ่อย ๆ

ชนิดของสารประกอบ	หมู่ฟังก์ชันนัล	สูตรทั่วไป	ตัวอย่าง	ชื่อ
1. อัลเคน		$\begin{array}{c} R^* \\ \\ C=C \\ \\ *R \end{array}$	$CH_2=CH_2$	Ethene (ethylene)
2. อัลไคโน	$-C\equiv C-$	$*R-C\equiv C-R^*$	$CH\equiv CH$	Ethyne (acetylene)
3. เม็อกอซอล์	$-OH$	$R-OH$	CH_3OH	Methanol
4. เชิล์ด	$X(F, Cl, Br, I)$	$R-X$	CH_3Cl	Chloromethane
5. อีเทอร์	$-O-$	$R-O-R$	CH_3-O-CH_3	Dimethyl ether
6. อัลเดไฮด์	$\begin{array}{c} O \\ \\ -C-H \end{array}$	$\begin{array}{c} O \\ \\ R^*-C-H \end{array}$	$\begin{array}{c} O \\ \\ CH_3-C-H \end{array}$	Ethanal
7. คีโตน	$\begin{array}{c} O \\ \\ -C- \end{array}$	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C-R \end{array}$	$\begin{array}{c} O \\ \\ CH_3-C-CH_3 \end{array}$	Propanone (acetone)
8. กรดคาร์บอเนติก	$\begin{array}{c} O \\ \\ -C-OH \end{array}$	$\begin{array}{c} O \\ \\ R^*-C-OH \end{array}$	$\begin{array}{c} O \\ \\ CH_3-C-OH \end{array}$	Ethanoic acid (acetic acid)
9. เอสเทอร์	$\begin{array}{c} O \\ \\ -C-O- \end{array}$	$R^*-C-O-R'$	$CH_3-C-O-CH_3$	Methyl acetate
10. อะมีน	$-NH_2^{**}$	$R-NH_2^{**}$	CH_3-NH_2	Methylamine
11. เอามีด	$\begin{array}{c} O \\ \\ -C-N \end{array}$	$R-C-NH_2$	CH_3-C-NH_2	Ethanamide (acetamide)

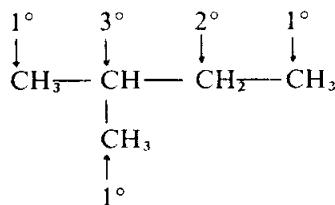
หมายเหตุ

1) $R = C_nH_{2n+1}$, เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots$

2) $R^*, R^{'}, R^{''}$ อาจจะเป็น H ก็ได้

3) H^{**} ที่เก้าะกับ N (ในอะมีน) หนึ่งหรือทั้งสองจะต้องเป็น R ก็ได้

สิ่งที่ควรทราบก่อนที่จะไปศึกษาปฏิกริยาเฉพาะของฟังก์ชันนัลเต็لامาก็คือโมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันนัลเกาะอยู่กับคาร์บอนที่ตำแหน่งต่างกันในโมเลกุล ก็จะทำให้ความว่องไวต่อการเกิดปฏิกริยาแตกต่างกันบ้าง เช่น ในอัลเคนข้างล่างนี้



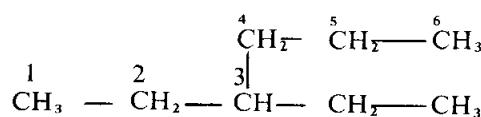
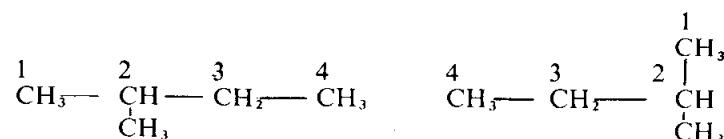
1. คาร์บอนชนิดปฐมภูมิ (Primary carbon, 1°) คืออะตอมของคาร์บอนที่ต่อกับอะตอมของคาร์บอนอื่นอีกเพียงอะตอมเดียว
2. คาร์บอนชนิดทุติยภูมิ (Secondary carbon, 2°) คืออะตอมของคาร์บอนที่ต่อกับอะตอมของคาร์บอนอื่นอีกสองอะตอม
3. คาร์บอนตติยภูมิ (Tertiary carbon, 3°) คืออะตอมของคาร์บอนที่ต่อกับอะตอมของคาร์บอนอื่นอีกสามอะตอม

6.3 การเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ (Nomenclature of Organic Compound)

สารประกอบอินทรีย์ในสมัยก่อนส่วนใหญ่มักจะตั้งชื่อกันตามแหล่งกำเนิดของสารประกอบนั้น ๆ ซึ่งเรียกว่า ชื่อสามัญ (common name) ต่อมาเมื่อมีการค้นพบสารประกอบอินทรีย์มากขึ้น การเรียกชื่อสามัญเช่นนี้จึงเกิดปัญหาและเกิดการสับสนต่อการจดจำมากนักวิทยาศาสตร์จึงได้พยายามหาหลักเกณฑ์ในการเรียกชื่อให้เป็นระบบกันมาตามลำดับจนกระทั่งในปัจจุบันระบบการเรียกชื่อที่ยอมรับกันคือระบบ IUPAC ซึ่งย่อมาจาก The International Union of Pure and Applied Chemistry

การเรียกชื่อตามระบบ IUPAC มีกฎเกณฑ์ย่อ ๆ ดังนี้

1. เลือกโซ่อัตโนมัติของคาร์บอนที่ยาวที่สุดเป็นโซ่อัลลิก (Parent chain) ในกรณีที่โมเลกุลนั้นมีหมู่ฟังก์ชันนัล โซ่อัลลิกจะต้องมีหมู่ฟังก์ชันนัลอยู่ด้วย เช่น



2. ให้ใช้คำนำหน้า เพื่อแสดงจำนวนอะตอมของคาร์บอนในโซ่อุล्लักษณ์ดังนี้

คำนำหน้า	จำนวนอะตอมของคาร์บอนในโซ่อหลัก
meth-	1
eth-	2
prop-	3
but-	4
pent-	5
hex-	6
hept-	7
oct-	8
non-	9
dec-	10

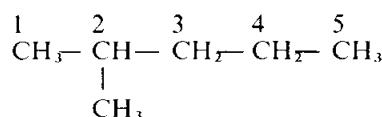
3. คำลงท้ายชื่อสารประกอบเพื่อบอกชนิดของสารประกอบ ถ้าเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนให้ใช้คำลงท้ายเดิมนี้

- ane แสดงว่าเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอิมตัวซึ่งมีแต่เนพาะ พันธะเดียว ได้แก่ พวก อัลเคน เช่น CH_4 methane
 - ene แสดงว่าเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิมตัวที่มีพันธะคู่ ได้แก่ พวก อัลคีน เช่น $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ ethene

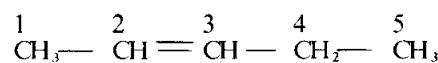
- yne แสดงว่าเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่มีตัวที่มีพันธะสามได้แก่พ่วง อัลไคน์ เช่น $\text{CH}\equiv\text{CH}$ ethyne ถ้าเป็นสารประกอบที่มีหมู่พังก์ชันนัลอื่น ๆ ให้ตัด -e ตัวสุดท้ายออกแล้วเติมคำลงท้ายดังนี้

- ol แสดงว่าเป็นสารประกอบพวงแอลกออล์ เช่น ethane เป็น ethanol
- al แสดงว่าเป็นสารประกอบพวงอัลดีไฮด์ เช่น ethane เป็น ethanal
- one แสดงว่าเป็นสารประกอบพวงค์โนน เช่น propane เป็น propanone
- oic แสดงว่าเป็นสารประกอบกรดคาร์บอชิลิก เช่น ethane เป็น ethanoic acid

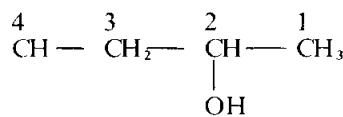
4. การกำหนดตำแหน่งของคาร์บอนในโซ่อัลกิล ในกรณีที่โซ่อัลกิมีหมู่พังก์ชันนัลหรือหมู่ของอะตอมที่เป็นโซ่แขนง หรือพันธะชนิดไม่มีตัวออยู่ด้วย ให้เริ่มนับจากปลายด้านที่ทำให้คาร์บอนที่มีหมู่พังก์ชันนัลหรือหมู่ของอะตอมที่เป็นโซ่แขนงแรกอยู่หรือการบอนที่มีตำแหน่งไม่มีตัวมีเลขนำหนอยู่ที่สุด เช่น



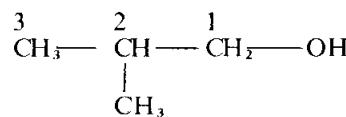
2- methyl pentane



2- pentene

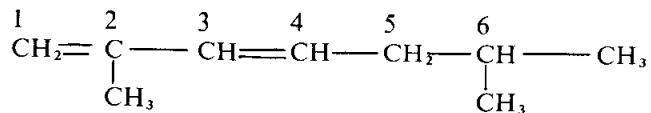


2-butanol



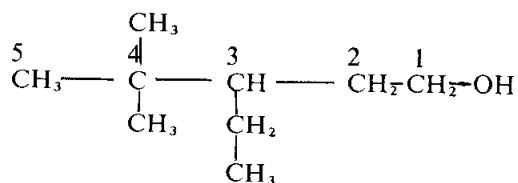
2-methyl -1- propanol

5. ถ้ามีหมู่พังก์ชันนัล หรืออะตอม หรือหมู่ของอะตอมที่ซ้ำกันเกาะอยู่กับโซ่อัลกิให้ใช้คำนำหน้า di-, tri-, tetra-, penta-, สำหรับหมู่พังก์ชันนัลหรืออะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่ซ้ำกัน 2, 3, 4, 5 หมู่ตามลำดับ และให้ระบุตำแหน่งของคาร์บอนที่มีหมู่เหล่านั้นเกาะอยู่ทุก ๆ หมู่ด้วย เช่น



2, 6-dimethyl-1, 3-heptadiene

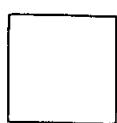
6. ถ้ามีอะตอมหรือหมู่ของอะตอมเกาะอยู่กับโซ่หลักหลายหมู่ นิยมเรียกหมู่เหล่านั้น เรียงตามลำดับอักษรในภาษาอังกฤษ โดยไม่นับคำนำหน้า di-, tri-, tetra-, penta-, sec-, tert-, แต่นับ cyclo-, iso-, neo-, เป็นส่วนหนึ่งของหมู่ของอะตอมที่เกาะในโซ่หลัก เช่น



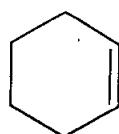
3-ethyl-4, 4-dimethyl-1-pentanol

7. ในกรณีของสารประกอบที่มีปลายต่อไปนี้ วงศ์ มีดังนี้

1. ถ้าสารประกอบเป็นพ่วงอะลิไซคลิก ให้ใช้คำว่า cyclo – นำหน้าชื่อไฮโดรคาร์บอนโดยหลักที่เป็นวงนั้น ๆ



cyclobutane



cyclohexene

2. ถ้าสารประกอบมีหมุพังค์ชันนัลเกาะอยู่ ให้เริ่มนับครั้งบอนในวงที่มีหมุพังค์ชันนัลเกาะอยู่เป็นลำดับที่ 1 เสมอ แล้ววนไปตามวงทางด้านที่จะทำให้ครั้งบอนที่มีอะตอมหรือหมุของอะตอมเกาะอยู่เมื่อเขียน้อยที่สุด

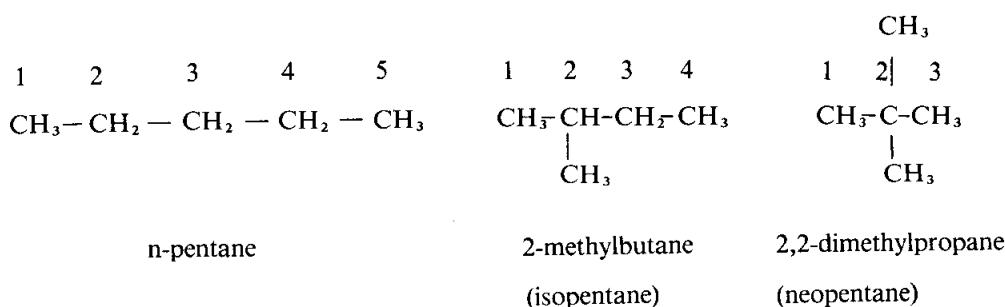
ในการถือที่ภายนอกในวงมีเฉพาะแต่ตำแหน่งที่ไม่อิ่มตัวโดยไม่มีหยุดพังก์ชันแล้วอีน ให้เริ่มนับ
การบอนที่มีตำแหน่งไม่อิ่มตัวทั้งสองอะตอนเป็นตำแหน่งที่ 1 และ 2 ตามลำดับเสมอ



3-methylcyclopentanone

1-methylcyclohexene

นอกจากการเรียกชื่อสารประกอบอินทรีตามระบบ IUPAC ดังกฎเกณฑ์ที่กล่าวมาแล้ว ยังนิยมเรียกชื่อโดยใช้ n- (normal) นำหน้าสารประกอบที่มีอะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นโซ่อร์ตรอง iso- และ neo- นำหน้าสารประกอบที่มีกิ่งสาขา และในกรณีเช่นนี้ การเรียกชื่อจะเน้นจำนวนอะตอมของคาร์บอนที่มีห้องหมุดในโมเลกุล เช่น



อัลเคนที่ขาดไฮโดรเจนไปหนึ่งอะตอม เรียกว่า หมู่อัลคิล (alkyl group) โดยทั่วไปจะเขียนย่อแทนหมู่อัลคิลด้วย R และเรียกชื่อหมู่เหล่านี้ โดยตัด -ane ท้ายชื่อสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอัลเคนออกแล้วเติม -yl เข้าไปแทน ดังนี้

ตารางที่ 6.2 หมู่อัลกิลบางชนิด

หมู่อัลกิล	ชื่อตามระบบ IUPAC	ชื่อสามัญ
$\text{CH}_3 -$	Methyl	Methyl
$\text{CH}_3\text{CH}_2 -$	Ethyl	Ethyl
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2 -$	Propyl	n-Propyl
$\text{CH}_3 - \begin{matrix} \text{CH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{matrix} -$	1-Methylethyl	Isopropyl
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2 -$	Butyl	n-Butyl
$\text{CH}_3\text{CHCH}_2 -$ CH_3	2-Methylpropyl	Isobutyl
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH} -$ CH_3	1-Methylpropyl	sec-Butyl
$\begin{matrix} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \\ \\ \text{CH}_3 \end{matrix}$	1,1-Dimethylethyl	tert-Butyl
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2 -$	Pentyl	n-Amyl

สารประกอบอะโรเมติกที่ขาดไฮโดรเจนไปหนึ่งอะตอม เรียกว่า หมู่เอริล (aryl group) โดยทั่ว ๆ ไปเขียนย่อแทนหมู่เอริลด้วย Ar ในกรณีของเบนซีน (benzene) ที่ขาดไฮโดรเจนไปหนึ่งอะตอม เรียกว่า หมู่ฟีนิล (phenyl group)

นอกจากหมู่อัลกิล หมู่เอริล แล้ว ยังมีอะตอมหรือหมู่ของอะตอมอื่นที่จะเกาะกับโซ่อัลกอิก เช่น

-F เรียกว่า fluoro

-Cl เรียกว่า chloro

-Br เรียกว่า bromo

-No₂ เรียกว่า nitro

นอกจากนี้ยังมีชื่อสามัญของหมู่ที่ไม่รวมตัวที่นิยมเรียกอีก เช่น



vinyl allyl



vinyl chloride allyl chloride

6.4 ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์

ในการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์มีพันธะเป็นพันธะโคเวเลนต์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจึงแตกต่างไปจากปฏิกิริยาของสารอนินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาของอิオน ดังนั้นจึงมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ ประเภทของการแตกพันธะ (bond cleavage) ประเภทของตัวเข้าทำปฏิกิริยา (reagent) และประเภทของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ซึ่งรายละเอียดของแต่ละประเภทมีดังนี้

6.4.1 ประเภทของการแตกพันธะ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ก. การแตกพันธะแบบไฮโมลิติก (Homolytic Cleavage) เป็นการแตกพันธะโดยแบ่งอิเล็กตรอนคู่ที่ใช่วิ่งกันไปอยู่ตอนละตัว ผลที่ได้จะเป็นฟรีเรดิกัล (free radical) ซึ่งไม่มีข้าวไฟฟ้าเช่น



ข. การแตกพันธะแบบเอทเทอรอลิติก (Heterolytic Cleavage) เป็นการแตกพันธะโดยที่อะตอมใดอะตอมหนึ่งรับอิเล็กตรอนทั้งคู่ไป ทำให้อีกอะตอมหนึ่งขาดอิเล็กตรอนไปอะตอมที่รับอิเล็กตรอนไปจะมีประจุลบ ส่วนอะตอมที่ให้อิเล็กตรอนไปจะมีประจุบวก ดังนั้นแต่ละอะตอมจึงมีข้าวไฟฟ้า เช่น



6.4.2 ประเภทของตัวเข้าทำปฏิกิริยา ปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ปกติดำเนินไปดังนี้
สารตั้งต้น + ตัวเข้าทำปฏิกิริยา \longrightarrow ผลิตผล

จะเห็นได้ว่าเข้าทำปฏิกิริยาเป็นสารที่จะทำให้สารตั้งต้นของปฏิกิริยาซึ่งเป็นสารอินทรีย์ เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตผล และเราอาจจัดประเภทของตัวเข้าทำปฏิกิริยาในปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

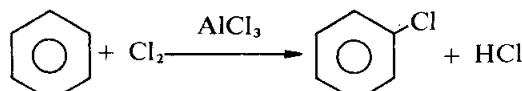
ก. อิเล็กโทรไฟล์ (Electrophile) คืออิオンหรือโมเลกุลที่สามารถรับอิเล็กตรอนคู่หนึ่ง มาสร้างพันธะใหม่ขึ้นได้ ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเป็นกรดของลิวอิส (Lewis acid) ได้แก่ BF_3 , AlCl_3 , H_3O^+

ข. นิวเคลียไฟล์ (Nucleophile) คืออิออนหรือโมเลกุลที่สามารถให้อิเล็กตรอนคู่หนึ่งเพื่อใช้ในการสร้างพันธะ ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเป็นแบบสของลิวอิส (Lewis base) ได้แก่ NH_3 , $\text{H}_2\ddot{\text{O}}:$, $\text{R}\ddot{\text{O}}\text{H}$, OH^- , CN^- , I^-

ค. พรีเรดิกัล คืออะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่มีอิเล็กตรอนเดียว ซึ่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีมาก เช่น CH_3 ,

6.4.3 ประเภทของปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ปฏิกิริยาการแทนที่ (Substitution reaction) เป็นปฏิกิริยาแทนที่อะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่เก่าอยู่กับคาร์บอนด้วยอะตอมหรือหมู่ของอะตอมอื่น เช่น



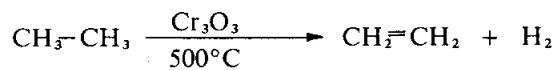
การเรียกชื่อของปฏิกิริยานั้นสามารถเรียกตามชื่ออะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่เข้าไปแทนที่อะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่เก่าอยู่กับคาร์บอน ได้ดังนี้

ถ้าอะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่เข้าไปแทนที่เป็น เอโลเจน เรียกปฏิกิริยาว่า Halogenation ถ้าอะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่เข้าไปแทนที่เป็น คลอริน เรียกปฏิกิริยาว่า Chlorination ถ้าอะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่เข้าไปแทนที่เป็น โบรมีน เรียกปฏิกิริยาว่า Bromination ถ้าอะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่เข้าไปแทนที่เป็น หมู่ไฮดรอกซิล เรียกปฏิกิริยาว่า Hydroxylation ถ้าอะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่เข้าไปแทนที่เป็น หมู่อัลกิล เรียกปฏิกิริยาว่า Alkylation ถ้าอะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่เข้าไปแทนที่เป็น หมูไนโตร เรียกปฏิกิริยาว่า Nitration ถ้าอะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่เข้าไปแทนที่เป็น หมูเอซิล เรียกปฏิกิริยาว่า Acylation

2. ปฏิกิริยาการเพิ่มเข้า (Addition reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เพิ่มอะตอมหรือหมู่ของอะตอมเข้าไปในสารประกอบที่ไม่อิมตัว เช่น



3. ปฏิกิริยาการขัดออก (Elimination reaction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการขัดอะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่เกะอยู่กับคาร์บอนออกไปเป็นโมเลกุลเด็ก ๆ เช่น



การเรียกชื่อของปฏิกิริยานี้อาจจะเรียกตามชนิดของโมเลกุลที่ถูกขัดออกมาได้ดังนี้
 ถ้าโมเลกุลที่ถูกขัดออกมาเป็น ไฮโดรเจน เรียกปฏิกิริยว่า Dehydrogenation
 ถ้าโมเลกุลที่ถูกขัดออกมาเป็น น้ำ เรียกปฏิกิริยว่า Dehydration

6.5 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

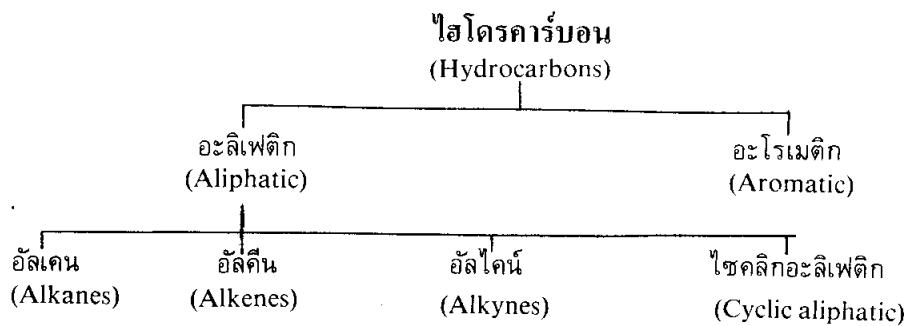
ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons) เป็นสารประกอบที่มีธาตุสองธาตุเท่านั้น คือ คาร์บอนกับไฮโดรเจน ไฮโดรเจนคาร์บอนแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. อะลิฟติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbons)

2. อะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbons)

อะลิฟติกไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยสารประกอบชนิดอิมตัว (Saturated compounds)

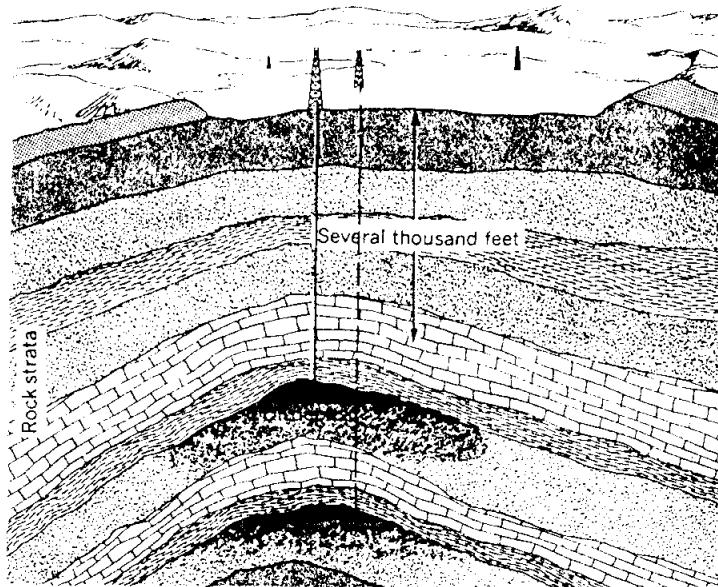
ซึ่งประกอบด้วยพันธะเดี่ยวเพียงอย่างเดียว และสารประกอบชนิดไม่อิมตัว (unsaturated compounds) ซึ่งประกอบด้วยพันธะคู่และพันธะสามด้วย อะลิฟติกไฮโดรคาร์บอน แบ่งออกเป็นประเภทอยู่ ๆ ได้แก่ อัลเคน อัลคีน อัลไคน์ และไฮคลิกอะลิฟติก ดังแสดงในแผนผังข้างล่างนี้



อะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน เป็นสารประกอบที่มีอะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นวง (ring) นั่นเอง ซึ่งจะแยกกล่าวโดยเฉพาะในตอนต่อไป

6.5.1 ปิโตรเลียม (Petroleum)

ปิโตรเลียมเป็นแหล่งธรรมชาติที่สำคัญของไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ ได้แก่ ชาดพืช ชาดสัตว์ ที่ทับถมอยู่ใต้พื้นโลกเป็นเวลาหลายล้านปี และเนื่องจากมีความร้อนใต้พื้นโลกและมีการบีบอัดของชั้นดินชั้นหนึ่ง รวมทั้งการกระทำของบakteรี จึงทำให้สารอินทรีย์เหล่านั้นแปรรูปมาเป็นน้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันดิบอยู่ตามแหล่งใต้พื้นโลกเป็นระยะหลาย ๆ พันฟุต ดังรูปที่ 6.1

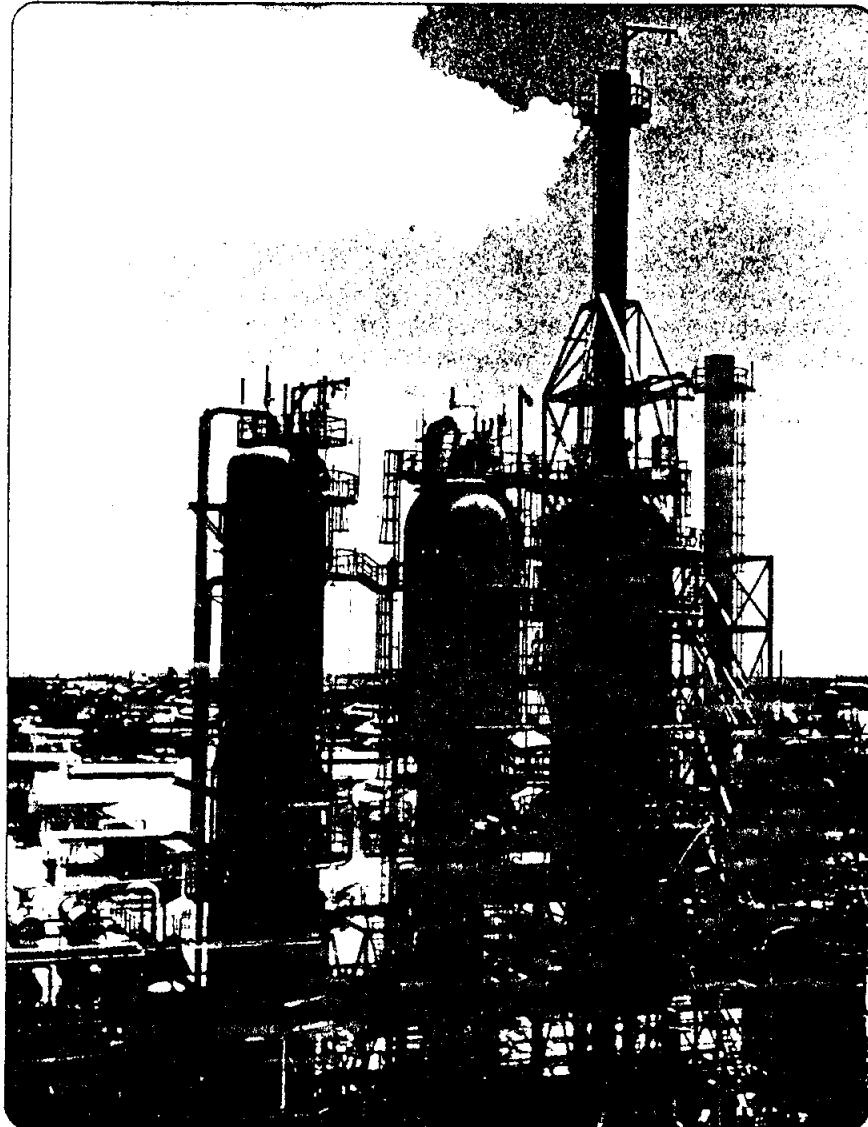


รูปที่ 6.1 แหล่งกำเนิดปิโตรเลียม (Petroleum deposit)

น้ำมันบีโตรเลียมหรือน้ำมันดิบที่อยู่ใต้พื้นโลกนั้น บางส่วนอาจจะกล้ายเป็นแก๊สซึ่งหันน้ำมันดิบและแก๊สธรรมชาตินี้เมื่อยูไนແહล์ของมันจะมีความดันสูงมาก ซึ่งจะเห็นได้จากเมื่อเจ้ามันจะพุ่งขึ้นมา

บีโตรเลียมประกอบด้วยสารเคมีต่าง ๆ หลายพันชนิด แต่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีทั้งชนิดที่เป็นโซ่อร์ตรังและโซ่อร์查看详情 เมื่อน้ำมันบีโตรเลียมหรือน้ำมันดิบมากลับลำดับส่วน (fractional distillation) จะแยกได้ส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญดังแสดงในตารางที่

6.3



รูปที่ 6.2 ห้องลับน้ำมันบีโตรเลียม

ตารางที่ 8.3 ส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม

ชื่อส่วนต่าง ๆ	อุณหภูมิ °C	จำนวนอะตอม ของคาร์บอน ในโมเลกุล	ประโยชน์
1. แก๊สธรรมชาติ	< 20	C ₁ -C ₄	เชื้อเพลิง เช่น ใช้เป็น เชื้อเพลิงสำหรับหุงต้ม หรือให้ความร้อน
2. ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether)	20-90	C ₅ -C ₇	ตัวทำละลาย
3. แก๊สโซลีน (gasoline) หรือน้ำมันเบนซิน	35-220	C ₅ -C ₁₂	เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์
4. เครื่องดื่ม (kerosene) หรือน้ำมันก้าด	200-315	C ₁₂ -C ₁₆	เชื้อเพลิงในเครื่องบิน ไฟฟัน และใช้จุดระเกียบ
5. น้ำมันเชื้อเพลิง (fuel oil) น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันเตา	250-375	C ₁₅ -C ₁₈	เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ดีเซล เชื้อเพลิงในโรง ^{ไฟฟ้า} หรือโรงงาน อุตสาหกรรม
6. น้ำมันหล่อลื่น, jarbī (lubricating oils, greases)	> 350	C ₁₆ -C ₃₀	น้ำมันหล่อลื่น และjarbī
7. ไขพาราฟิน (paraffin wax)	50-60(m.p.)	C ₂₀ -C ₃₀	เทียน ไข
8. แอสฟัลต์ (asphalt) หรือยางมะตอย	ไม่สามารถกลั่น ^{ออกมากได้}	เป็นพลาทีน โครงสร้างเป็น Polycyclic	ราดถนน

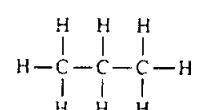
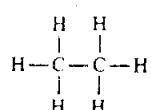
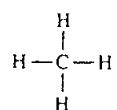
นอกจากนี้ นักเคมียังนำส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันบิโตรเลียมมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารอื่น ๆ อีก เช่น ไบสังเคราะห์ ย่างสังเคราะห์ พลาสติก สีทาภารักษาโรคเป็นต้น

6.5.2 อัลเคนและไฮโดรคลออลเคน

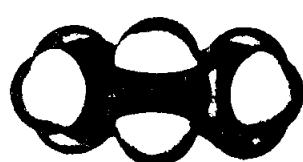
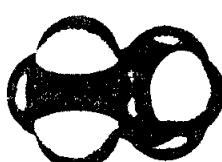
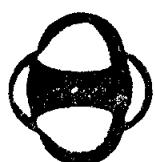
อัลเคน เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอิมตัว อัลเคนตัวที่ง่ายที่สุดคือ มีเทน, CH_4 ในโมเลกุลของมีเทน พันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจนทั้งสี่เหมือนกันทุกประการ มีความยาวพันธะ $\text{C}-\text{H}$ เท่ากับ 108 pm เป็นพันธะชนิด σ ซึ่งเกิดจากการซ้อนทับกันระหว่าง sp^3 -ไฮบริดออร์บิตอลของคาร์บอน กับ 1s - ออร์บิตอลของไฮโดรเจน มีเทนเป็นสารตัวแรกในอนุกรมของไฮโดรคาร์บอนที่อิมตัว เรียกว่า อัลเคนหรือพาราฟิน (Paraffins) มาจากภาษาละติน แปลว่า มีปฏิกิริยาน้อย) มีสูตรทั่วไปเป็น $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ คาร์บอนแต่ละตัวในอัลเคนมีพันธะกับอะตอมอื่นอีกสี่อะตอม คือการบอนหรือไฮโดรเจน สูตรโครงสร้างของอัลเคนสามตัวแรกคือ มีเทน, CH_4 , อีเทน, C_2H_6 และโพรเพน, C_3H_8 ดังแสดงในรูปที่ 6.3

จากอัลเคนสามตัวแรก คือ มีเทน อีเทนและโพรเพน จะเห็นว่าอัลเคนตัวถัดไปมีสูตรโมเลกุลต่างจากตัวหน้าด้วยหมู่ $-\text{CH}_2-$ สมมอ เราเรียกชุดของสารประกอบเหล่านี้ว่า อนุกรุ姆ไฮโลกัส (homologous series) และสารประกอบแต่ละตัวในชุดนี้เรียกว่า ไฮโลกอก (homolog)

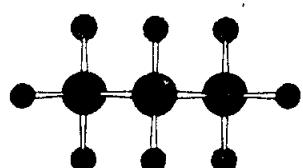
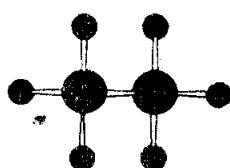
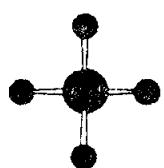
อัลเคนที่มีอะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นโซ่อ่อน (straight chain) นิยมเรียกชื่อโดยใช้ normal (n-) นำหน้า ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอนโนโพลาร์ (nonpolar compounds) ซึ่งพบในแก๊สธรรมชาติหรือบิโตรเลียม จุดหลอมเหลวและจุดเดือดที่แตกต่างกันของ normal alkane 10 ตัวแรกในตารางที่ 6.4 พบว่า เมื่ออัลเคนมีหนังกโมเลกุลเพิ่มขึ้นจะมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดเพิ่มขึ้นด้วย



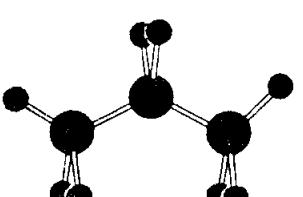
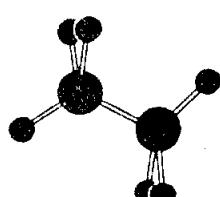
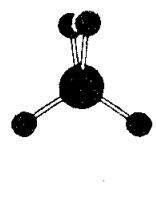
Structural formula



Space-filling model



Ball-and-stick model, "top" view



Ball-and-stick model, "side" view

Methane

Ethane

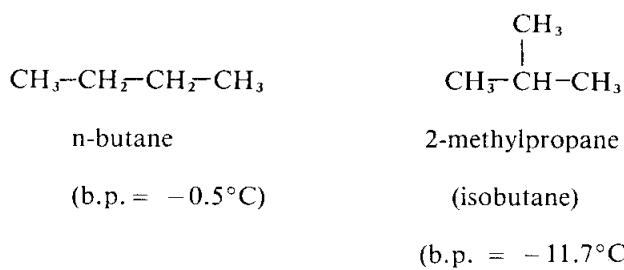
Propane

รูปที่ 6.3 สูตรโครงสร้างของอัลเคนสามตัวแรก

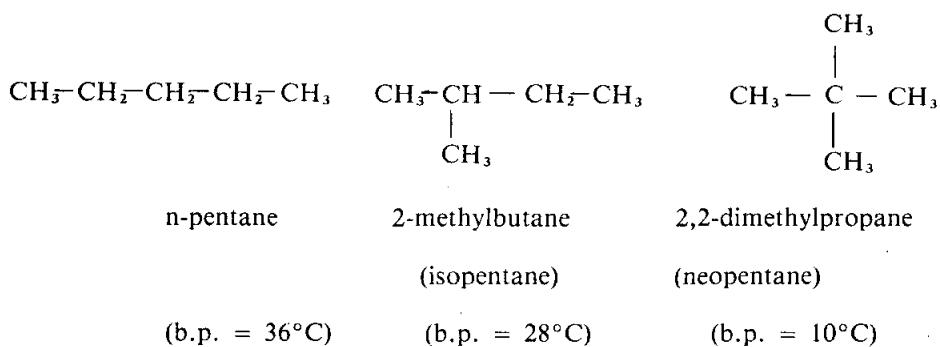
ตารางที่ 6.4 ตัวอย่าง normal alkane บางชนิด

ชื่อ	สูตรโมเลกุล	สูตรโครงสร้าง	จุดหลอมเหลว °C	จุดเดือด °C
Methane	CH ₄	CH ₄	-182	-161
Ethane	C ₂ H ₆	CH ₃ H ₃	-183	-89
Propane	C ₃ H ₈	CH ₃ CH ₂ CH ₃	-188	-42
Butane	C ₄ H ₁₀	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	-138	-1
Pentane	C ₅ H ₁₂	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	-130	36
Hexane	C ₆ H ₁₄	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	-95	69
Heptane	C ₇ H ₁₆	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	-91	98
Octane	C ₈ H ₁₈	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	-57	126
Nonane	C ₉ H ₂₀	CH ₃ CH ₂ CH ₃	-50	151
Decane	C ₁₀ H ₂₂	CH ₃ CH ₂ CH ₃	-30	174

อัลเคนที่มีคาร์บอนหลายอะตอมในโมเลกุลอาจจะต่อ กันเป็นโซ่อียงหรือต่อ กันเป็นโซ่อีก ที่มีกิ่งสาขาก็ได้ เช่น บิวเทน (butane, C₄H₁₀) มีสูตรโครงสร้างได้ 2 แบบ ดังนี้



อัลเคนที่มีคาร์บอนห้าอะตอม คือ เพนเทน (pentane, C₅H₁₂) สามารถเขียนสูตรโครงสร้างได้ 3 แบบ คือ



ยัลเคนที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกัน (มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากัน) แต่มีสูตรโครงสร้างต่างกัน จะมีสมบัติทางกายภาพ เช่น จุดเดือดต่างกัน ถ้ายิ่งมีกิ่งสาขามากจุดเดือดจะยิ่งต่ำลง ส่วนสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกัน เรียกว่า structural isomer ซึ่งกันและกัน

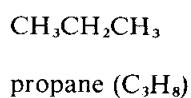
เมื่อสารประกอบมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเพิ่มขึ้น จำนวนไอโซเมอร์ชนิดโครงสร้างก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 จำนวนไอโซเมอร์ชนิดโครงสร้างของอัลเคน

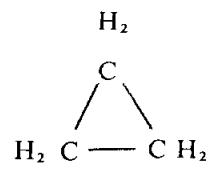
ชื่อตามระบบ IUPAC	สูตรโมเลกุล	จำนวนไอโซเมอร์
Methane	CH_4	1
Ethane	C_2H_6	1
Propane	C_3H_8	1
Butane	C_4H_{10}	2
Pentane	C_5H_{12}	3
Hexane	C_6H_{14}	5
Heptane	C_7H_{16}	9
Octane	C_8H_{18}	18
Nonane	C_9H_{20}	35
Decane	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	75
Undecane	$\text{C}_{11}\text{H}_{24}$	159
Dodecane	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	355
Tridecane	$\text{C}_{13}\text{H}_{28}$	802
Tetradecane	$\text{C}_{14}\text{H}_{30}$	1,858
Pentadecane	$\text{C}_{15}\text{H}_{32}$	4,347
.....
Eicosane	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$	366,319

ไฮโดรอะลีฟิน คือ อัลเคนที่มีโครงสร้างของโมเลกุลต่อ กันเป็นวง มีสูตรทั่วไป C_nH_{2n} จะเห็นได้ว่าไฮโดรอะลีฟินมีจำนวนไฮโดรเจนน้อยกว่าอัลเคน 2 อะตอม (อัลเคนมีสูตรทั่วไป $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$) ดังนี้

อัลเคน



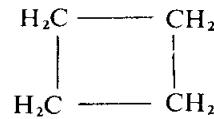
ไซโคลอัลเคน



cyclopropane (C_3H_6)



butane (C_4H_{10})



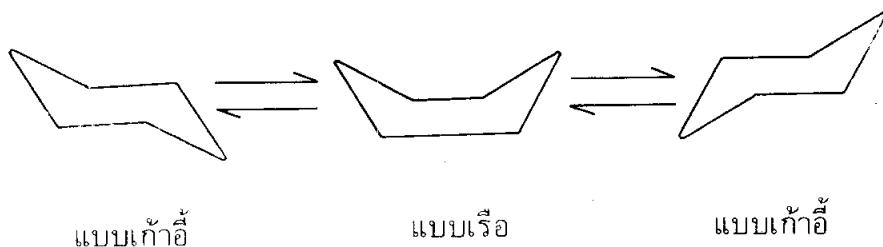
cyclobutane (C_4H_8)

ไซโคลอัลเคน จะมีขนาดวงตั้งแต่ carbbon 3 อะตอมขึ้นไป และสำหรับโครงสร้างของวงที่มีจำนวน carbbon ไม่มากนัก มีดังนี้

ตารางที่ 6.6 ตัวอย่างไซโคลอัลเคนบางชนิด

สูตรโมเลกุล	สูตรโครงสร้าง	สูตรโครงสร้างอย่างง่าย	ชื่อตามระบบ IUPAC
C_3H_6	H_2 C H ₂ C — CH ₂	△	cyclopropane
C_4H_8	$\text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}_2$ $\text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}_2$	□	cyclobutane
C_5H_{10}	H_2 C H ₂ C — CH ₂ H ₂ C — CH ₂	pentagon	cyclopentane
C_6H_{12}	H_2 C H ₂ C — CH ₂ H ₂ C — C — CH ₂ H ₂ C — C — CH ₂	hexagon	cyclohexane

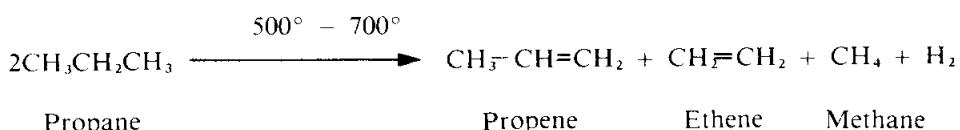
ไซโคลโพรเพน, C_3H_6 , ซึ่งเป็นสารตัวแรก คาร์บอนทั้งสามอะตอมอยู่ในระนาบเดียวกันและควรจะทำมุม 60° กับ สารตัวถัดไปคือไซโคลบิวเทน, C_4H_8 , มุ่งพันธะระหว่างคาร์บอนทั้ง 4 อะตอมไกล์เดียงกับ 90° มุ่งพันธะที่ต่อไปจากมุ่งพันธะปกติของคาร์บอนในไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นตัวซึ่งเท่ากับ 109.5° นี้ จึงทำให้มีเลกุลเหล่านี้ไม่ค่อยเสถียร เพราะไม่เลกุลเมื่อความเครียด (strain)



6.5.2.1 ปฏิกริยาของอัลเคน

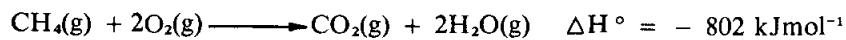
อัลเคนมีสมบัติเชื่อมโยงต่อกับปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่ ทั้งนี้เพราะอัลเคนเป็นสารประกอบที่อ่อนตัวและไม่มีหมุ่งพังก์ชันนัล ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเฉพาะภายในได้สภาวะที่มีพลังงานสูงเท่านั้น เช่นเมื่อใช้ความร้อนหรือแสง และมักจะได้ผลิตผลของปฏิกิริยาหลายชนิด ปฏิกิริยาเป็นแบบแทนที่ชนิดพรีเรดิคัล

1. ปฏิกิริยาไฟโรลิซิส (Pyrolysis) หรือแครกคัทติ้ง (Cracking) เป็นปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิสูง ๆ อัลเคนในเมลิกุลใหญ่ จะเกิดการแตกตัวออก ได้ผลิตผลเป็นของผสมของอัลเคนที่มีขนาดของเมลิกุลเล็กลงและอัลกีน เช่น



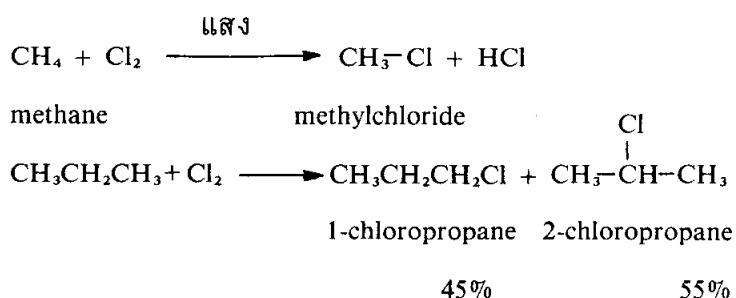
2. ปฏิกริยาการสั่นดาบ

อัลเคนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้การบอนไดออกไซด์, ไฮน้ำ และที่สำคัญที่สุดคือให้ความร้อนออกมากจำนวนมาก ดังนั้นจึงใช้อัลเคนบางตัวเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ประเภทสันดาปภายในได้ เช่น



3. ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยເອົລເຈນ (Halogenation)

อัลเคนทำปฏิกิริยากับไฮโลเจนโดยมีแสงหรือความร้อนที่สูงกว่า 300°C ได้ผลิตผลเป็นของผสมของอัลกิลไฮลีด ไฮโลเจนที่ใช้มักจะเป็นคลอรีนและบอร์มีน เท่านั้น เช่น



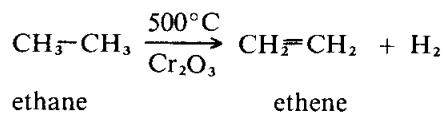
4. ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยหมูนิโตร (Nitration)

ອັລເຄນຈະກຳປັບປຸງກີໂຮຍາກັບ ກຣດໄນຕຣິກທີ່ອຸ່ນຫວູມ 475°C ໄດ້ໃນໂຕຮອລເຄນ (nitroalkane) ເຊັ່ນ



5. ปฏิกิริยาการขจัดไฮโดรเจน (Dehydrogenation)

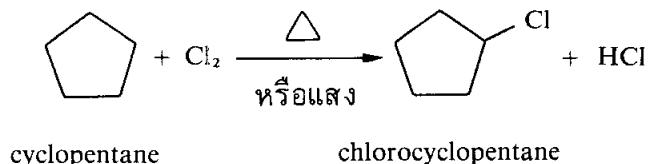
เมื่อใช้อุณหภูมิสูง ๆ และมีค่าต่ำลิสต์ เช่น โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) ด้วย ไอโอดเรเจน ในอัลเคนถูกขัดออกไปเป็นโมเลกุลของไอกะเจน และมีพันธะคู่เกิดขึ้นภายในโมเลกุลได้สารประกอบอัลกิน เช่น



6.5.2.2 ปฏิกริยาของไซโคลอัลเคน

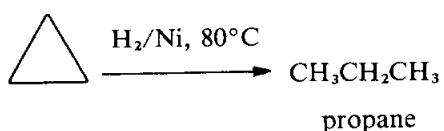
ปฏิกริยาของไซโคลอัลเคนที่มีขนาดวงประภากับด้วยคาร์บอนตั้งแต่ 5 อะตอมขึ้นไป

จะคล้ายคลึงกับปฏิกิริยาของอัลเคน ซึ่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเป็นการแทนที่แบบพรีเรดิคัล เช่น

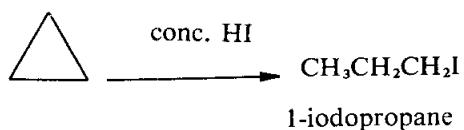


ส่วนไฮโดรคลอโรอัลเคนที่มีวงขนาดเล็กมาก เช่นไฮคลอโรเพน พวgnี้ไม่เลกุลมีความเครียด (strain) สูง ดังนั้นนอกจากจะเกิดปฏิกิริยาแทนที่แล้วยังทำให้วงปีดออกแล้วเกิดปฏิกิริยาเพิ่มเข้าไป ได้ผลิตผลเป็นไฮโตรคาร์บอนที่เป็นโซ่อร์ตรอง ดังนี้

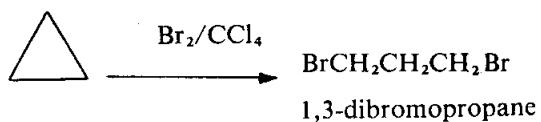
1. ปฏิกิริยากับไฮโตรเจน โดยมีโลหะเป็น cata-lisต์ ที่อุณหภูมิสูง ดังสมการ



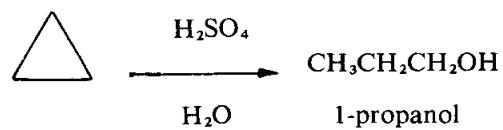
2. ปฏิกิริยากับกรดไฮโตรไฮโอดิกเข้มข้น



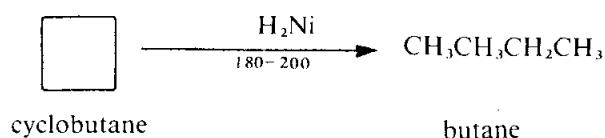
3. ปฏิกิริยากับไบร์มีนในการบอนเตตระคลอไรต์



4. ปฏิกิริยากับสารละลายกรดซัลฟูริกในน้ำ

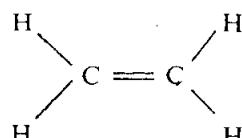


สำหรับไฮโคลบิวเทน ไม่เลกุลมีความเครียดต่ำกว่าไฮโคลโพรเพน ดังนั้นปฏิกิริยาของไฮโคลบิวเทนกับบอร์มีนในการบอนเตตระคลอไฮด์จะไม่เปิดคลอก ส่วนปฏิกิริยาของไฮโคลเจนที่มีโลหะเป็นแคตาลิสต์จะต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าไฮโคลโพรเพนดังนี้

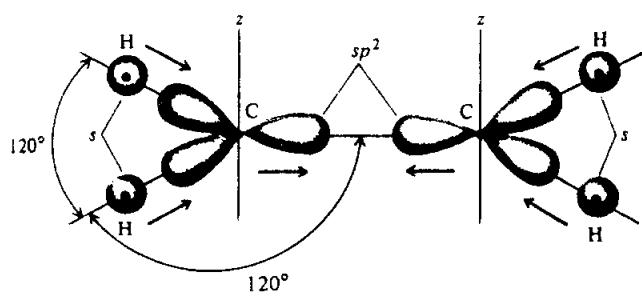


6.5.3 อัลคีน

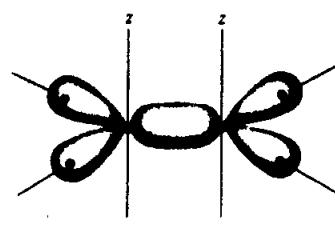
อัลคีนหรือโอเลฟิน (Olefins) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิมตัว โดยอะตอมของคาร์บอนสร้างพันธะคู่ระหว่างการบอนด้วยกันเอง มีสูตรทั่วไปเป็น C_nH_{2n} อัลคีนตัวแรกคือ อีทีน (ethene, C_2H_4) หรือ เอทิลีน (ethylene) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างเป็น $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ หรือ



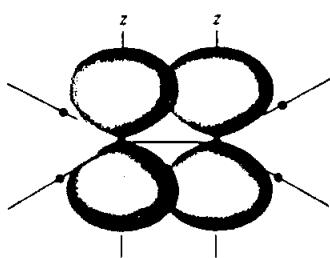
ในโมเลกุลของอีทีน แต่ละอะตอมของคาร์บอนจะใช้ $s - \text{ออร์บิตอล}$ ไฮบริดกับ p_z และ $p_x - \text{ออร์บิตอล}$ เกิด sp^2 ไฮบริดออร์บิตอล จำนวน 3 ออร์บิตอลตั้งรูปที่ 6.4 ก. และเหลือ $p_z - \text{ออร์บิตอล}$ อีก 1 ออร์บิตอลที่ไม่ได้เกิดการไฮบริด $sp^2 - \text{ไฮบริดออร์บิตอล}$ ของคาร์บอน 2 ออร์บิตอลเกิดการซ้อนทับกับ $1s - \text{ออร์บิตอล}$ ของไฮดรเจนเกิดพันธะ C-H ซึ่งเป็นพันธะชนิด σ และ $sp^2 - \text{ไฮบริดออร์บิตอล}$ ที่เหลือของคาร์บอนอะตอมหนึ่งเกิดการซ้อนทับกับ $sp^2 - \text{ไฮบริดออร์บิตอล}$ ของคาร์บอนอีกอะตอมหนึ่งเกิดพันธะ C-C ซึ่งเป็นพันธะชนิด σ ตั้งแสดงในรูป 6.4 ข. ส่วน $p - \text{ออร์บิตอล}$ ที่ไม่ได้เกิดการไฮบริดที่เหลือทั้งสองออร์บิตอลจะเกิดการซ้อนทับกัน ตั้งรูปที่ 6.4 ค. เกิดเป็นพันธะชนิด π ขึ้น ตั้งรูปที่ 6.4 จ. ดังนั้นพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนทั้งสองอะตอมนั้นจึงเป็นพันธะชนิด σ หนึ่งพันธะ และชนิด π หนึ่งพันธะ และรูปทรงเรขาคณิตของโมเลกุลอีทีนจะมีอะตอมทั้ง 6 อยู่ในระนาบเดียวกัน และมุมพันธะของคาร์บอนใกล้เคียง 120°C (สำหรับความกระจ่างชัดของพันธะชนิด σ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.4 ค. และ จ.)



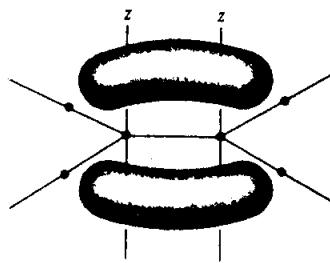
(II)



(III)



(IV)



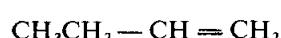
(V)

{ *σ* bonds not shown }

ตารางที่ 6.7 ตัวอย่างอัลกีนบางชนิด

สูตร โมเลกุล	สูตรโครงสร้าง	ชื่อ	จุด หลอมเหลว	จุดเดือด
C ₂ H ₄	CH ₂ =CH ₂	Ethene (IUPAC), ethylene (common)	-169	-104
C ₃ H ₆	CH ₂ =CH-CH ₃	Propene (IUPAC), propylene (common)	-185	-48
C ₄ H ₈	CH ₂ =CH-CH ₂ -CH ₃	1-Butene (IUPAC)	-130	-6
C ₄ H ₈		cis-2-Butene (IUPAC)	-139	4
C ₄ H ₈		trans-2-Butene (IUPAC)	-106	1
C ₄ H ₈		2-Methylpropene (IUPAC)	-104	7

บิวทีน (butene, C₄H₈) มีไอโซเมอร์ชนิดโครงสร้างได้ 3 ไอโซเมอร์ ดังนี้

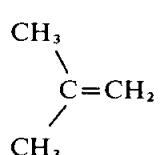


1-butene

(b.p. = -6°C)



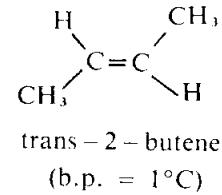
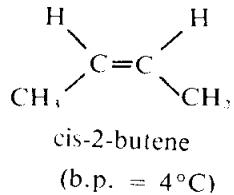
2-butene



2-methyl propene

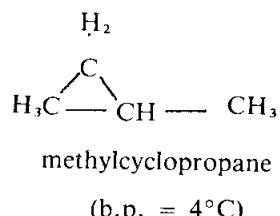
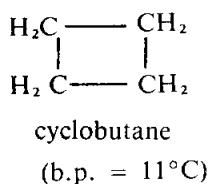
(b.p. = -7°C)

นอกจากนี้อัลกีนยังมี ไอโซเมอร์ชนิดรูปทรงเรขาคณิต (geometrical isomer) ได้อีกด้วย ทั้งนี้ เพราะจะต้องมีการบอนไม่สามารถหมุนได้รอบพันธะคู่ที่อุณหภูมิปกติ ดังนั้น 2-butene จึงสามารถเขียนสูตรโครงสร้างได้เป็น 2 แบบ คือ



(cis- ใช้น้ำหน้าชื่อสารประกอบที่อะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่เหมือนกันอยู่ด้านเดียว กันของพันธะคู่ และ trans- ใช้น้ำหน้าชื่อสารประกอบที่อะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่เหมือนกัน อยู่คนละด้านกันของพันธะคู่)

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสูตรโมเลกุลเป็น C_nH_8 นอกจากจะมีโครงสร้างเป็นอัลกีนทั้ง 4 แบบดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีโครงสร้างเป็นไฮโคลอัลเคนได้อีก 2 แบบ ทั้งนี้ เพราะอัลกีนและไฮโคลอัลเคนมีสูตรทั่วไปเช่นเดียวกัน คือ C_nH_{2n}

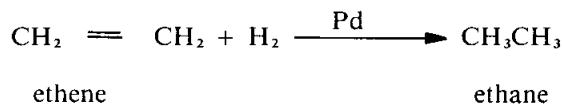


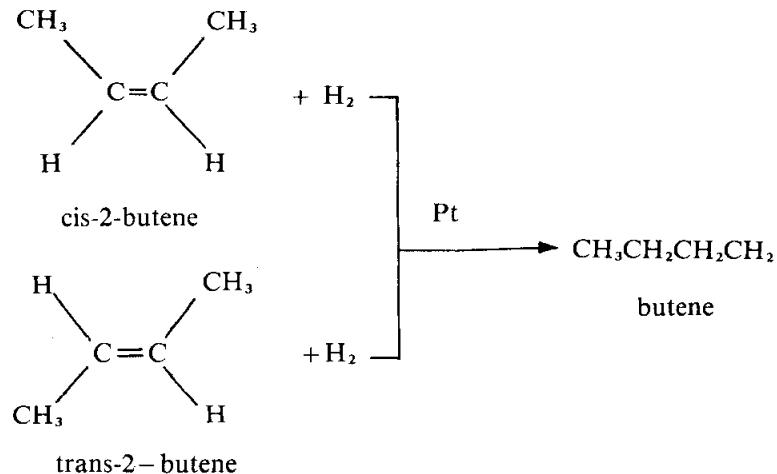
6.5.3.1 ปฏิกริยาของอัลกีน

เนื่องจากอัลกีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิมตัว จึงเกิดปฏิกิริยาแบบเพิ่มเข้าไปได้ง่ายตรงพันธะคู่ ดังนี้

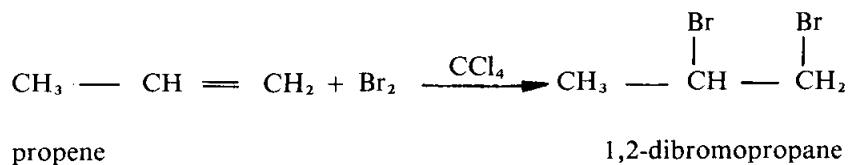
1. ปฏิกริยาการเพิ่มไฮโดรเจน

อัลกีนทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไดเมื่อมีโลหะเป็นแคตาลิสต์ เช่น Pt (แพลตินัม), Pd (แพลแพเดียม) หรือ Ni (นิกเกิล) ดังสมการ





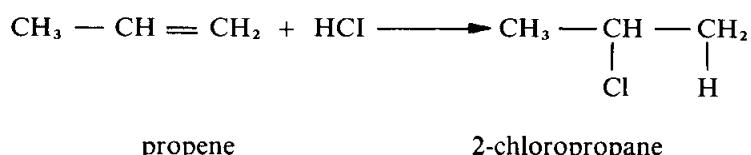
2. ปฏิกริยาการเพิ่มเอโลเจน อัลคีนทำปฏิกริยากับเอโลเจน เช่น บอร์บิน หรือ คลอร์วิน ในตัวกำลังลาย เช่นการบอนเตตระคลอไรด์ ณ อุณหภูมิห้อง ดังสมการ



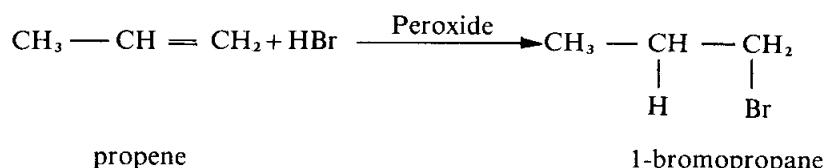
3. ปฏิกริยาการเพิ่มไฮโดรเจนไฮไลด์ อัลกีนทำปฏิกริยากับไฮโดรเจนไฮไลด์ “ไดอัลกิลไฮไลด์ ดังสมการ



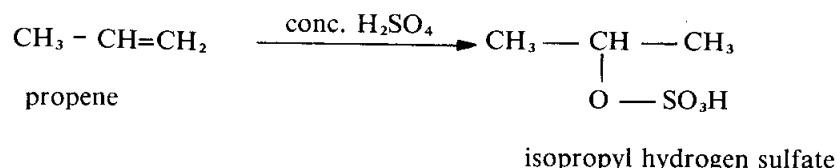
ในการนี้ที่อัลคีนมีโครงสร้างไม่สมมาตร โดยที่คาร์บอนทั้งสองอะตอมตรงพันธะกู่มีไฮโดรเจน kakeneoyu'ไม่เท่ากัน การเพิ่มไฮโดรเจนเข้าไปให้แก่อัลคีนจะเป็นไปตามกฎของมาრ์คอฟนิคอฟ (Markovnikov's rule) คืออ่อนนุวากจะเพิ่มเข้าที่คาร์บอนที่มีไฮโดรเจนมากกว่า และอ่อนลบจะเพิ่มเข้าที่คาร์บอนที่มีไฮโดรเจนน้อยกว่า ดังสมการ



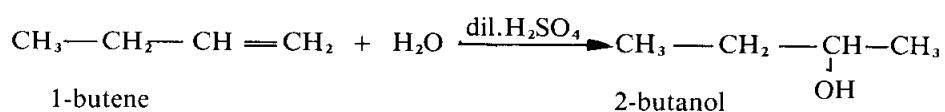
4. ปฏิกริยารเพิ่มไฮโดรเจนบอร์ไนต์ อัลกีนทำปฏิกริยา กับไฮโดรเจนบอร์ไนต์ โดยมีพวกลเปอร์ออกไซด์อยู่ด้วย จะเกิดปฏิกริยารเพิ่มเข้าที่ไม่เป็นไปตามกฎของมาร์คอฟนิกอฟ แต่ได้ผลเป็นตรงกันข้ามกับกฎของมาร์คอฟนิกอฟ ดังสมการ



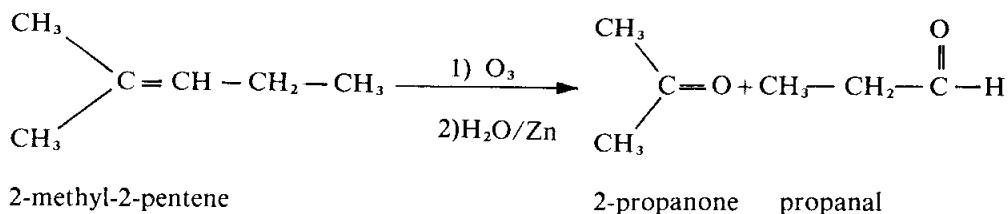
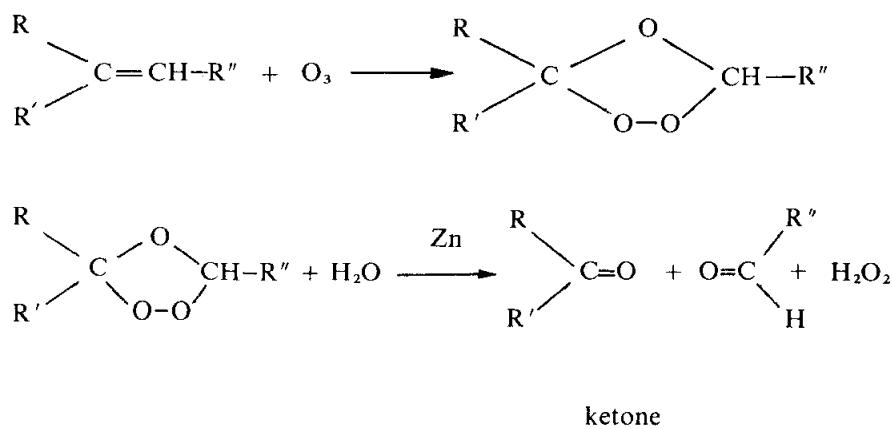
5. ปฏิกริยาการเพิ่มกรดซัลฟูริก อัลกีนทำปฏิกริยากับกรดซัลฟูริกเข้มข้นที่เย็นจะได้ผลิตผลของปฏิกริยาเป็นอัลคินไฮโดรเจนซัลเฟต และถ้าเป็นอัลกีนที่ไม่สมมาตรปฏิกริยาการเพิ่มกรดซัลฟูริกให้แก่อัลคีนก็จะเป็นไปตามกฎของมาร์คอฟนิคອฟ ดังสมการ



6. ปฏิกริยาการเพิ่มน้ำ อัลกีนทำปฏิกริยากับน้ำ โดยมีกรดแก่อุ่นด้วย และถ้าเป็นอัลกีนมีความสามารถปฏิกริยาการเพิ่มน้ำจะเป็นไปตามกฎของมาร์คอพนิคคพ ดังสมการ

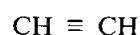


7. ปฏิกิริยาโอโซโนลิซิส (ozonolysis) เป็นปฏิกิริยาการแตกหักของอัลคีน โดยเกิดปฏิกิริยาขึ้น 2 ขั้น ขั้นแรกเป็นปฏิกิริยาการเพิ่มโอโซนเข้าที่พันธะคู่ของคาร์บอนได้อโซไนด์ ขั้นที่สองเป็นปฏิกิริยาไฮโดรลิซของโอโซไนด์ โดยมีสังกะสีอยู่ด้วย ได้อัลเดไฮด์ซึ่งถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นกรดคาร์บอชิลิกหรือคิโตน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสูตรโครงสร้างของอัลคีน ดังสมการ



6.5.4 อัลไคన์

อัลไคน์ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิมตัว โดยอะตอมของкар์บอนสร้างพันธะสามระหว่างкар์บอนด้วยกัน มีสูตรทั่วไปเป็น C_nH_{2n-2} อัลไคน์ตัวแรกคืออีไทน์ (ethyne, C_2H_4) หรือ อะเซทิลีน (acetylene) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างเป็น



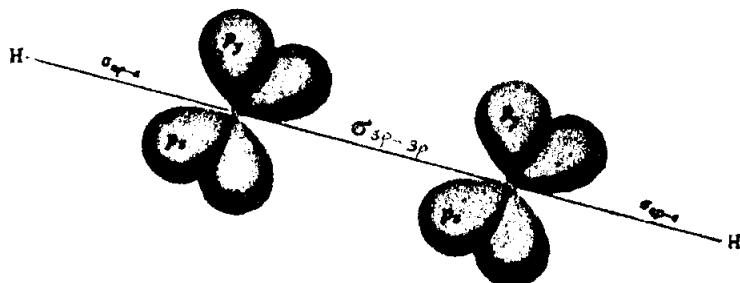
ethyne

(acetylene)

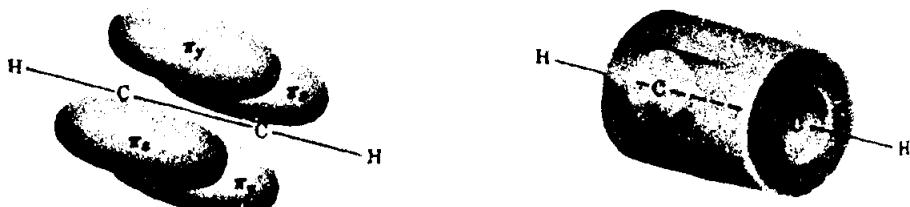
ในโมเลกุลของอีไทน์ แต่ละอะตอมкар์บอนจะใช้ s -ออร์บิทอลไฮบริดกับ p_x -ออร์บิทอล เกิดเป็น sp^2 -ไฮบริดออร์บิทอล จำนวน 2 ออร์บิทอลและเหลือ p_y - p_z - ออร์บิทอล

บิตรอลีก 2 ออร์บิตอล ที่ไม่ได้เกิดการไฮบริด เมื่อ sp -ไฮบริดออร์บิตรอลของแต่ละคาร์บอนมาซ้อนทับกัน เกิดพันธะ $C - C$ ซึ่งเป็นพันธะชนิด σ และ sp -ไฮบริดออร์บิตรอลที่เหลือในแต่ละคาร์บอนซ้อนทับกับ s -ออร์บิตรอลของอะตอมของไฮโดรเจน เกิดเป็น $C-H$ ซึ่งเป็นพันธะชนิด σ ส่วน $p_x - p_z$ ออร์บิตรอลที่ไม่ได้เกิดการไฮบริดในแต่ละคาร์บอนจะเข้าซ้อนทับกัน เกิดพันธะชนิด π ขึ้นสองพันธะ ดังรูปที่ 6.5 ดังนั้นพันธะสามารถว่าการบอนทั้งสองอะตอม จึงเป็นพันธะชนิด σ หนึ่งพันธะ และชนิด π สองพันธะ

(ก) σ -Bonds ของ acetylene

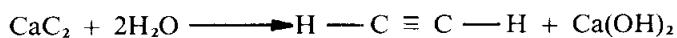


(ก) π -Bonds ของ acetylene



รูปที่ 6.5 แสดงการสร้างพันธะในโมเลกุลของอีไทน์

อะเซทิลินหรืออีไทน์เป็นแก๊สเชื้อเพลิง เมื่อร่วมตัวกับแก๊สออกซิเจนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้การบอนไดออกไซด์ ไนโตร และเปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูงสำหรับใช้เชื้ออมหรือตัดโลหะได นอกจากนี้อะเซทิลินยังใช้เป็นแก๊สสำหรับจุดตะเกียงขายของไฟฟ้ากลางคืนได้อีก และแก๊สนี้เตรียมได้จากปฏิกิริยาของแคลเซียมคาร์บิดกับน้ำ ดังสมการ



calcium

acetylene

carbide

อัลไคน์ตัวถัดไปของอนุกรมอัลไคน์คือ C_2H_2 , C_3H_4 , C_4H_6 ซึ่งมีชื่อ สูตรโครงสร้าง และสมบัติทางกายภาพ ดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ตัวอย่างอัลไคน์บางชนิด

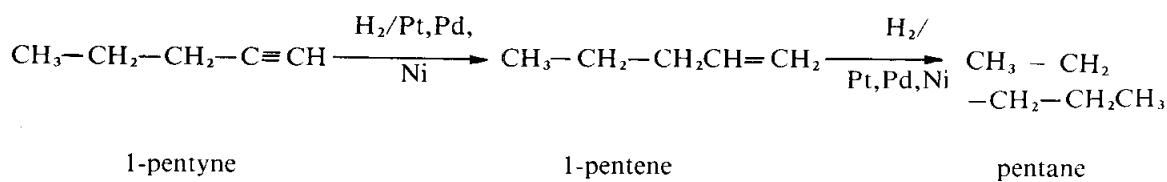
สูตรโมเลกุล	สูตรโครงสร้าง	ชื่อ	จุด หลอม เหลว $^{\circ}C$	จุด เดือด $^{\circ}C$
C_2H_2	$HC \equiv CH$	Ethyne (IUPAC), acetylene (common)	- 81	- 84 (sublime)
C_3H_4	$HC \equiv C - CH_3$	Propyne (IUPAC), methylacetylene (common)	- 101	- 23
C_4H_6	$HC \equiv C - CH_2 - CH_3$	1 – Butyne (IUPAC), ethylacetylene (common)	- 126	8
C_4H_6	$CH_3 - C \equiv C - CH_3$	2 – Butyne (IUPAC), dimethylacetylene (common)	- 32	27

6.5.4.1 ปฏิกิริยาของอัลไคน์

เนื่องจากอัลไคน์มีพันธะชานิด π สองพันธะ ดังนั้น จึงมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากกว่าอัลกีน ซึ่งมีพันธะชานิด π เพียงหนึ่งพันธะ และเกิดปฏิกิริยาแบบเพิ่มเข้าไปได้ง่าย ดังนี้

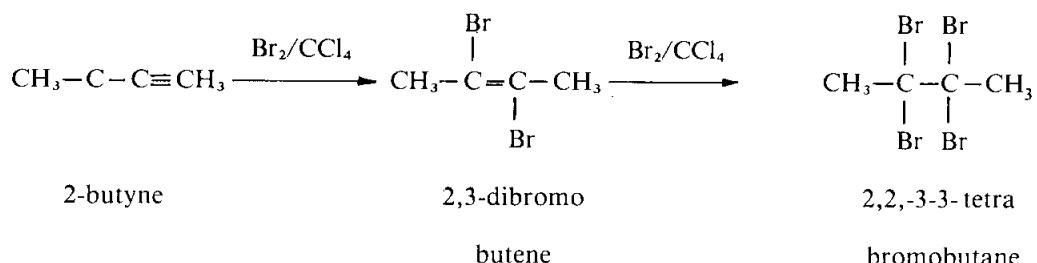
1. ปฏิกิริยาการเพิ่มไฮโดรเจน

อัลไคน์ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเมื่อมีโลหะเป็น cataлизต์ ได้เช่นเดียวกับอัลกีน ดังสมการ



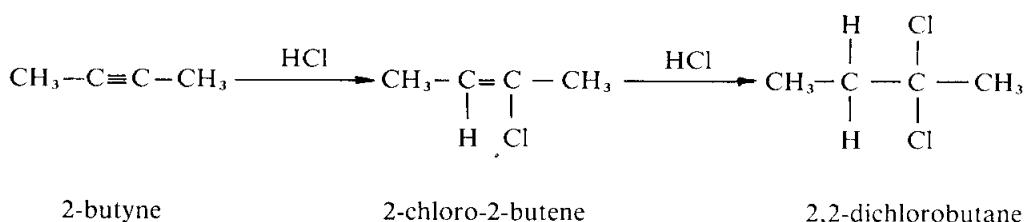
2. ปฏิกริยาการเพิ่มເອົາເຈນ

อัลไคน์ ทำปฏิริยา กับ เอลเจน ได้ผลิตผลเป็นเตตราระ夷ไลด์ ดังสมการ



3. ปฏิกริยาการเพิ่มไฮโดรเจนออกไซด์

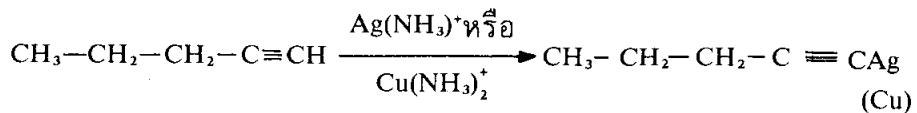
อัลไคโน่ทำปฏิกริยากับไฮโดรเจนไฮไลต์ ได้ดังสมการ



นอกจากนี้ไฮโดรเจนที่เกาะกับการ์บอนของอัลคีนที่มีพันธะคู่และอัลเคนที่มีพันธะเดี่ยว ทั้งนี้ เพราะ การ์บอนนั้นเป็นการ์บอนชนิด sp ไฮบริดออร์บิตอล ซึ่งสามารถถดถึงอิเล็กตรอนได้ดีกว่า การ์บอนชนิด sp^2 และ sp^3 ไฮบริดออร์บิตอลของอัลคีนและอัลเคนตามลำดับ ดังนั้น ไฮโดรเจนดังกล่าวจึงมีสมบัติค่อนข้างจะเป็นกลาง (δ) และจะถูกถดถึงออกไประดับโดยเบส ดังนี้



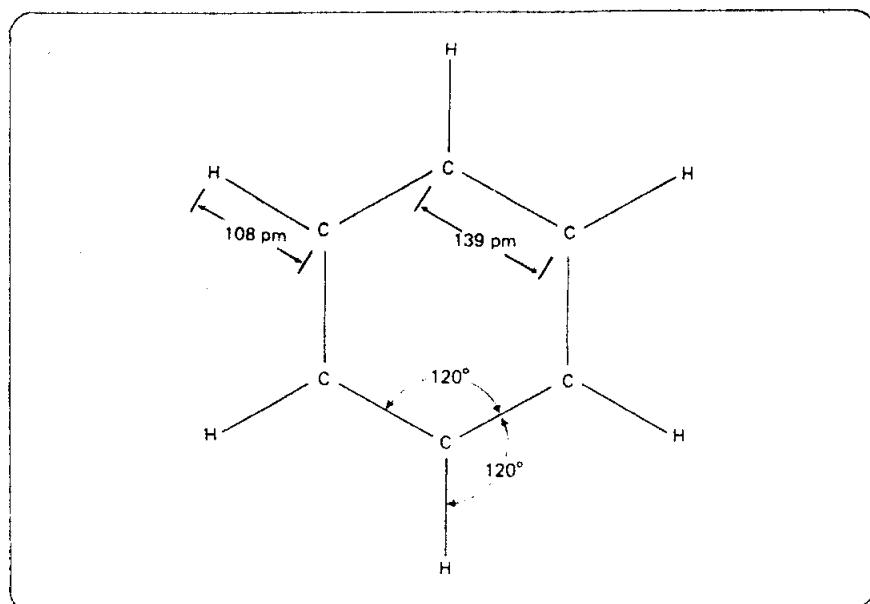
ปฏิกิริยานี้ใช้ในการทดสอบว่าสารประกอบของอัลไคแนนมีพันธะสามของ $C \equiv C$ อยู่ที่ปลายโซ่หรือไม่ โดยให้สารประกอบที่สงสัยนั้นทำปฏิกิริยากับโลหะหนักในเบสถ้ามีพันธะสามของ $C \equiv C$ อยู่ที่ปลายโซ่ เบสจะดึงเอาไฮโดรเจนที่เป็นกรดออกมานั่นเอง อ่อนลบที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับโลหะหนักเป็นเกลือตากกอนลงมา ดังนี้



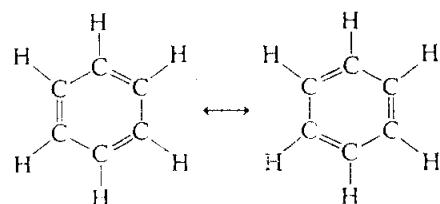
6.5.5 สารประกอบอะโรเมติก (Aromatic compound)

สารประกอบอะโรเมติก เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวงมีจำนวน π อิเล็กตรอนเป็น $4n + 2$ เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็มบวกใด ๆ เช่น 1, 2, 3,..... และอิเล็กตรอนเหล่านี้สามารถดีโลคัลไล泽ได้

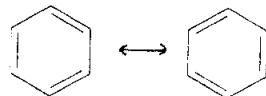
สารประกอบอะโรเมติก ที่เราคุ้นเคยมากที่สุด ได้แก่ บีนซีน (benzene, C_6H_6) ซึ่งคาร์บอนทั้งหกอะตอมต่อกันเป็นหกเหลี่ยม โดยแต่ละอะตอมของคาร์บอนมีไฮโดรเจนเกาะอยู่หนึ่งอะตอม และทุกอะตอมของคาร์บอนอยู่ในระนาบเดียวกัน มีมุกพันธะแต่ละมุกเท่ากับ 120° ความยาวพันธะของ $C - C$ เท่ากับ 139 pm ซึ่งอยู่ระหว่างความยาวพันธะเดียวเท่ากับ 154 pm และความยาวพันธะคู่ ซึ่งเท่ากับ 133 pm ดังรูป



อะตอมของคาร์บอนแต่ละอะตอมในวงใช้ sp^2 – ไฮบริดออร์บิทอล สร้างพันธะชนิด σ กับอะตอมของคาร์บอนที่อยู่ประชิดกันสองอะตอม และกับอะตอมของไฮโดรเจนอีกหนึ่งอะตอม ดังรูปที่ 6.6 ส่วนอิเล็กตรอนใน $2p$ – ออร์บิทอลที่เหลืออีก 1 อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมของคาร์บอนที่ยังไม่ได้ถูกใช้สร้างพันธะ ดังรูปที่ 6.7 สามารถซ่อนหักกับ p – ออร์บิทอลที่อยู่ประชิดกัน 2 – ออร์บิทอล เกิดเป็นพันธะชนิด π อิเล็กตรอนทั้งหมดจะยังคงมีความสัมภาระอยู่ในวงเดียวกัน ดังรูป 6.8 โดยปกติการดีโลคัลไลซ์ของอิเล็กตรอนมีปริมาณกว้างเพียงไร ความเสถียรของโมเลกุลจะยิ่งมากขึ้นเพียงนั้น ฉะนั้นโครงสร้างที่แท้จริงของเบนซินจึงเป็น เรโซแนนซ์ไฮบริด (resonance hybrid) ซึ่งอาจเขียนโครงสร้างทั้วไปได้ดังนี้

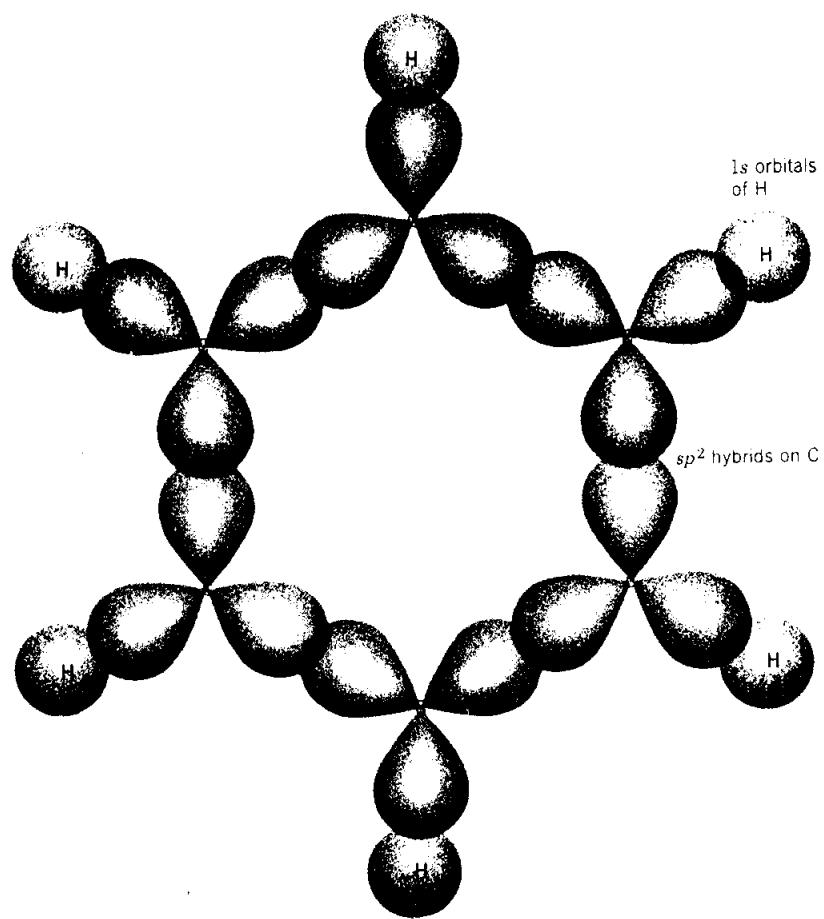


โดยปกติเขียนแทนได้ง่าย ๆ เป็นดังนี้

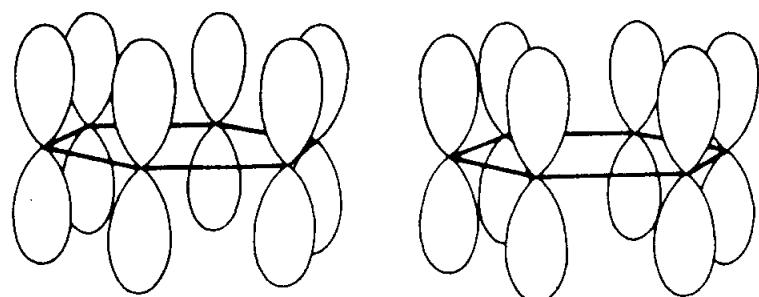


หรือ



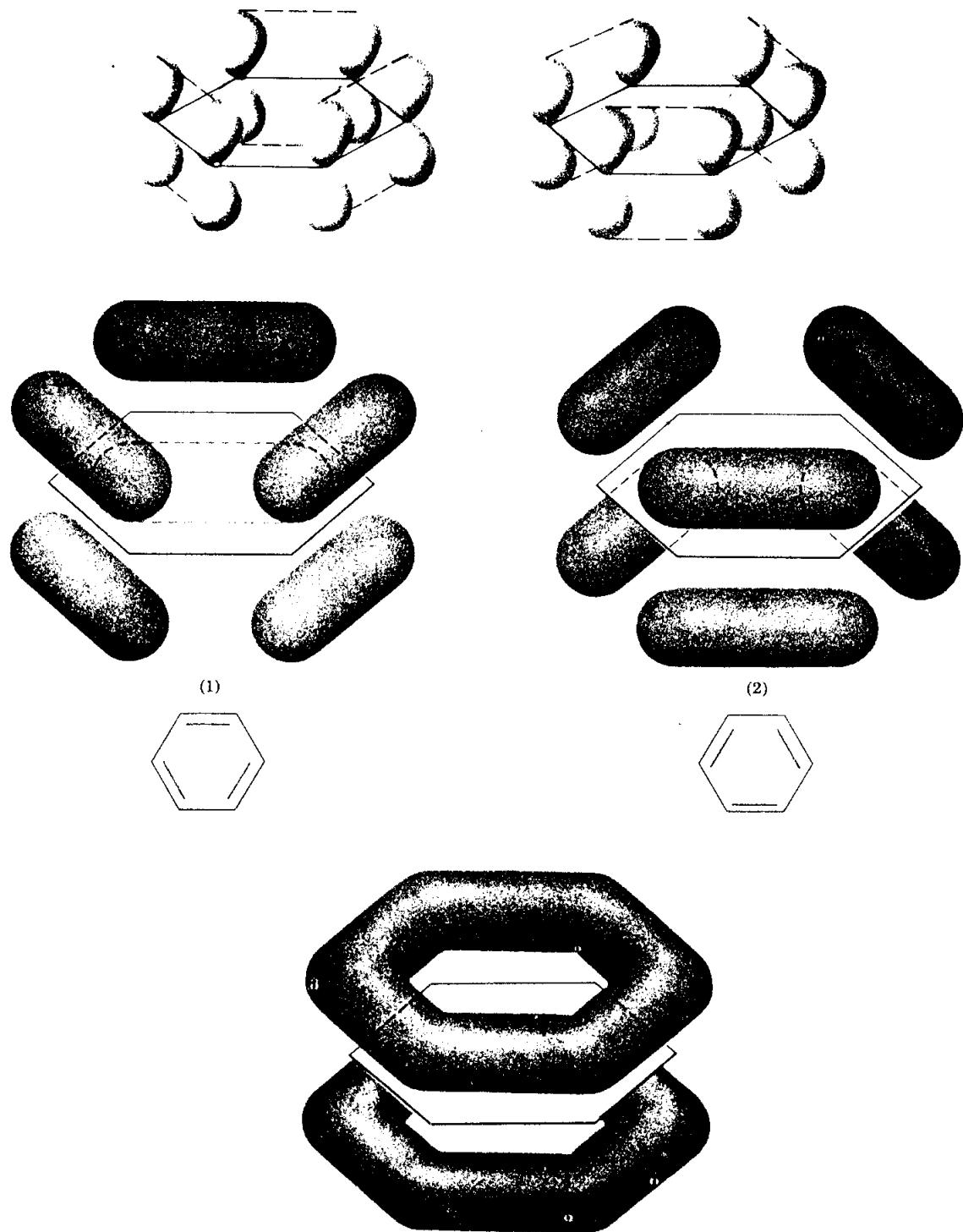


รูปที่ 6.6. โครงสร้างของพันธะชนิด σ ในเบนซีน



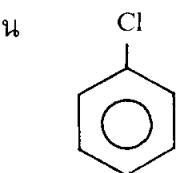
รูปที่ 6.7 อิเล็กตรอนใน p -ออร์บิตอลที่ไม่ได้เกิดไฮบริดส์ของคาร์บอนในเบนซีน

รูปที่ 6.8 การเกิดพันธะชนิด π ของเบนซีน เส้นหนากในวงแสดงถึงพันธะชนิด ๐

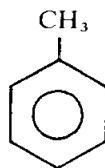


การเรียกชื่อสารประกอบอะโรเมติก

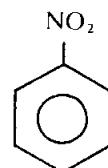
ถ้ามีอะตอมหรือหมู่ของอะตอม 1 หมู่ เกาะอยู่กับเบนซีน การเรียกชื่อ ให้เรียกชื่ออะตอม หรือหมู่ของอะตอมที่เกาะอยู่ไว้ข้างหน้า แล้วลงท้ายด้วยคำว่า benzene ตัวอย่าง เช่น



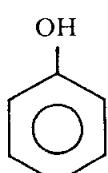
chlorobenzene



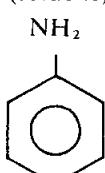
methylbenzene
(toluene)



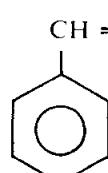
nitrobenzene



hydroxybenzene
(phenol)

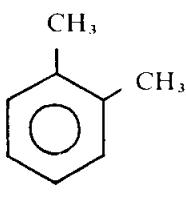


aminobenzene
(aniline)

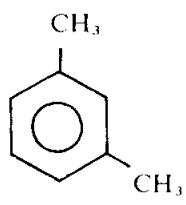


vinylbenzene
(styrene)

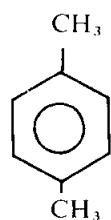
ถ้ามีอะตอมหรือหมู่ของอะตอม 2 หมู่ เกาะอยู่กับเบนซีน การเรียกชื่อจะต้องระบุตำแหน่งที่อะตอมหรือหมู่ของอะตอมเกาะอยู่ในวงของเบนซีนด้วย ตามระบบ IUPAC การเรียกชื่อจะระบุตำแหน่งที่อะตอมหรือหมู่ของอะตอม 2 หมู่ เกาะอยู่ด้วยตัวเลข 1, 2 -, 1, 3 -- และ 1, 4 - นำหน้าตามลำดับ แล้วลงท้ายด้วยคำว่า benzene ส่วนชื่อสามัญ จะใช้คำว่า ortho- (o-) นำหน้า ในกรณีที่อะตอมหรือหมู่ของอะตอมทั้งสองหมู่เกาะอยู่กับอะตอมของอะตอมเกาะอยู่กับอะตอมของคาร์บอนในเบนซีน ใช้คำว่า meta- (m-) นำหน้าในกรณีที่อะตอมหรือหมู่ของอะตอมเกาะอยู่กับอะตอมของคาร์บอนในเบนซีนที่มีคาร์บอนอื่นหนึ่งอะตอมคั่นอยู่ตรงกลาง และใช้คำว่า para-(p-) นำหน้า ในกรณีที่อะตอมหรือหมู่ของอะตอมเกาะอยู่กับอะตอมของคาร์บอน ในเบนซีนที่มีคาร์บอนอื่นสองอะตอมคั่นอยู่ตรงกลาง ตัวอย่างเช่น



1,2-dimethylbenzene
(o-xylene)

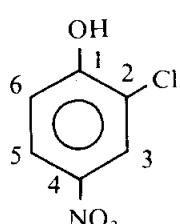


1,3-dimethylbenzene
(m-xylene)

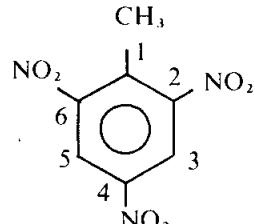


1,4-dimethylbenzene
(p-xylene)

ถ้ามีอะตอมหรือหมู่ของอะตอมตั้งแต่สองหมู่ขึ้นไปเกะอยู่กับเบนซีน การเรียกชื่อนิยมระบุตำแหน่งด้วยตัวเลข โดยเริ่มนับครั้งบนในเบนซีนที่มีอะตอมหรือหมู่ของอะตอมหมู่ที่สองที่เกะอยู่กับเบนซีนมีเลขหน้ายที่สุด แล้วลงท้ายด้วยชื่อหลักชื่อน้อยกับอะตอมหรือหมู่ของอะตอมหมู่ที่สองที่เกะอยู่กับครั้งบนตำแหน่งที่ 1 เช่น

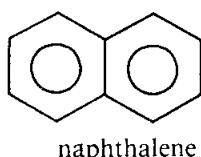


2-chloro 4-nitrophenol

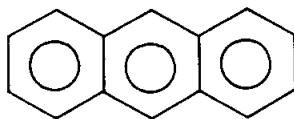


2,4,6-trinitrotoluene
(T.N.T.)

สารประกอบอะโรเมติก อาจมีมากกว่าหนึ่งวงก็ได้ ตัวอย่างเช่น



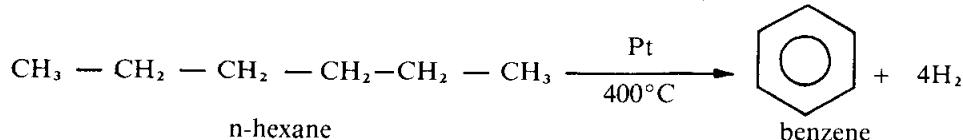
naphthalene



anthracene

สารประกอบอะโรเมติกจำนวนมากได้มาจาก Coal tar และนำมาแยกโดยการกลั่น ลำดับส่วน จะได้สารประกอบอะโรเมติกหลายชนิด เช่น เบนซีน, โกลูอีน, ไซลีน, พีโนล

ฯลฯ เป็นต้น สารประกอบอะโรเมติกอาจเตรียมได้จากสารประกอบอะลิฟติก ได้แก่ อัลเคน เช่น เมื่อให้ความร้อนกับเชกเซนโดยมีโลหะแพลทินัมเป็น cata�isต์ที่ 400°C จะได้บенซีน ดังสมการ



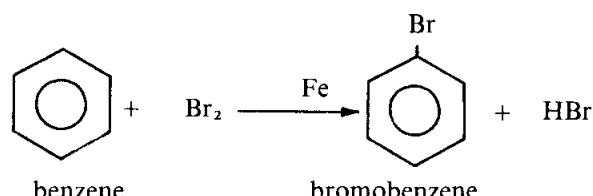
สารประกอบอะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน เป็นสารประกอบที่มีความไม่อิ่มตัวสูง ที่อาจจะหวังได้ว่ามีความว่องไวต่อบัญชีริยาเคมีมาก แต่ความจริงไม่ได้เป็นเช่นนั้นเลย ตัวอย่าง เช่น แม้ว่าการเพิ่มไบโอมีนเข้าไปในปฏิกริยาการเพิ่มเข้าให้กับอัลคีนและอัลไคน์ จะได้ผลเป็นอย่างดีก็ตาม แต่จะไม่ประสบผลในปฏิกริยาเคมีที่คล้ายคลึงกันกับบенซีนเลย อย่างไรก็ตาม จะประสบผลเพียงในปฏิกริยาแทนที่เท่านั้น

6.5.5.1 ปฏิกริยาของบенซีน

ทั้ง ๆ ที่สารประกอบอะโรเมติกไฮโดรคาร์บอนมีความว่องไวต่อบัญชีริยาเคมีต่ำ แต่ก็สามารถหนี่ยวนำทำให้เกิดปฏิกริยาต่าง ๆ ได้ ถ้าในแต่ละกรณีมี cata�isต์เติมลงไป และส่วนใหญ่เป็นปฏิกริยาการแทนที่ ดังนี้

1. ปฏิกริยาการแทนที่ด้วยไบโอมีน

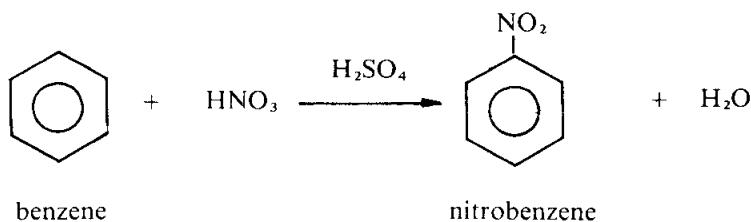
บенซีน ทำปฏิกริยาไบโอมีนโดยมีเหล็กเป็น cata�isต์ได้ไบโรมีน ดังสมการ



ปฏิกริยาบันดาเนนต่อไบโอดีอิก ได้ dibromobenzene และคลอรีนก็เกิดปฏิกริยาได้คล้ายคลึงกัน

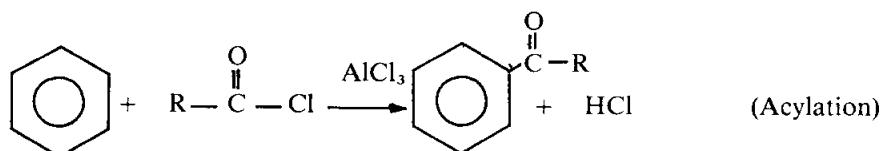
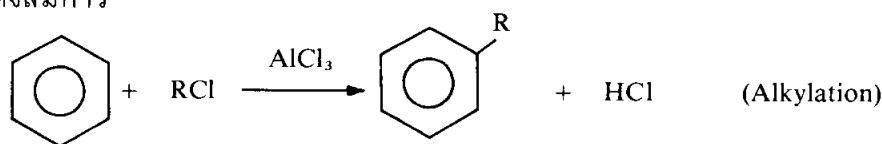
2. ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยหมู่ไนโตร (Nitration)

เบนซีนทำปฏิกิริยากับกรดไนโตริกโดยมีกรดซัลฟูริกเข้ามายื่นอยู่ด้วย จะได้ในโครงเบนซีน ดังสมการ



3. ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยหมู่อัลกิลหรืออะซิล (Alkylation หรือ Acylation)

ปฏิกิริยานี้เรียกว่า ปฏิกิริยาฟรีเดลคราฟท์ส (Friedel-Crafts reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยหมู่อัลกิลหรือหมู่อะซิลในเบนซีน โดยเบนซีนทำปฏิกิริยากับอัลกิล-เอไล์ด หรือ เอซิลเอไล์ด และมีกรดลิวอีส เช่น อะลูมิเนียมคลอไรด์ (AlCl_3) เป็น cataлизเตอร์ ดังสมการ



6.6 แอลกออล์

แอลกออล์ เป็นสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group, OH) เป็นหมู่พังค์ชันนัล มีสูตรทั่วไปเป็น $\text{R}-\text{OH}$

การเรียกชื่อแอลกออล์ ตามระบบ IUPAC จะเรียกชื่อด้วยตัว $-e$ ตัวสุดท้ายของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออก แล้วเติมคำลงท้าย $-ol$ เช่นไปแทน พร้อมทั้งระบุ

ตำแหน่งของ carbonyl ที่มีหมุ่นไช้drogic และอยู่ด้วย ส่วนการเรียกชื่อแบบสามัญให้เรียกชื่อ
หมุ่นคลิกก่อน แล้วต่อท้ายด้วยคำว่า alcohol เช่น



methanol

(methyl alcohol)



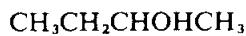
ethanol

(ethyl alcohol)



1-propanol

(n-propyl alcohol)



2-butanol

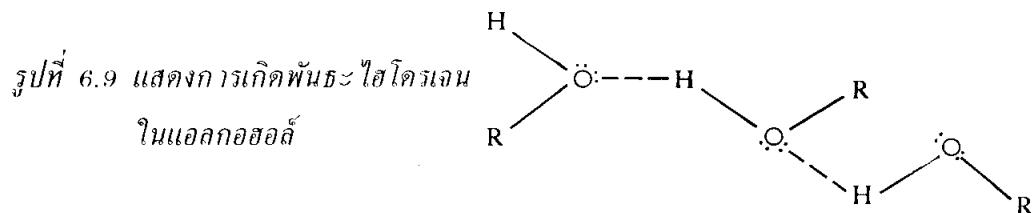
(sec-butyl alcohol)

ตารางที่ 6.9 ใช้ชื่อและสูตรของแอลกอฮอล์บางชนิด ดังนี้

ตารางที่ 6.9 ตัวอย่างแอลกอฮอล์บางชนิด

สูตรโครงสร้าง	ชื่อตามระบบ IUPAC	ชื่อสามัญ	จุดหลอมเหลว °C	จุดเดือด °C
CH_3OH	Methanol	Methyl alcohol	-98	65
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	Ethanol	Ethyl alcohol	-114	78
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	1-Propanol	n-Propyl alcohol	-127	97
$\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$	2-Propanol	Isopropyl alcohol	-90	82
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	1-Butanol	n-Butyl alcohol	-90	117
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHOHCH}_3$	2-Butanol	sec-Butyl alcohol	-115	100
$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{OH}$	2-Methyl-1-propanol	Isobutyl alcohol	-108	108
$(\text{CH}_3)_3\text{COH}$	2-Methyl-2-propanol	tert-butyl alcohol	26	82

จุดเดือดของแอลกอฮอล์เมื่อพิจารณาแล้ว พบว่า สูงกว่าจุดเดือดของอัลเคนที่เป็นบ่อเกิดของแอลกอฮอล์ของมันมาก (ดูตารางที่ 6.4 เปรียบเทียบกับตารางที่ 6.9 ประกอบ) ที่เป็นเช่นนี้อาจอธิบายได้ว่า เพราะแอลกอฮอล์มีโครงสร้างคล้ายน้ำ คือ มีอิเล็กตรอนที่ไม่ใช้สร้างพันธะที่ออกซิเจนอีก 2 คู่ จึงเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจน (H-bond) ขึ้นได้ โดยที่อิเล็กตรอนที่ไม่ได้สร้างพันธะของออกซิเจนคู่หนึ่งของแอลกอฮอล์ไม่เลกุลหนึ่งให้กับไฮโดรเจนของแอลกอฮอล์อีกโมเลกุลหนึ่ง ดังรูปที่ 6.9

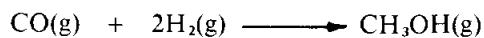


แอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนหนึ่งถึงสามอะตอม ได้แก่ methanol, ethanol และ propanol ละลายน้ำได้ดีมาก และการละลายน้ำจะลดลงเมื่อแอลกอฮอล์มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น ดังรายละเอียดการละลายในตารางที่ 6.10 ดังนี้

ตารางที่ 6.10 การละลายของแอลกอฮอล์บางชนิดในน้ำ

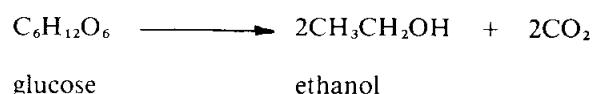
แอลกอฮอล์	สูตร	การละลายที่ 25°C (M)
Methanol	CH ₃ OH	∞
Ethanol	CH ₃ CH ₂ OH	∞
1-Propanol	CH ₃ (CH ₂) ₂ OH	∞
1-Butanol	CH ₃ (CH ₂) ₃ OH	1.1
1-Pentanol	CH ₃ (CH ₂) ₄ OH	0.25
1-Hexanol	CH ₃ (CH ₂) ₅ OH	0.01
1-Heptanol	CH ₃ (CH ₂) ₆ OH	0.0008

เมทานอล (methanol, CH₃OH) บางครั้งเรียกว่า wood alcohol เนื่องจากเมทานอลเตรียมได้จากการกลั่นทำลายไม้ (destructive distillation of wood) โดยการให้ความร้อนกับไม้ในขณะที่ไม่มีอากาศ ปัจจุบันเมทานอลเตรียมได้จากการบ่อนมอนอกไซด์ทำปฏิกิริยา กับไฮโดรเจน โดยมีคัตตาลิสต์ ดังสมการ



เมทานอลใช้ประโยชน์เป็นตัวทำละลายและเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์สารอินทรีย์อื่น ๆ แต่เมทานอลเป็นสารที่มีพิษกินได้โดยไม่มีการรักษา นอกจากนี้ยังทำลายเนื้อยื่นร่างกายและทำให้ตาบอดได้

เอทานอล (ethanol, C₂H₅OH) บางครั้งเรียกว่า grain alcohol และโดยทั่ว ๆ ไปเรียกง่าย ๆ ว่า แอลกอฮอล์ การเตรียมเป็นอุตสาหกรรมเตรียมได้โดยการหมักแบ้งหรือน้ำตาลโดยใช้ออนไซซ์ม ไซเมส (zymase) ในเยสต์ ดังสมการ



เอทานอลจำนวนมากนำไปทำการผลิตเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์

เอทานอลอาจเตรียมได้จากปฏิกิริยาของราชลพูริกับอีทีน ดังสมการ

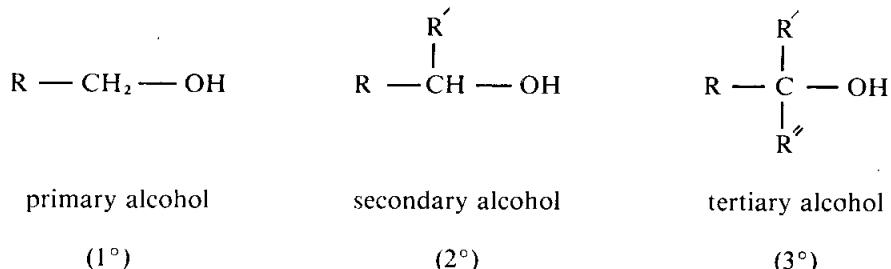


ตามด้วยปฏิกิริยากับน้ำ ดังสมการ

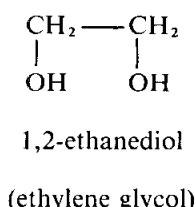


เอทานอลใช้ประโยชน์เป็นตัวทำละลายและเป็นวัตถุดับสำหรับสังเคราะห์สารอินทรีย์ หลายปีมาแล้วในยุโรปและเมื่อเร็ว ๆ นี้ในสหรัฐอเมริกา ได้ใช้เอทานอลผสมลงในน้ำมันเบนซีน (gasoline) เพื่อเป็นการประหยัดเชื้อเพลิง ซึ่งของผสมนี้รู้จักกันดีว่า คือแก๊สโซฮอล (gasohol)

แอลกอฮอล์เบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ แอลกอฮอล์ชนิดปฐมภูมิ (primary alcohol, 1°), แอลกอฮอล์ชนิดที่二 ภูมิ (secondary alcohol, 2°) และแอลกอฮอล์ชนิดที่三 ภูมิ (tertiary alcohol, 3°) ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะอยู่กับอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุล เช่น

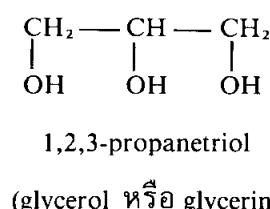


โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์หรือโพลีօอลส์ (Polyhydric alcohol หรือ Polyols) เป็นแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่าหนึ่งหมู่ขึ้นไปในโมเลกุล ตัวอย่างของ diol (แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ในโมเลกุล) ได้แก่



เอทิลีนไอกออลละลายน้ำได้ดี และเมื่อละลายน้ำแล้วทำให้จุดเยือกแข็งของน้ำลดต่ำลง จึงใช้เป็นสารแอนติฟรีซ (antifreeze) ในหม้อน้ำรถยนต์สำหรับประเทคหนาว และนอกจากนี้ยังใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์สารอินทรีย์อื่น ๆ อีกด้วย

ตัวอย่างของ triol (แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ในโมเลกุล) ได้แก่ glycerol (glycerin)



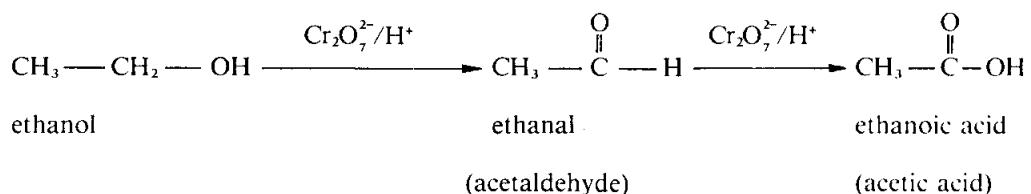
กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุดสาหกรรมการทำสบู่ และนำมาใช้ในเครื่องสำอางค์และครีมที่มียาเป็นส่วนผสม (cosmetic and medicinal creams) ยาซึ้ง (ointments) และโลชัน (lotions)

6.6.1 ปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์

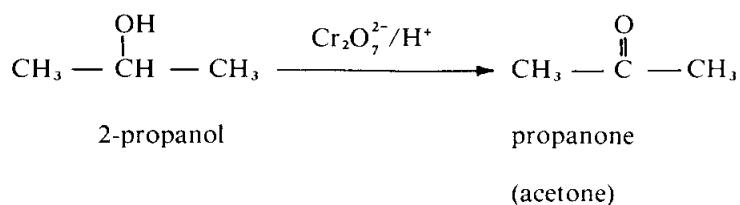
1. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

แอลกอฮอล์ถูกออกซิได้โดยตัวออกซิไดซ์มามาย เช่น โพแทสเซียม-ไฮดрок咻เมตในสารละลายกรด ผลิตผลที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของแอลกอฮอล์ ดังนี้

ถ้าเป็นแอลกอฮอล์ชนิดปฐมภูมิ จะได้อัลดีไฮด์ ซึ่งถูกออกซิได้ต่อเป็นกรดคาร์บอคซิลิกได้ง่าย



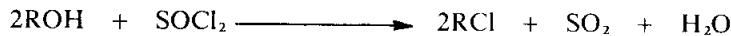
ถ้าเป็นแอลกอฮอล์ชนิดทุติยภูมิ จะได้ต็อกโนนซึ่งถูกออกซิได้ต่อได้ยาก



ถ้าเป็นแอลกอฮอล์ชนิดตติยภูมิ ถูกออกซิได้ยาก แต่ถ้าถูกออกซิได้โดยร่างกาย รูนแรง ก็จะทำลายพันธะของ C – C ในโมเลกุล

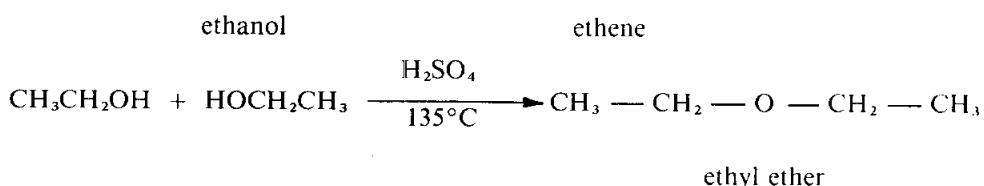
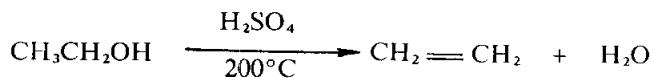
2. ปฏิกิริยาการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล

แอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดเจนหรือฟอสฟอรัส ไตรคลอไรด์ หรือไทโอนีล-คลอไรด์ จะได้อัลกิลไฮด์ ดังสมการ



3. ปฏิกิริยาการขัดน้ำ (Dehydration)

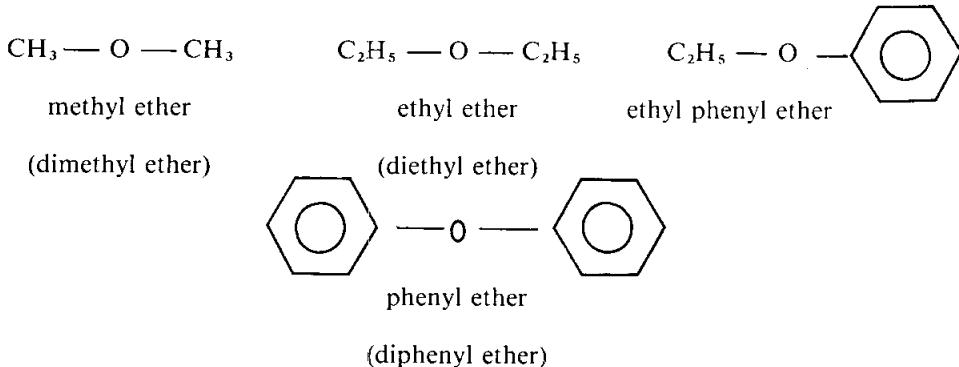
เมื่อให้ความร้อนกับแอลกอฮอล์โดยมีกรดซัลฟูริกอยู่ด้วย โมเลกุลของน้ำจะถูกยึดจัดออกมาก็ได้อัลกีน หรืออีเทอร์ ซึ่งแล้วแต่คุณภาพมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ดังนี้



6.7 อีเทอร์ (Ethers)

อีเทอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรทั่วไป เป็น $R - O - R'$ หรือ $R - O - Ar$ หรือ $Ar - O - Ar$

การเรียกชื่อเอท erm โดยปกติไม่นิยมเรียกชื่อตามระบบ IUPAC แต่นิยมเรียกชื่อสามัญโดยจะเรียกชื่อหมู่อัลคลิ หรือ หมู่เออริลที่เก้าอยู่กับออกซิเจน แล้วลงท้ายด้วยคำว่า -ether และถ้าหมู่อัลคลิหรือหมู่เออริลที่เก้าอยู่กับออกซิเจนเหมือนกันทั้ง 2 หมู่ จะเรียกชื่อหมู่อัลคลิหรือเออริลนั้นโดยไม่นิยมใช้คำนำหน้าว่า -di เช่น



ตารางที่ 6.11 ตัวอย่างอีเทอร์บางชนิด

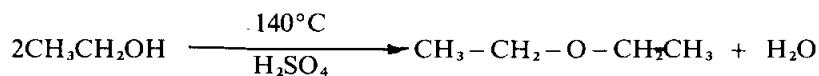
สูตรโครงสร้าง	ชื่อตามระบบ IUAPC	ชื่อสามัญ	จุดก�อม เหลว °C	จุด เดือด °C
$\text{CH}_3 - \text{O} - \text{CH}_3$	methoxymethane	methyl ether	- 142	- 25
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	ethoxyethane	ethyl ether	- 116	35
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{O} + \text{CH}_3$	methoxyethane	ethyl methyl ether	-	11
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 - \text{O} - \text{CH}_3$	1-methoxypropane	methyl propyl ether	-	39

อีเทอร์ มีจุดเดือดต่ำกว่าและระเหยง่ายกว่า แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียง กัน อีเทอร์เป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารประกอบอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

methyl ether เป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้อง ใช้เป็นวัตถุสำหรับให้ความเย็น (refrigerant)

ethyl ether โดยทั่วไปมักจะเรียกว่า ether เป็นของเหลวที่ระเหยง่าย มีจุดเดือด 35°C เป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ที่ไม่ละลายน้ำ ใช้ในการสกัดสารประกอบอินทรีย์ และใช้เป็นยาสลบในการผ่าตัดทั่ว ๆ ไป

อีเทอร์อาจเตรียมได้จากปฏิกิริยาการขัดน้ำของแอลกอฮอล์ซึ่งจะเกิดได้ด้วยพารา-อีเทอร์ที่สมมาตรเท่านั้น ดังสมการ

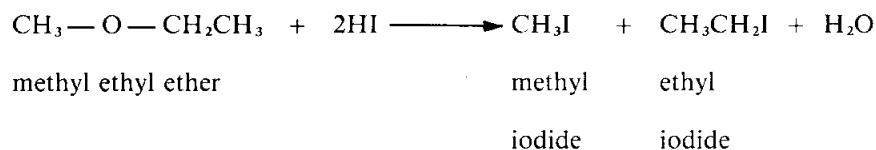


อีเทอร์อาจเตรียมได้จากปฏิกิริยาการแทนที่อัลกิลไฮเดดโดยใช้เดียมอัลคลอกไซด์ (RONa) ดังสมการ



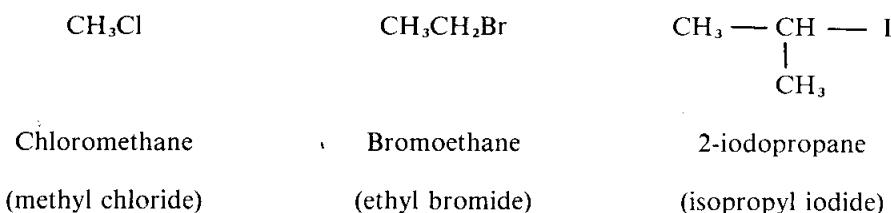
6.7.1 ปฏิกิริยาของอีเทอร์

อีเทอร์มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีน้อยกว่าสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ อีเทอร์เพาใหม่ในอากาศได้ ควรบอนไดออกไซด์และน้ำ อีเทอร์ถูกทำให้แตกหักได้โดยทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรเจนที่แก่ เช่น HI ถ้าใช้กรดมากเกินพอดลิผลที่ได้คืออัลกิเลอไอล์ด์ ดังสมการ



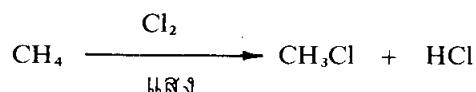
6.8 อัลกิเลอไอล์ด์ (Alkyl halide)

อัลกิเลอไอล์ด เป็นสารประกอบที่มีไฮโลเจน 1 อะตอมเกาะอยู่กับอัลเคน ดังนั้นอัลกิเลอไอล์ด จึงเป็นอนุพันธ์โมโนไฮโลเจน (monohalogen derivative) ของอัลเคน มีสูตรทั่วไปเป็น RX (X คือไฮโลเจน ได้แก่ Cl, Br, I, F) ดังนี้



อัลกิเลอไอล์ดสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

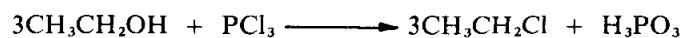
ก) ปฏิกิริยาระหว่างอัลเคนกับไฮโลเจน เมื่อมีแสงหรือที่อุณหภูมิสูง เช่น



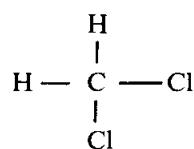
ข) ปฏิกิริยาระหว่างอัลกิลกับไฮโดรเจนไฮเดอไรด์ เช่น



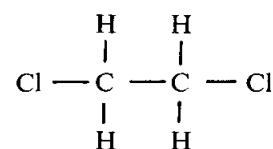
ค) ปฏิกิริยาระหว่างอัลกอฮอล์กับกรดไฮโดรเจน หรือฟอสฟอรัสไตรคลอไรด์ หรือไทโอนีคลอไรด์ เช่น



ถ้ามีไฮโลเจน 2 อะตอมเกาะอยู่ในโมเลกุล เรียกว่า อนุพันธ์ไดไฮโลเจน (dihalogen derivative) ของอัลเคน เช่น

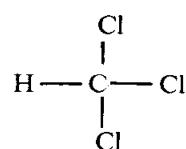


dichloromethane



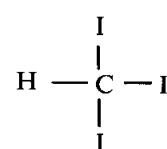
1,2-dichloroethane
(methylene chloride)

ถ้ามีไฮโลเจน 3 อะตอมเกาะอยู่ในโมเลกุล เรียกว่า อนุพันธ์ไตรไฮโลเจน (trihalogen derivative) ของอัลเคน เช่น



trichloromethane

(chloroform)

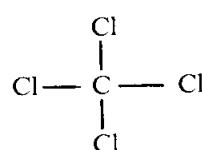


triiodomethane

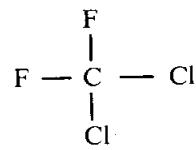
(iodoform)

คลอโรฟอร์ม เป็นของเหลวไม่มีสี ไม่ละลายน้ำ และเป็นตัวทำละลายที่ดี สำหรับไขมัน และสารอินทรีย์บางชนิด เตรียมได้จากปฏิกิริยาคลอริเนชันของเมทาน คลอโรฟอร์มเดิมเคยใช้เป็นยาสลบ แต่ปัจจุบันไม่นิยมใช้ เพราะถ้าใช้เป็นเวลานาน จะเกิดเป็นอันตราย

ถ้ามีไฮโลเจนมากกว่า 3 อะตอมเกะอยู่ในโมเลกุล เรียกว่า อนุพันธ์โพลีไฮโลเจน (polyhalogen derivative) ของอัลเดน เช่น



tetrachloromethane
(carbon tetrachloride)



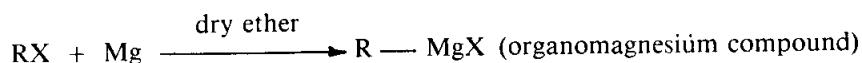
dichloro difluoromethane
(freon-12)

การบอนเตตราคลอไรด์ เป็นของเหลวไม่มีสี ไม่ละลายน้ำ เป็นตัวทำละลายที่ดี เช่นเดียวกับคลอโรฟอร์ม และเตรียมได้จากปฏิกิริยาคลอริเนชัน

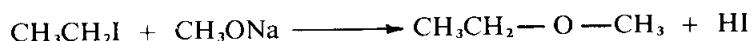
6.8.1 ปฏิกิริยาของอัลคลิเอไอล์

1. ปฏิกิริยาการเกิดตัวเข้าทำปฏิกิริยากรินยาร์ด (Grignard reagent)

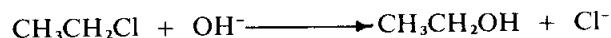
อัลคลิเอไอล์ ทำปฏิกิริยากับโลหะแมกนีเซียมในอีเทอร์ที่ปราศจากน้ำ จะได้ตัวเข้าทำปฏิกิริยากรินยาร์ด ซึ่งเป็นสารประกอบออร์กาโนแมกนีเซียม (organomagnesium compound) ดังสมการ



2. ปฏิกิริยาการเกิดอีเทอร์ อัลคลิเอไอล์ทำปฏิกิริยากับโซเดียมอัลคลอกาไฮด์ (sodium alkoxide, RONa) ได้อีเทอร์ ดังสมการ

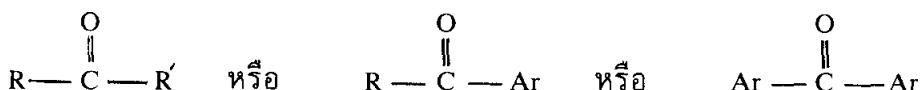


3. ปฏิกิริยาการเกิดแอลกอฮอล์ อัลคลิเอไอล์ทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์อ่อนๆ ได้แอลกอฮอล์ ดังสมการ

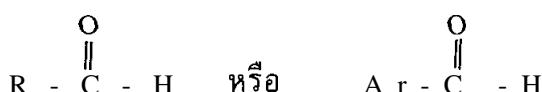


๘.๙ สารประกอบคาร์บอนีล (Carbonyl compound)

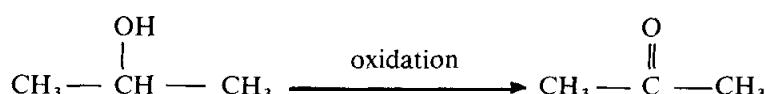
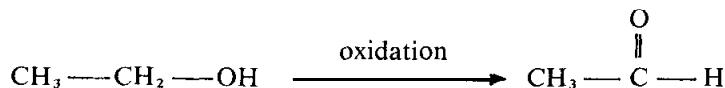
สารประกอบคาร์บอนีลได้แก่อัลดีไฮด์และคีโตน์ซึ่งมีหมู่คาร์บอนีล (carbonyl-group, $\text{--C}=\text{O}$) เป็นหมู่พังก์ชันนั้น ถ้าโครงสร้างของหมู่คาร์บอนีลจะเกี่ยวอยู่กับสารอินทรีย์สองหมู่ สารประกอบนั้นเป็นคีโตน์ มีสูตรทั่วไปเป็นดังนี้



ถ้าโครงสร้างของหมู่คาร์บอนีลจะเกี่ยวอยู่กับสารอินทรีย์หนึ่งหมู่และไฮโดรเจนหนึ่งอะตอม (ยกเว้น formaldehyde, $\text{H} - \text{C} = \text{O} - \text{H}$ ซึ่งโครงสร้างของหมู่คาร์บอนีลจะเกี่ยวอยู่กับไฮโดรเจนทั้งสองอะตอม) สารประกอบนั้นเป็นอัลดีไฮด์ มีสูตรทั่วไปเป็นดังนี้



อัลดีไฮด์และคีโตน์ อาจเตรียมได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลกอฮอล์ ถ้าเป็นแอลกอฮอล์ชนิดปฐมภูมิ (primary alcohol) จะได้อัลดีไฮด์ และถ้าเป็นแอลกอฮอล์ชนิดทุติภูมิ (secondary alcohol) จะได้คีโตน์ ดังตัวอย่างในสมการข้างล่างนี้



การเรียกชื่อของอัลดีไฮด์และคีโตน์

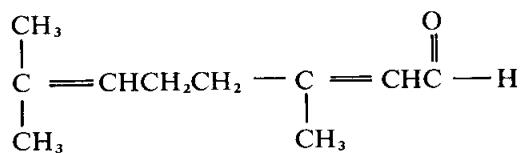
การเรียกชื่อของอัลดีไฮด์ตามระบบ IUPAC จะเรียกชื่อโดยตัด $-e$ ตัวสุดท้ายของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกแล้วเพิ่มคำลงท้ายด้วย $-al$ เช่น HCHO , methanal, CH_3CHO , ethanal เป็นต้น ส่วนการเรียกชื่อสามัญสำหรับอัลดีไฮด์ ที่มีจำนวนคาร์บอนไม่มากจะเรียกชื่อตามชื่อกรดคาร์บอฟิลิกที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน โดยตัดคำว่า

-ic acid ออก แล้วเติมคำสั่งท้าย -aldehyde เข้าไปแทน เช่น HCHO, formaldehyde ซึ่งมีจำนวนcarboxonเท่ากับ HCOOH, formic acid และ CH₃CHO, acetaldehyde ซึ่งมีจำนวนcarboxonเท่ากับ CH₃COOH, acetic acid

การเรียกชื่อและสมบัติของอัลดีไฮด์บางตัวแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 6.12 ดังนี้

ตารางที่ 6.12 ตัวอย่างอัลดีไฮด์บางชนิด

สูตรโครงสร้าง	ชื่อตามระบบ IUPAC	ชื่อสามัญ	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)
HCHO	methanal	formaldehyde	-117	-19
CH ₃ CHO	ethanal	acetaldehyde	-123	21
CH ₃ CH ₂ CHO	propanal	propionaldehyde	-81	49



3,7-dimethyl-2,6-octadienal

(citral)

citral มีกลิ่นเหมือนมะนาว และใช้เป็นเครื่องปรุงและในกลิ่นหอมมะนาว

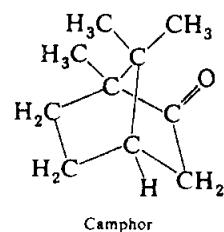
การเรียกชื่อคีโตน ตามระบบ IUPAC จะเรียกชื่อโดยตัด -e ตัวสุดท้ายของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกแล้วเติมคำสั่งท้าย -one และบอกตำแหน่งของหมู่คาร์บอนีล ในการนี้ที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 4 อะตอมขึ้นไป ส่วนการเรียกชื่อสามัญของคีโตนนั้น จะเรียกชื่อหมู่สารประกอบไฮโดรคาร์บอน 2 หมู่ที่เกะอยู่กับหมู่คาร์บอนนีลก่อน แล้วลงท้ายด้วยคำว่า ketone ดังตัวอย่างในตารางที่ 6.13

ตารางที่ 6.13 ตัวอย่างคีโตกนบ่างชนิด

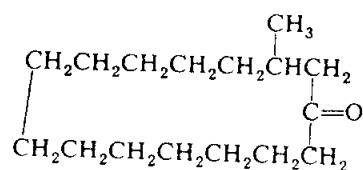
สูตรโครงสร้าง	ชื่อตามระบบ IUPAC	ชื่อสามัญ	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)
CH ₃ COCH ₃	propanone	dimethyl ketone (acetone)	-95	56
CH ₃ CH ₂ COCH ₃	butanone	ethyl methyl ketone	-86	80
CH ₃ CH ₂ COCH ₂ CH ₃	3-pentanone	diethyl ketone	-42	102

คีโตนจำนวนมากพบในธรรมชาติเป็นผลิตผลหรืออินเทอร์มีเดียดในเมตาโบลิซึมของพืชและสัตว์ซึ่งมีกลิ่นหอม เช่น

การบูร (camphor) เป็นคีโตนที่ได้จากต้นการบูร ที่มีอยู่ในแถบอเมริกาใต้และตะวันออก และนำมาใช้เป็นยา



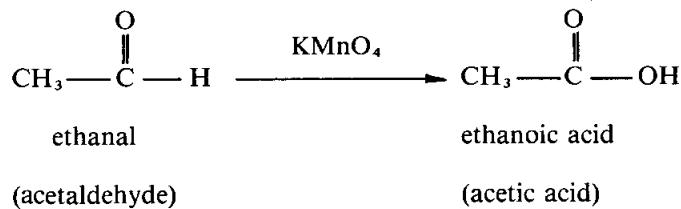
muscone เป็นคีโตนที่ได้รับจากชามด (musk deer) และใช้เป็นน้ำหอม



3-methylcyclopentadecanone (muscone)

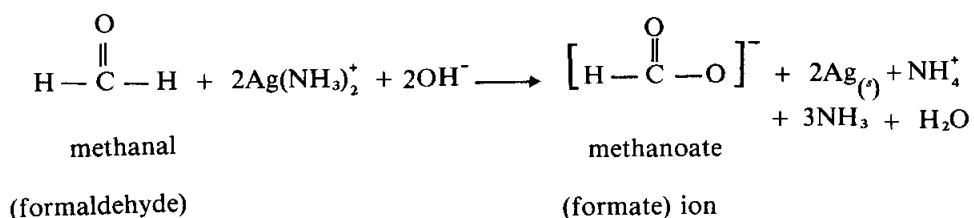
6.9.1 ปฏิกิริยาของอัลดีไฮด์และคีโตน

1. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน อัลดีไฮด์ ถูกออกซิได้เร่ง่าย ได้การบูรออกซิลิก



ปฏิกิริยาออกซิเดชันของอัลดีไฮด์นี้สามารถใช้แยกความแตกต่างจากสารประกอบการบูรอนีลื่นได้ เช่น คีโตนไม่สามารถถูกออกซิได้เร็วเช่นนี้ เป็นต้น

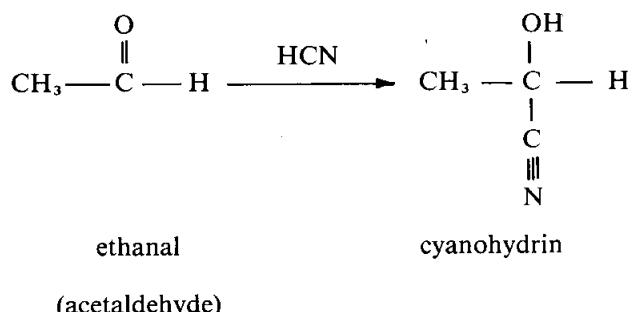
อัลดีไฮด์อาจถูกออกซิได้ด้วยตัวออกซิได้เรืองอย่างอ่อน เช่น ถูกออกซิได้ด้วยตัวเข้าทำปฏิกิริยาทอลเลนส์ (Tollens' reagent) ซึ่งสารละลายประกอบด้วย diammine silver (I) ion, $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$ ในเบส ได้โลหะเงินกา segregate ของแก้วที่สะอาดทำให้เป็นมันวาว (Silver mirror) ใช้เป็นกรรมวิธีทำกระจกส่องหน้า (mirror) แต่คีโตนจะไม่เกิดปฏิกิริยา เช่นนี้

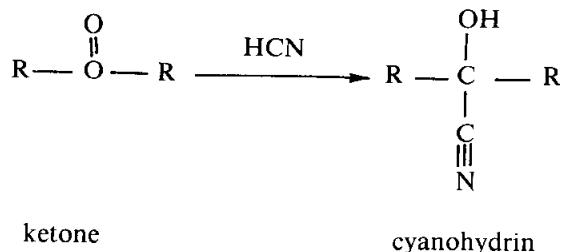


2. ปฏิกิริยาการเพิ่มไฮโดรเจนไซยาไนด์

อัลดีไฮด์และคีโตนทำปฏิกิริยากับ ไฮโดรเจนไซยาไนด์ ได้ไซยาโนไฮดริน

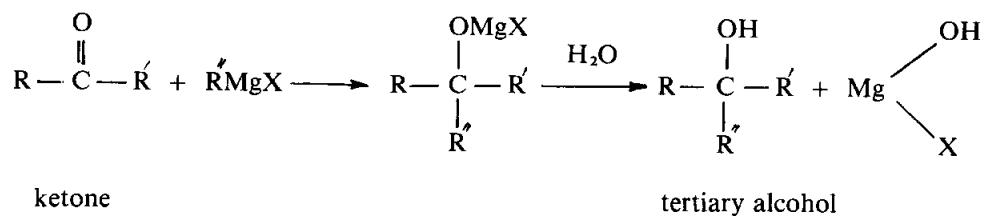
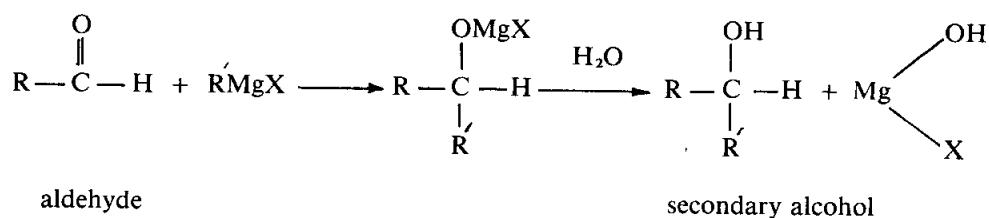
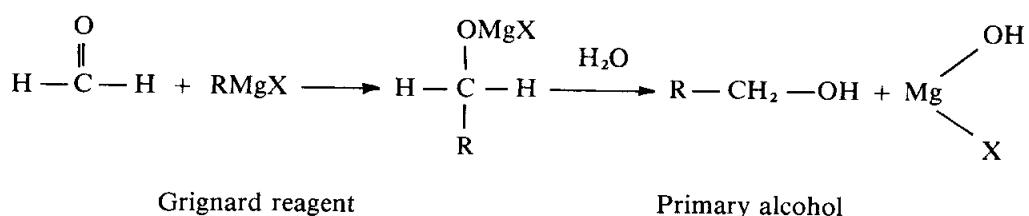
ดังสมการ





3. ปฏิกริยาการเพิ่มเข้าด้วยตัวเข้าทำปฏิกริยากรินยาارد

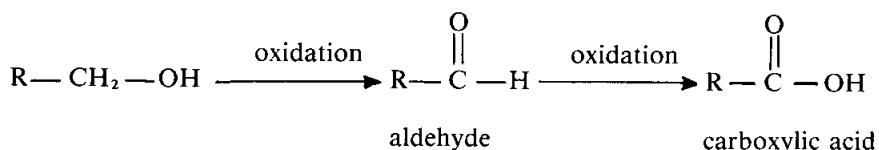
สารประกอบคาร์บอนีลทำปฏิกิริยากับตัวเข้าทำปฏิกิริยากรินยาร์ด (Grignard reagent) และไฮโดรไอล์สจะได้ผลิตผลเป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งอาจจะเป็นแอลกอฮอล์ชนิดปฐมภูมิ ชนิดทุติยภูมิ และชนิดตติยภูมิ (1° , 2° และ 3° แอลกอฮอล์) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารประกอบตั้งต้นของคาร์บอนีลที่ใช้ ดังนี้



6.10 กรดคาร์บอคซิลิก (Carboxylic acid)

กรดคาร์บอคซิลิกเป็นสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอคซิล (carboxyl group, $\text{-C}(=\text{O})\text{-OH}$) เป็นหมู่พังค์ชันนัล มีสูตรทั่วไปเป็น $\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}}-\text{OH}$ หรือ $\text{R}-\text{COOH}$, $\text{Ar}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}}-\text{OH}$ หรือ $\text{Ar}-\text{COOH}$ ถ้ามี -COOH ออยู่ในโมเลกุล 1 หมู่ เรียกว่า กรดโมโนคาร์บอคซิลิก (monocarboxylic acid) ถ้ามี -COOH ออยู่ในโมเลกุล 2 หมู่ เรียกว่า กรดได้คาร์บอคซิลิก (dicarboxylic acid)

กรดคาร์บอคซิลิก อาจเตรียมได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของอัลดีไฮด์ (หรืออาจตั้งต้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลกอฮอล์) ดังนี้

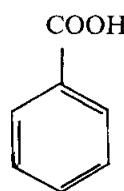


การเรียกชื่อกรดคาร์บอคซิลิก ตามระบบ IUPAC จะเรียกชื่อกรดคาร์บอคซิลิก โดยตัด $-e$ ตัวสุดท้ายของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกเติมคำลงท้ายด้วย $-oic$ กับชื่อของสารประกอบนั้น แล้วเติมคำว่า acid ต่อท้าย เช่น CH_3COOH เรียกว่า ethanoic acid ส่วนชื่อสามัญสำหรับกรดคาร์บอคซิลิกนั้น อาจตั้งชื่อมาจากการแหล่งที่พบกรดนั้น ๆ เช่น formic acid ได้มาจาก formica ในภาษาละติน ซึ่งแปลว่าแมด บางครั้งจึงเรียก formic acid ว่า กระดมด เป็นต้น ชื่อกรดคาร์บอคซิลิกได้แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 6.14 ดังนี้

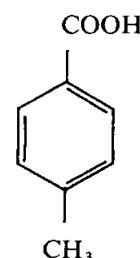
ตารางที่ 6.14 ตัวอย่างการบอกรดคาร์บอชิลิกบางชนิด

สูตรโครงสร้าง	ชื่อตามระบบ IUPAC	ชื่อสามัญ	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	pKa (25°C)
HCOOH	methanoic acid	formic acid	8	101	3.77
CH ₃ COOH	ethanoic acid	acetic acid	17	118	4.74
CH ₃ CH ₂ COOH	propanoic acid	propionic acid	-22	141	4.88
CH ₃ CH ₂ CH ₂ COOH	butanoic acid	butyric acid	-5	163	4.82
CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	octadecanoic acid	stearic acid	69	383	4.85
HOOC-COOH	ethanedioic acid	oxalic acid	189	-	{ 1.27 4.28 }

การเรียกชื่อการบอกรดคาร์บอชิลิกที่มีหมู่คาร์บอชิลิต่อ กับสารประกอบอะโรเมติก นักจะเรียกชื่อตามชื่อสารประกอบอะโรเมติกนั้น ๆ เช่น



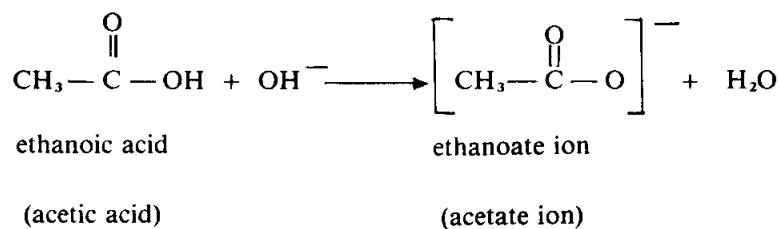
benzoic acid



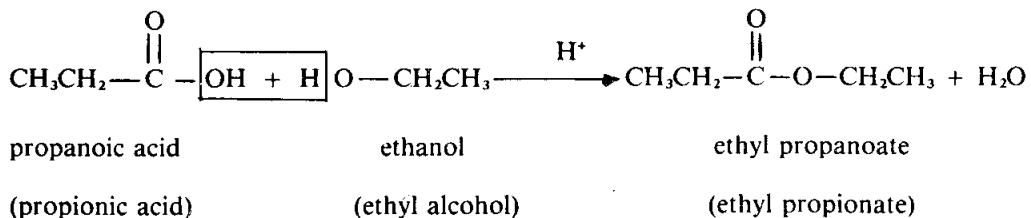
p-methylbenzoic acid
(p-toluic acid)

6.10.1 ปฏิกิริยาของกรดการ์บอชิลิก

1. ปฏิกิริยาของกรดการ์บอชิลิกกับเบส การด่างของชิลิกทำปฏิกิริยากับเบสได้เช่นเดียวกับกรดอนินทรี ดังสมการ



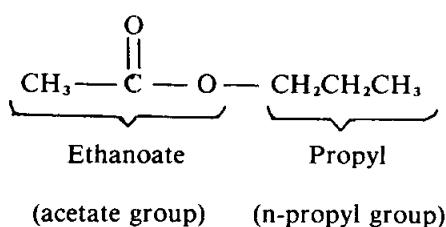
2. ปฏิกิริยาการเกิดเอสเตอร์ (Esterification) การด่างของชิลิกทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เมื่อมีกรดอยู่ด้วย ได้อเอสเตอร์ ดังสมการ



6.11 เอสเตอร์ (Esters)

เอสเตอร์เป็นสารประกอบอินทรีที่มีสูตรทั่วไปเป็น $\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{O}-\text{R}'$ และสามารถสังเคราะห์จากปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์กับการด่างของชิลิกที่มีกรดเป็นค่าต่ำสุดด้วย

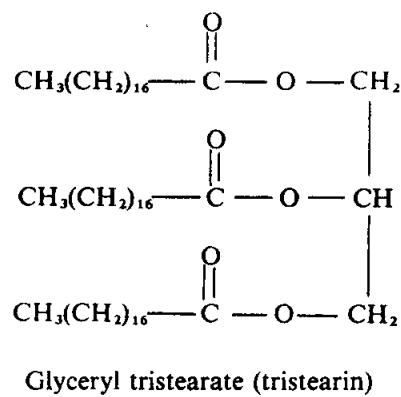
การเรียกชื่ออเอสเตอร์ ให้แบ่งเอสเตอร์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่มาจากการแอลกอฮอล์ ($\text{R}'\text{O}-$) ให้เรียกชื่อตามหมู่อัลกิล และส่วนที่มาจากกรดการ์บอชิลิก ($\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-$) ให้เรียกชื่อตามหมู่การ์บอชิเลต (carboxylate group) โดยการเรียกชื่อตามระบบ IUPAC ให้ตัด -oic acid ท้ายชื่อการด่างของชิลิกออกแล้วเติม -oate เข้าไปแทน ส่วนชื่อสามัญให้ตัด -ic acid ท้ายชื่อการด่างของชิลิกออก แล้วเติม -ate เข้าไปแทน เช่น



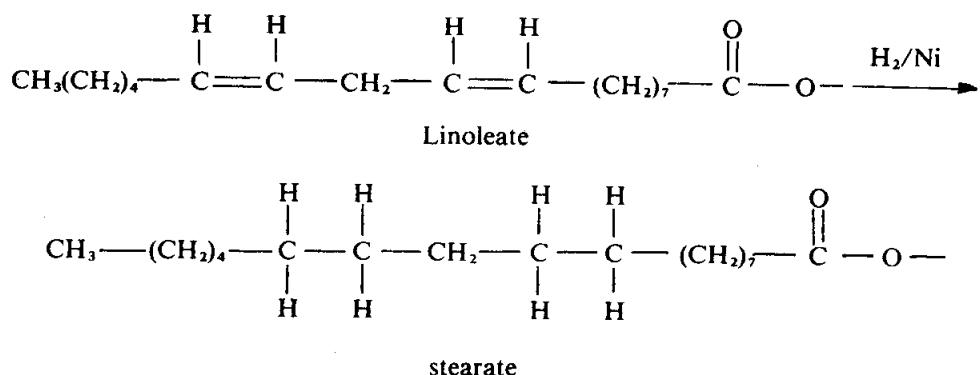
Propyl ethanoate (เป็นชื่อตามระบบ IUPAC) หรือ n-propyl acetate (เป็นชื่อสามัญ)

ตารางที่ 6.15 ตัวอย่างอีสเทอร์บางชนิด

สูตรโครงสร้าง	ชื่อตามระบบ IUPAC	ชื่อสามัญ	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)
HCOOCH ₃	methyl methanoate	methyl formate	-99	32
CH ₃ COOCH ₃	methyl ethanoate	methyl acetate	-98	57
CH ₃ COOCH ₂ CH ₃	ethyl ethanoate	ethyl acetate	-84	77
CH ₃ CH ₂ COOCH ₃	methyl propanoate	methyl propionate	-88	80



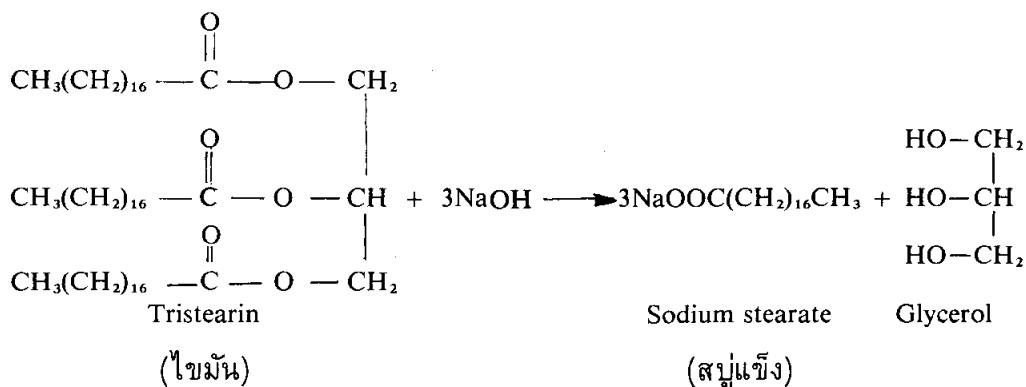
คำว่าไขมัน (fat) หมายถึง glyceryl ester ที่เป็นของแข็งหรือกึ่งของแข็ง ส่วนคำว่า น้ำมัน (oil) หมายถึง glyceryl ester ที่เป็นของเหลว ไขมันและน้ำมันโดยทั่วไปเรียกว่า กลีเซอไรด์ (glyceride) กลีเซอไรด์จากธรรมชาติที่สำคัญเกิดมาจากการดัดแปลงของชีลิกที่แตกต่างกันเพียง 2 - 3 ชนิดเท่านั้น เมื่อกรดเหล่านี้มีความไม่อิ่มตัว คือมีพันธะคู่ของคาร์บอน - คาร์บอนจำนวนมาก กลีเซอไรด์ที่ได้จะเป็นน้ำมัน แต่เมื่อกรดเหล่านี้เกือบจะอิ่มตัว (มีพันธะคู่จำนวนน้อย) กลีเซอไรด์ที่ได้จะเป็นไขมัน น้ำมันพืชสามารถเปลี่ยนไปเป็นสารกึ่งของแข็ง ได้โดยปฏิกริยาการเพิ่มไฮโดรเจน (hydrogenation) ซึ่งเป็นการลดจำนวนพันธะคู่ในส่วนของชีลิกเหล่านี้ของกลีเซอไรด์ลง เช่นในส่วนของลิโนแลเอตของกลีเซอไรด์อาจถูกเปลี่ยนไปเป็นสเตียเรตได้ดังนี้



กลีเซอไรด์ชนิดอิ่มตัวมีส่วนเกี่ยวพันกับการทำลายระบบเส้นโลหิตในคนและสัตว์ (ทำให้เส้นเลือดอุดตันเป็นอัมพาตได้)

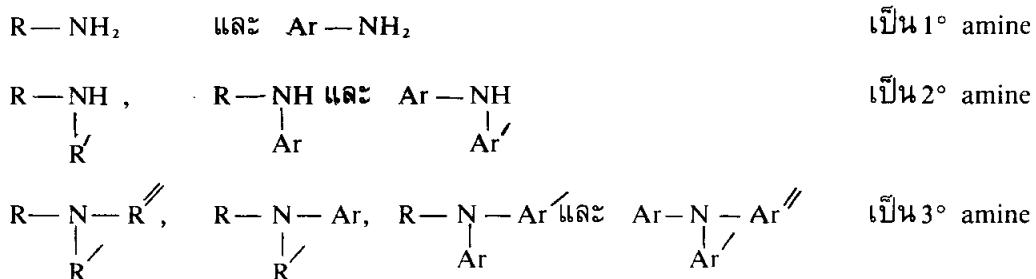
6.11.1 ปฏิกิริยาซับน้ำฟีเคลชันของกลีเซอไรด์ (Saponification of glycerides)

ເອສເທວ່ງຖຸກໄຂໂດຣໄລສີໃນສາຮະຄາຍເບສ ໄດ້ຝລິຕົພລເປັນສູ່ ເຮັດວຽກປະກິດຕະຫຼາດວ່າ
ປະກິດຕະຫຼາດຈາກອຳນວຍ

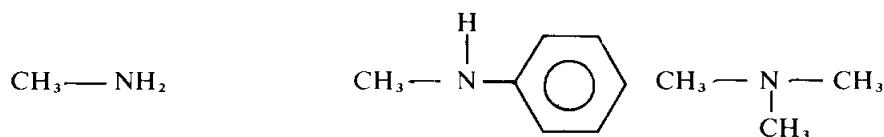


6.12 ອະມິນ (Amine)

อะมีนถือได้ว่าเป็นอนุพันธ์ของแอมโมเนีย ซึ่งไฮโดรเจนไนโตรแอมโมเนียหนึ่งอะตอมหรือมากกว่า ถูกแทนที่ด้วยหมู่อัลกิลหรือหมู่อิริล ถ้าไฮโดรเจนถูกแทนที่เพียงหนึ่งอะตอมอะมีนจะเป็นอะมีนชนิดปฐมภูมิ (primary (1°) amine) ถ้าไฮโดรเจนถูกแทนที่สองอะตอมจะเป็นอะมีนชนิดทุติยภูมิ (secondary (2°) amine) ถ้าไฮโดรเจนถูกแทนที่ทั้งหมดสามอะตอมจะเป็นอะมีนชนิดตติยภูมิ (tertiary (3°) amine) อะมีนทั้งสามชนิดมีสูตรทั่วไป เป็นดังนี้



การเรียกชื่ออัมมีน นิยมเรียกชื่อสามัญกัน โดยเรียกหมู่อัลกิลหรือหมู่อะโรมาติก ก่อนแล้วลงท้ายด้วยคำว่า amine เช่น



methylamine

methylphenylamine

trimethylamine



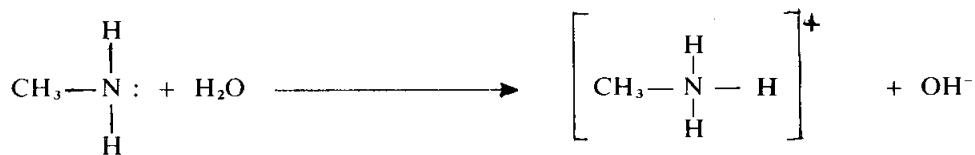
aniline

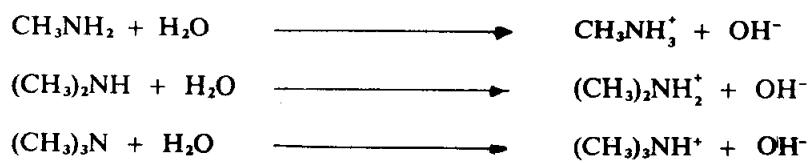


m-methylamine
(3-methylaniline)

6.12.1 ปฏิกิริยาของอะมีน

อะมีนคล้ายกับแอมโมเนียโดยตัวอะมีนเองเป็นเบสอ่อน เพราะมีอิเล็กตรอนคู่อยู่ที่ในโครงสร้าง





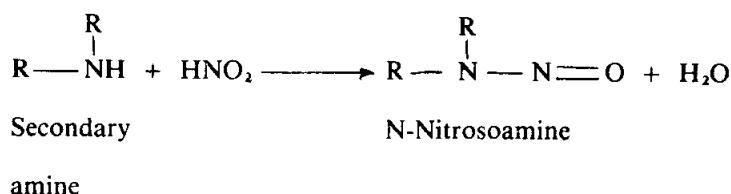
อะมีนเป็นเบสที่แก่กว่าแอมโมเนีย อะมีนทำปฏิกิริยากับกรดได้เกลืออ่อนนิยม ดังสมการ



ซึ่ง CH_3NH_3^+ อาจจะถลายตัวได้โดยทำปฏิกิริยากับเบส ดังสมการ

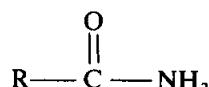


อะมีนชนิดทุกตัวทำปฏิกิริยากับกรดในครั้งหรือในไตร์เกิดสารประกอบ N-nitrosoamine ดังสมการ



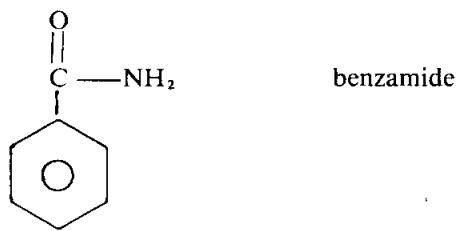
6.13 เอไมด์ (Amides)

เอไมด์ เป็นอนุพันธ์ของกรดคาร์บอชิลิก มีสูตรทั่วไปเป็น



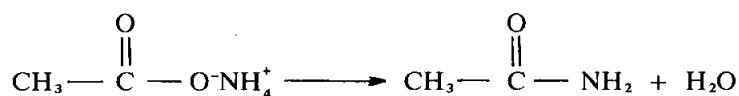
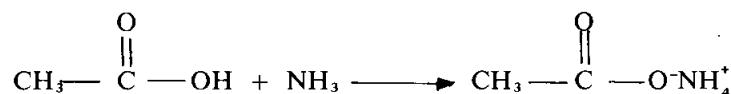
การเรียกชื่อเอไมด์สำหรับชื่อสามัญให้ตัด -ic acid ท้ายชื่อกรดคาร์บอชิลิกออก แล้วเติม -amide เข้าไปแทน ส่วนการเรียกชื่อตามระบบ IUPAC นั้นให้ตัด -oic acid ท้ายชื่อกรดคาร์บอชิลิกออก แล้วเติม -amide เข้าไปแทน เช่นเดียวกัน เช่น





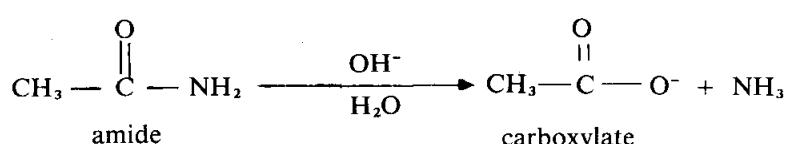
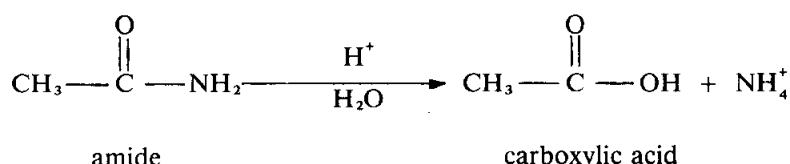
6.13.1 ปฏิกิริยาของเอไนด์

เอไนด์อาจเตรียมได้จากแอมโมเนียทำปฏิกิริยากับการบอกรชิลิก โดยปฏิกิริยา
แรกจะเป็นการเกิดเกลือแอมโมเนียม และปฏิกิริยาที่สองเป็นการขัดน้ำ ดังสมการ



ปฏิกิริยาไฮโดรคลิซของเอไนด์

เอไนด์เกิดปฏิกิริยาไฮโดรคลิซได้ทั้งในสารละลายที่เป็นกรดและเบส ดังนี้

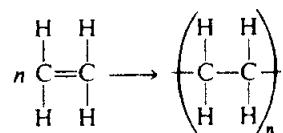


6.14 โพลิเมอร์ (Polymers)

โพลิเมอร์ เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่มากซึ่งสร้างขึ้นจากโมเลกุลเล็กที่เหมือนกัน
ที่เรียกว่า โมโนเมอร์ เชื่อมต่อกันโดยพันธะโคเวเลนต์ ตัวอย่างของโพลิเมอร์สังเคราะห์
ได้แก่ พลาสติกประดิษฐ์ (artificial plastics) ไฟเบอร์ และพิล์ม เป็นต้น

6.14.1 ปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์แบบการเพิ่มเข้า (Addition polymerization)

โพลิเมอร์บางชนิดสังเคราะห์ได้โดยปฏิกิริยาที่รู้จักกันดีแล้ว เช่น ปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์แบบการเพิ่มเข้า ซึ่งเกิดจากโมเลกุลเล็กจำนวนมากรวมตัวกันแบบเพิ่มเข้าไปเป็นโพลิเมอร์ เช่น ปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ของอีทีน (เอทิลีน) เป็นโพลิเอทิลีน ดังสมการ



หน่วย $\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—}$ จำนวนมากเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ได้ผลิตผลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก

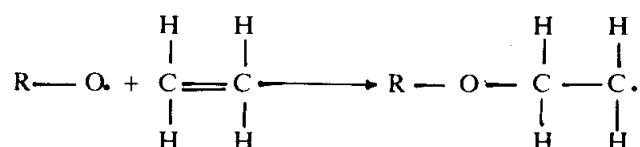
ปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์แบบการเพิ่มเข้าจำนวนมาก เชื่อกันว่าดำเนินไปโดยกลไกของฟรีเรดิคัล ฟรีเรดิคัลเป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ แต่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีมาก เพราะฟรีเรดิคัลมีเวลน์อิเล็กตรอนเดียว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพากเพร็อกไซด์ของสารอินทรีย์จะแตกตัวออกมาเป็นฟรีเรดิคัล

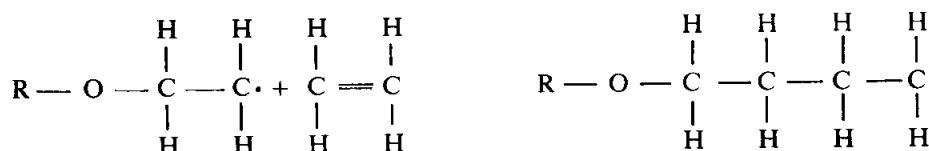


organic peroxide

alkoxy free radical

ฟรีเรดิคัลรวมตัวกับโมเลกุลของโนโนเมอร์ เช่น เอทิลีน เกิดเป็นฟรีเรดิคัลใหม่





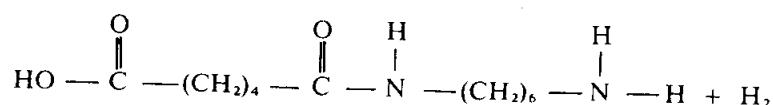
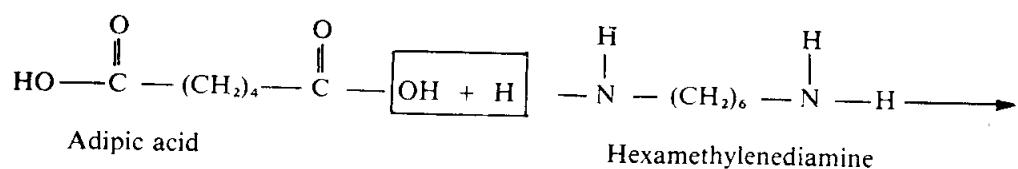
และเกิดปฏิกริยาต่อไป เช่นนี้เรื่อยๆ จนกระทั่งเป็นโมเลกุลใหญ่มาก ปฏิกริยาการเกิดโพลิเมอร์จะหยุดลงเมื่อพรีเดคัลทั้งสองเข้าทำปฏิกริยาต่อกัน ตารางที่ 6.16 แสดงตัวอย่างของโพลิเมอร์ชนิดเพิ่มข้าซึ่งพบในพลาสติกที่สำคัญทางการค้าบางชนิด

ตารางที่ 6.16 ตัวอย่างโพลิเมอร์ชนิดเพิ่มเข้าบ้างชนิด

โน้มโนเมอร์	สูตรโพลิเมอร์	ชื่อของโพลิเมอร์
$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ (ethylene)	$(-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -)_n$	Polyethylene
$\text{CH}_2 = \begin{matrix} \text{CH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{matrix}$ (propylene)	$\left(-\text{CH}_2 - \begin{matrix} \text{CH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{matrix} \right)_n$	Polypropylene
$\text{CH}_2 = \begin{matrix} \text{CH} \\ \\ \text{Cl} \end{matrix}$ (vinyl chloride)	$\left(-\text{CH}_2 - \begin{matrix} \text{CH} \\ \\ \text{Cl} \end{matrix} \right)_n$	Polyvinyl chloride (PVC : Vinyl)
$\text{CF}_2 = \text{CF}_2$ (tetrafluoroethylene)	$(-\text{CF}_2 - \text{CF}_2 -)_n$	Polytetrafluoro-ethylene (Teflon)
$\text{CH}_2 = \begin{matrix} \text{CH} \\ \\ \text{C} \\ \equiv \\ \text{N} \end{matrix}$ (acrylonitrile)	$\left(-\text{CH}_2 - \begin{matrix} \text{CH} \\ \\ \text{C} \\ \equiv \\ \text{N} \end{matrix} \right)_n$	Polyacrylonitrile (Orlon; Acrilan)

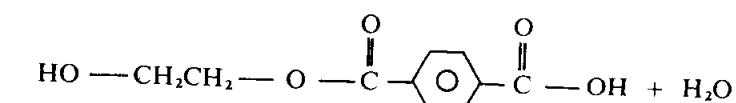
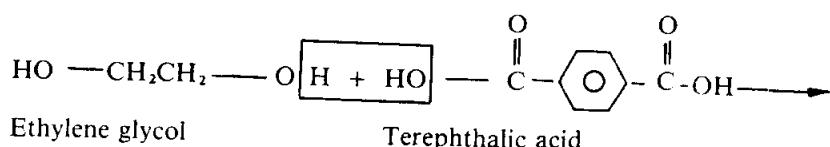
6.14.2 ปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์แบบการคอนденส์ (Condensation polymerization)

ปฏิกริยาการเกิดโพลิเมอร์ชนิดที่สอง คือ ปฏิกริยาการเกิดโพลิเมอร์แบบการคุณ-เคนส์ ซึ่งเกิดจากโมโนเมอร์ที่มีหมู่พังก์ชันนัลสองหมู่ในโมเลกุลเดียวกัน ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด มาเชื่อมต่อกันโดยขั้นจัดโมเลกุลเล็ก ๆ เช่นน้ำอ่องมา ตัวอย่างเช่น Adipic acid ซึ่งเป็นกรด ไดการบักซิลิก ทำปฏิกริยากับ hexamethylenediamine ดังสมการ



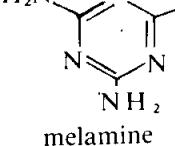
กระบวนการนี้เกิดขึ้นกันหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งได้ในล่อนที่มีโมเลกุลยาวขึ้น ในล่อนชนิดนี้เรียกว่า ไนлон 66 เพราะว่าทั้ง adipic acid และ hexamethylenediamine เป็นโมเลกุลที่มีcarboxylic acid อะตอมด้วยกัน

โพลิเมอร์ชนิดคอนเดนส์อย่างอื่น คือ โพลีเอสเทอร์ ไดแก่ Dacron (เช่นไฟเบอร์) หรือ Mylar (เช่นฟิล์ม) ซึ่งเกิดจาก ethylene glycol กับ terephthalic acid



กระบวนการนี้เกิดขึ้นต่อเนื่องกันจนกระทั่งได้ไม่เลิกกลไกๆขึ้น

ตารางที่ 6.17 ตัวอย่างของโพลิเมอร์ชนิดเพิ่มเข้าไปและชนิดค่อนเดนส์

โนโนเมอร์	โพลิเมอร์	ชนิดของปฏิกิริยา การเกิดโพลิเมอร์
$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ ethylene	Polyethylene	แบบการเพิ่มเข้า
$\text{CH}_2 = \text{CHCl}$ vinyl chloride	Polyvinyl chloride (PVC)	แบบการเพิ่มเข้า
$\text{F}_2\text{C} = \text{CF}_2$ tetrafluoroethylene	Teflon	แบบการเพิ่มเข้า
 styrene	Polystyrene	แบบการเพิ่มเข้า
$\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$ methyl methacrylate	Plexiglass	แบบการเพิ่มเข้า
$\text{HOOC} - (\text{CH}_2)_4 - \text{COOH} + \text{NH}_2 - (\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$ adipic acid hexamethylenediamine	Nylon	แบบการค่อนเดนส์
$\text{HOOC} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{COOH} + \text{HO} - \text{CH}_2\text{CH}_2 - \text{OH}$ terephthalic acid ethylene glycol	Dacron	แบบการค่อนเดนส์
$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{HCHO}$ phenol formaldehyde	Bakelite	แบบการค่อนเดนส์
$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{HC} \begin{array}{c} \text{---} \text{CH} \\ \\ \text{HC} \end{array} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{---} \text{O} \\ \backslash \\ \text{C} \end{array} \text{---} \text{CHO}$ phenol furfural	Durite	แบบการค่อนเดนส์
 melamine	Melmac	แบบการค่อนเดนส์

แบบฝึกหัด

1. จงเขียนสูตรโครงสร้างของอัลเคนต่อไปนี้

- (ก) 2-methylpentane
- (ข) 2,3,5-trimethylheptane
- (ค) 2-methyl-5-propyldecane
- (ง) 3,3-dimethylhexane
- (จ) 3,3,4,4,5,5-hexamethylnonane
- (ฉ) 1,1,3-trimethylcyclohexane

2. จงเขียนสูตรโครงสร้างของแต่ละไฮโฉเมอร์ที่มีสูตรต่อไปนี้

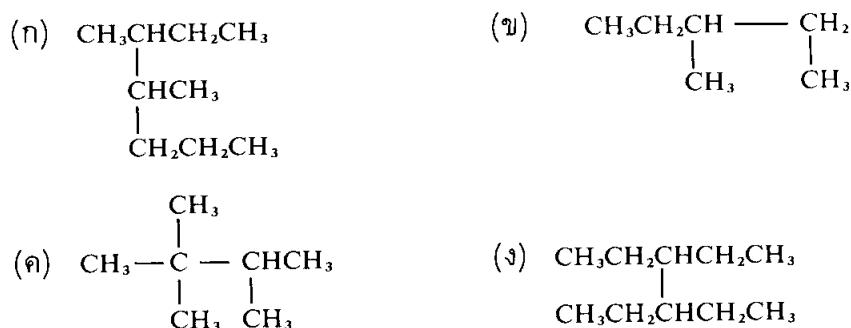
- (ก) C_4H_{10}
- (ข) C_5H_{12}
- (ค) C_6H_{14}

3. สารประกอบประเภทใดที่เขียนแทนได้ด้วยสูตรทั่วไป C_nH_{2n} จงเขียนโครงสร้างของแต่ละไฮโฉเมอร์ของ C_5H_{10}

4. ทำอะไรเมื่อพบ cis-trans isomerism ในอัลเคน

5. ไฮคลอเริกเซน, C_6H_{12} มี 2 คอนฟอร์เมอร์ คือ แบบเก้าอี้และแบบเรือ จงเขียนแบบจำลอง (model) ของแบบทั้งสองนั้น

6. จงเขียนชื่อตามระบบ IUPAC ของแต่ละสารข้างล่างนี้



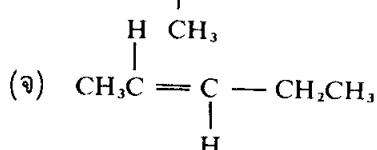
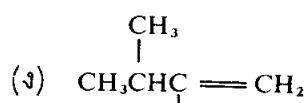
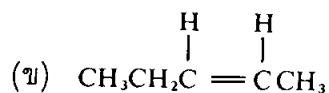
7. จงแสดงผลิตผลของปฏิกิริยาการเพิ่มเข้าเพื่อให้งานเปิดออกของไฮคลอโรเพนกับสารต่อไปนี้

- (ก) H_2
- (ข) Br_2
- (ค) HBr

8. จงเขียนสูตรโครงสร้างของแต่ละสารข้างล่างนี้

- (ก) 3-hexene
- (ข) 1,4-pentadiene
- (ค) 4,4-dimethyl-2-hexene
- (ง) 2-pentyne
- (จ) 3-penten-1-yne

9. จงเขียนชื่อตามระบบ IUPAC ของแต่ละสารข้างล่างนี้



10. เมื่อเพิ่ม HBr 1 มอลให้กับ 1 มอลของสารข้างล่างนี้ ผลิตผลของปฏิกิริยาคืออะไร

- (ก) propene
- (ข) acetylene
- (ค) 4-methyl-2-pentyne
- (ง) 1-bromopropene

11. จงเขียนสูตรโครงสร้างและเรียกชื่อตามระบบ IUPAC ของแต่ละไฮโซเมอร์ ของแต่ละสารข้างล่างนี้

- (ก) dimethylbenzene
- (ข) trimethylbenzene
- (ค) tetramethylbenzene

12. จงเขียนสูตรโครงสร้างของสารต่อไปนี้

- (ก) p-dichlorobenzene
- (ข) m-bromonitrobenzene
- (ค) 1,3,5-trinitrobenzene
- (ง) o-chlorotoluene
- (จ) chloromethylbenzene

13. สารประกอบชนิดใดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ

- (ก) primary alcohol
- (ข) secondary alcohol

14. จงเขียนสูตรโครงสร้างของแต่ละสารข้างล่างนี้

- (ก) 3-chloro-2-pentanone
- (ข) cyclohexanol
- (ค) triethylamine
- (ง) trichloroacetic acid
- (จ) 3-hexanone
- (ฉ) isopropyl butyrate
- (ช) 2,3-butanediol
- (ฑ) cyclodecanone
- (ฒ) 2-ethyl-3-hydroxyhexanal
- (ญ) 2-chloropropanoic acid
- (ঘ) 2-amino-3-methylheptane

15. ทำไม tertiary alcohol จึงไม่ถูกออกซิไดซ์

16. จงเขียนโครงสร้างของอีสเทอร์ที่ควรจะเกิดจากปฏิกิริยา glycerol กับ propanoic acid

17. จงจำแนกว่าสารใดต่อไปนี้เป็น primary, secondary หรือ tertiary amine

- (๑) $\text{CH}_3\text{NHCH}_2\text{CH}_3$
- (๒) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$
- (๓) $\text{CH}_3\text{NHCH}_2\text{NH}_2$
- (๔) $(\text{CH}_3)_2\text{NCH}_2\text{CH}_3$