

บทที่ 9

กรดคาร์บอกซิลิก

สาระสำคัญ

กลุ่มสารประกอบที่หมู่คาร์บอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชัน ความสามารถในการแตกตัว สภาพกรดและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง สมบัติกายภาพ ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและโครงสร้าง สมบัติเคมี และประโยชน์ การเรียกชื่อกรดคาร์บอกซิลิก การเกิดเกลือ การเตรียมกรดคาร์บอกซิลิก ปฏิกริยาของกรดคาร์บอกซิลิกที่ให้สารอนุพันธ์ ปฏิกริยาโดยทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการแทนอะตอมที่มีสภาพไฟฟ้าลบสูงด้วยนิวคลีโอไฟล์

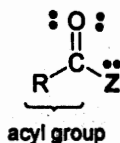
จุดประสงค์การเรียนรู้

เมื่อได้ศึกษาบทเรียนบทนี้แล้วนักศึกษาควรจะสามารถ

1. จำแนกหมู่ฟังก์ชันของกรดคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์ชนิดต่างๆได้
2. อธิบายสภาพกรดของกรดคาร์บอกซิลิก ปัจจัยที่สำคัญ และเปรียบเทียบความสามารถในการแตกตัว และเปรียบเทียบกับสารอื่นได้
3. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ของกรดคาร์บอกซิลิก ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและเปรียบเทียบได้
4. เรียกชื่อและเขียนสูตรโครงสร้างกรดคาร์บอกซิลิกได้
5. เขียนปฏิกริยาการเตรียมกรดคาร์บอกซิลิก ปฏิกริยาที่แสดงสมบัติเคมี แสดงสารประกอบที่ใช้ สภาวะปฏิกริยา ผลปฏิกริยาที่เกิดขึ้น ทำนายผลิตภัณฑ์ที่เกิดได้
6. นำปฏิกริยาไปใช้เตรียมสารประเภทอื่นๆได้

บทนำ

บทนี้เกี่ยวข้องกับสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิลสร้างพันธะกับอะตอมที่สภาพไฟฟ้าลบสูง คือสร้างกับหมู่ -OH คาร์บอนของหมู่คาร์บอนิลยังสร้างพันธะกับไฮโดรคาร์บอน สารในบทนี้จึงมีหมู่เอซิล (acyl group) สร้างพันธะกับ หมู่ OH ซึ่งมีลักษณะทั่วไปเป็น

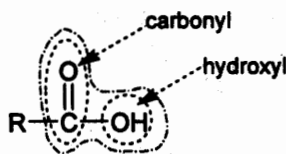


เมื่อ Z = OH สารประกอบ คือ กรดคาร์บอกซิลิก

9.1 กรดคาร์บอกซิลิก และหมู่คาร์บอกซิล

กรดคาร์บอกซิลิกเป็นกรดอินทรีย์ มีหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group; -COOH หรือ -CO₂H) เป็นหมู่ฟังก์ชัน กรดคาร์บอกซิลิกแบ่งตามชนิดของคาร์บอนที่สร้างพันธะกับหมู่คาร์บอกซิล เป็นกรดชนิดแอลิฟติก (aliphatic acids; RCOOH) และกรดชนิดแอโรแมติก (aromatic acids; ArCOOH) สำหรับกรดไขมัน (fatty acid) เป็นกรดชนิดแอลิฟติกโซยาว

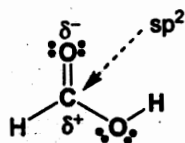
ส่วนประกอบของหมู่คาร์บอกซิล มีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะเชื่อมกับคาร์บอนิล สมบัติทางเคมีและกายภาพต่างจากหมู่เดิมทั้งสอง จัดเป็นหมู่ฟังก์ชันใหม่



หมู่คาร์บอกซิล มีสมบัติเป็นกรดตามนิยามของเบรินสเตด-ลาวรี การสลายพันธะ O-H เป็นแบบไม่สมมาตร ให้โปรตอนและคาร์บอกซิเลตไอออน (carboxylate ion) ความสามารถในการแตกตัว สภาพกรดและปัจจัยเกี่ยวข้องจะได้กล่าวในหัวข้อ 9.4

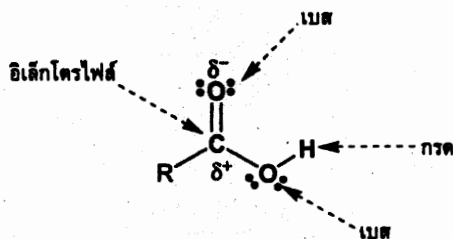


คาร์บอนของหมู่คาร์บอกซิลใช้ออร์บิทัลชนิด sp^2 ซึ่งมีรูปทรงแบบ trigonal planar ทุกอะตอมบริเวณนี้อยู่ร่วมระนาบกัน มีมุมพันธะที่คาร์บอนใกล้เคียง 120° ความยาวพันธะ C=O สั้นกว่า C-O เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid)

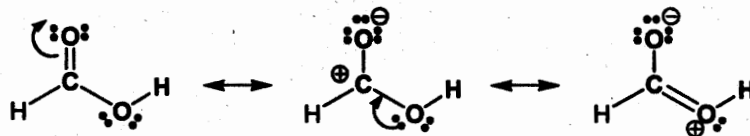


ความยาวพันธะ	C=O	120 pm	มุมพันธะ	H-C=O	124°
	C-O	134 pm		O=C-O	125°
				H-C-O	111°

ออกซิเจนทั้งสองของหมู่คาร์บอกซิลเป็นเบสตามนิยามของลิวอิส ส่วนคาร์บอนซึ่งมีสภาพไฟฟ้าลบน้อยกว่าออกซิเจน จะมีสภาพขั้วบวกและมีสมบัติเป็นอิเล็กโตรไฟล์เช่นเดียวกับในแอลดีไฮด์และคีโตน เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลเกิดเรโซแนนซ์ได้ ทำให้คาร์บอนของคาร์บอนิลเป็นอิเล็กโตรไฟล์น้อยกว่าในแอลดีไฮด์และคีโตน



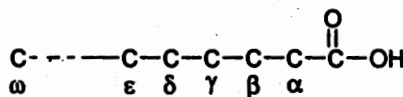
ออกซิเจนของคาร์บอนิลมีความหนาแน่นอิเล็กตรอนมากที่สุด ขณะที่ O ของหมู่ OH มีความหนาแน่นอิเล็กตรอนน้อยที่สุด

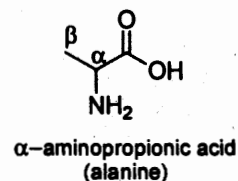
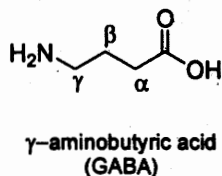
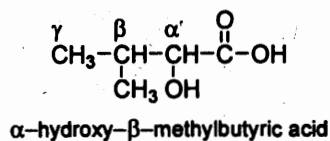


9.2 การเรียกกรดคาร์บอกซิลิก (Nomenclature of Carboxylic Acids)

9.2.1 ชื่อสามัญ

ชื่อสามัญหรือชื่อเฉพาะมาจากแหล่งธรรมชาติที่พบกรดนั้นๆ เช่น กรดคาร์บอกซิลิกชนิดต่างๆ และกรดไขมัน ในตารางที่ 9.1 และ 9.2 การกำหนดตำแหน่งในชื่อสามัญใช้อักษรกรีก $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \dots$ เริ่มจากคาร์บอนที่ติดกับหมู่คาร์บอกซิลเป็นตำแหน่งแอลฟา จนถึงตำแหน่งปลายสุดคือ โอเมกา (ω)





ตารางที่ 9.1 ชื่อสามัญและที่มาของกรดคาร์บอกซิลิกบางชนิด

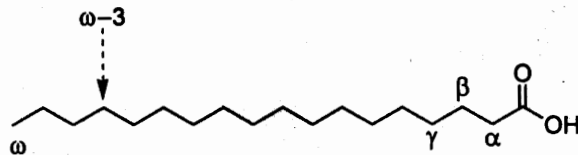
สารประกอบ	ชื่อสามัญ	ภาษาที่มา/คำเติม	ความหมาย
HCOOH	Formic acid	ละติน; formica	มด
CH ₃ COOH	Acetic acid	ละติน; acetum	น้ำส้ม, เบียร์
CH ₃ CH ₂ COOH	Propionic acid	กรีก; protus prion	น้ำมัน
CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	Butyric acid	ละติน; butyrum	เนย
CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	Valeric acid	ละติน; valeriana	จากรากสมุนไพรสกุล <i>Valeriana</i>
CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH	Caproic acid	ละติน; caper	แพะ
CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	Lauric acid	ละติน; laurus	ต้น bay laurel
HOOC(CH ₂) ₂ COOH	Succinic acid	ละติน; succinum	อำพัน
HOOC(CH ₂) ₄ COOH	Adipic acid	ละติน; adip	ไขมัน
HOOC(CH ₂) ₅ COOH	Pimelic acid	กรีก; pimelle	ไขมันเปลว
C ₆ H ₅ COOH	Benzoic acid	อาหรับ; <i>luban jawi</i> = benzoin	ก่ายาน (gum benzoin)
	Salicylic acid		พืชสกุล <i>Salix</i>
	Mandelic acid	เยอรมัน; mandel	แอลมอนต์

กรดไขมัน เป็นกรดคาร์บอกซิลิกโซ่ยาว โดยทั่วไปเป็นโซ่ตรงและจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ จาก 4 ถึง 30 อะตอม มีทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดชนิดไม่อิ่มตัวที่สำคัญมีพันธะคู่ 1 ถึง 6 พันธะ และทุกพันธะเป็นแบบ Z หรือ ซิส (*cis*) ทำให้โมเลกุลหักงอ และจัดตัวในรูปผลึกไม่แน่นอน ถ้าพันธะคู่แบบซิสเพิ่มขึ้นจุดหลอมเหลวจะยิ่งต่ำลง (ดูตารางที่ 3.4)

การเรียกกรดไขมันมี 4 วิธี คือ ชื่อสามัญ ชื่อระบบ IUPAC และชื่อระบบอ้างอิงซึ่งมี 2 แบบ คืออ้างอิงหมู่คาร์บอกซิล (COOH-reference) และอ้างอิงตำแหน่งไอเมกา (ω -reference) ในจำนวนนี้มี 3 วิธีที่บอกทั้งความยาวโซ่และตำแหน่งพันธะคู่ ชื่อสามัญได้จากแหล่งที่พบมากหรือพบครั้งแรก ชื่ออ้างอิงทั้งสองระบบใช้ตัวเลขแสดงความยาวโซ่ การอ้างอิงหมู่คาร์บอกซิล

แสดงจำนวนคาร์บอน จำนวนและตำแหน่งพันธะคู่ โดยเริ่มจากหมู่คาร์บอกซิลเช่นเดียวกับ IUPAC แต่ต่างกันที่ใช้ตัวเลขบอกความยาวโซ่

สำหรับระบบอ้างอิงตำแหน่งไอเมกา แสดงจำนวนคาร์บอน จำนวนพันธะคู่และตำแหน่งที่ใกล้ตำแหน่งไอเมกามากที่สุด เริ่มที่คาร์บอนอะตอมปลายโซ่ ตรงข้ามหมู่คาร์บอกซิล (ตำแหน่งไอเมกา) เป็นตำแหน่งแรก เช่น ตำแหน่ง ω-3 หมายถึงตำแหน่งที่ 3 นับจากปลายสุด กรดไขมัน ω-3 จึงเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่ที่คาร์บอนอะตอมที่ 3 นับจากปลายสุด

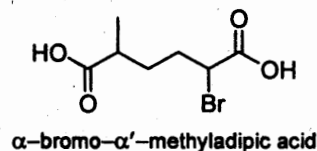
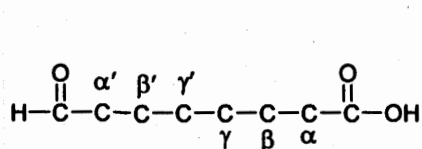


ตารางที่ 9.2 เปรียบเทียบการเรียกกรดไขมันบางชนิดทั้ง 4 วิธี

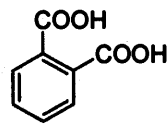
ชื่อเต็ม		ชื่อย่อ (เรียกโดยอ้างอิง)	
ชื่อสามัญ	IUPAC	Carboxyl-reference	ω-reference
Palmitic acid	Hexadecanoic acid	16:0	16:0
Stearic acid	Octadecanoic acid	18:0	18:0
Oleic acid	9-Octadecenoic acid	18:1 Δ ⁹	18:1 (ω-9)
Linoleic acid	9,12-Octadecadienoic acid	18:2 Δ ^{9,12}	18:2 (ω-6)
γ-Linolenic acid	6,9,12-Octadecatrienoic acid	18:3 Δ ^{6,9,12}	18:3 (ω-6)
α-Linolenic acid	9,12,15-Octadecatrienoic acid	18:3 Δ ^{9,12,15}	18:3 (ω-3)

สำหรับกรดไดคาร์บอกซิลิก (dicarboxylic acids) หรือไดแอซิด (diacid) ซึ่งมีหมู่คาร์บอกซิลสองหมู่ โดยทั่วไปใช้ชื่อสามัญมากกว่าชื่อตามระบบ และใช้อักษรกรีกกำหนดตำแหน่งเช่นกัน เช่น พวกที่มีสูตรโครงสร้างทั่วไป HO₂C-(CH₂)_n-CO₂H. (เมื่อ n = 0 ถึง 5)

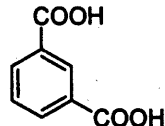
oxalic acid (n=0) malonic acid (n=1) succinic acid (n=2)
glutaric acid (n=3) adipic acid (n=4) และ pimelic acid (n=5)



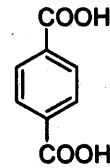
ที่เป็นกรดอะโรมาติกซึ่งมีคาร์บอกซิล 2 หมู่ที่วางเบนซิน เช่น **ทาลิกแอซิด (phthalic acid)**,
ไอโซทาลิกแอซิด (isophthalic acid) และ**เทเรพทาลิกแอซิด (terephthalic acid)**



phthalic acid
(o-phthalic acid)



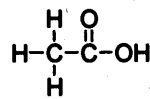
isophthalic acid
(m-phthalic acid)



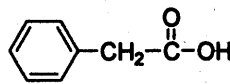
terephthalic acid
(p-phthalic acid)

9.2.2 ชื่ออนุพันธ์

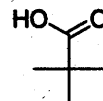
เรียกเป็นอนุพันธ์ของกรดอะซีติก เป็น alkyl หรือ arylacetic acid ตามการแทนไฮโดรเจน
 ของหมู่ $-CH_3$ ใน กรดอะซีติก เช่น



acetic acid



phenylacetic acid

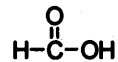


trimethylacetic acid

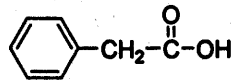
9.2.3 ชื่อระบบ IUPAC

9.2.3.1 กรดแอลิฟติก (Aliphatic acids)

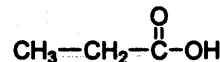
- เลือกโซ่หลัก ซึ่งเป็นโซ่คาร์บอนต่อกันยาวที่สุดและมีหมู่ $-COOH$
- คาร์บอนของ $-COOH$ อยู่ปลายโซ่ มีตำแหน่ง 1 ไม่ต้องระบุในชื่อ
- อ่านชื่อโซ่หลักตามชนิดของไฮโดรคาร์บอน เปลี่ยนอักษร $-e$ ห้ายชื่อเป็น $-oic\ acid$



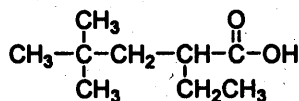
methanoic acid



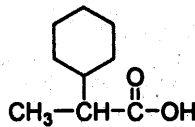
phenylethanoic acid



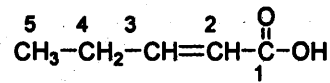
propanoic acid



2-ethyl-4,4-dimethylpentanoic acid

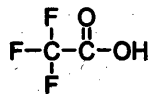


2-cyclohexylpropanoic acid

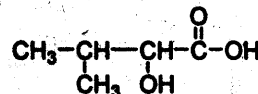


2-pentenoic acid

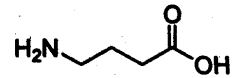
- ถ้ามีหมู่ฟังก์ชันอื่นอยู่ด้วย หมู่ $-COOH$ สำคัญมากกว่า อยู่ลำดับที่มาก่อน



2,2,2-trifluoroethanoic acid

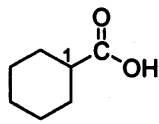


2-hydroxy-3-methylbutanoic acid

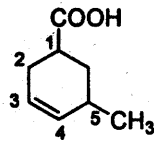


4-aminobutanoic acid

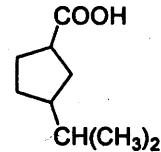
- ถ้า $-COOH$ อยู่ที่วงแหวนให้อ่านชื่อวงและต่อท้ายด้วย *carboxylic acid* เรียกเป็น *cycloalkanecarboxylic acid* หรือ *cycloalkenecarboxylic acid* คาร์บอนของวงที่มีหมู่คาร์บอกซิลมีตำแหน่งที่ 1 (ไม่ต้องบอกเลขตำแหน่ง)



cyclohexanecarboxylic acid



5-methyl-3-cyclohexene carboxylic acid

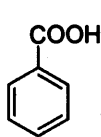


3-isopropylcyclopentane carboxylic acid

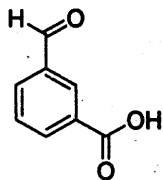
9.2.3.2 กรดแอโรแมติก (Aromatic carboxylic acids)

เป็นสารที่มีหมู่ $-COOH$ สร้างพันธะกับวงแอโรแมติก เช่น กรดเบนโซอิก (benzoic acid) หรือ benzene carboxylic acid ซึ่งเป็นกรดแอโรแมติกที่ง่ายที่สุด การเรียกชื่อทำได้โดย

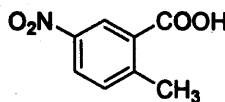
- เรียกเป็นอนุพันธ์ของ benzoic acid (หัวข้อ 4.3.2 และ 4.3.3)



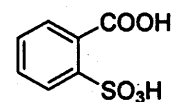
benzene carboxylic acid
หรือ benzoic acid



3-formylbenzoic acid

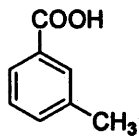


2-methyl-5-nitrobenzoic acid

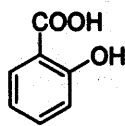


o-sulfobenzoic acid

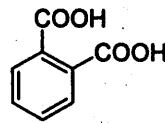
- บางชนิดมีชื่อสามัญ เช่น



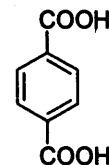
3-methylbenzoic acid
(*m*-toluic acid)



2-hydroxybenzoic acid
(salicylic acid)



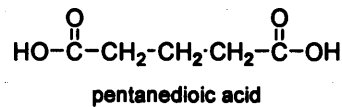
benzene-1,2-dicarboxylic acid
(phthalic acid)



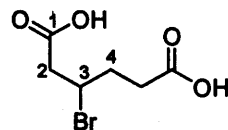
benzene-1,4-dicarboxylic acid
(terephthalic acid)

9.2.3.3 กรดไดคาร์บอกซิลิก

- ที่เป็นไซเคิลให้เลือกไซคลิก ที่มี $-COOH$ 2 หมู่
- เรียกตามไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเท่ากัน และต่อท้ายด้วย *dioic acid* คาร์บอนของ $-COOH$ ด้านที่ใกล้หมู่แทนที่มากกว่า เป็นตำแหน่งที่ 1

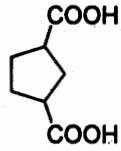


pentanedioic acid

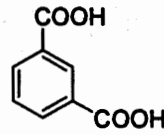


3-bromohexanedioic acid

- ถ้าเป็น cyclic dicarboxylic acids ให้ถือว่าหมู่ -COOH ทั้งสองเป็นหมู่แทนที่ในวงแหวน เช่น



1,3-cyclopentanedicarboxylic acid

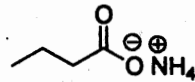


1,3-benzenedicarboxylic acid

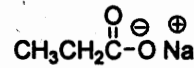
9.2.4 การเรียกเกลือของกรดคาร์บอกซิลิก

เกลือของกรดคาร์บอกซิลิก เป็นเกลือของโลหะ เกลือแอมโมเนียม และเกลืออะมีน การเรียกชื่อทำได้โดยเรียกแคตไอออนและตามด้วยแอนไอออน

- แคตไอออน ได้แก่ ไอออนของโลหะ, แอมโมเนียมไอออน และอะมีนไอออน
- แอนไอออน มาจากชื่อกรด เปลี่ยนอักษร *ic acid* ท้ายชื่อกรดเป็น *ate*



common name: ammonium butyrate
IUPAC: ammonium butanoate

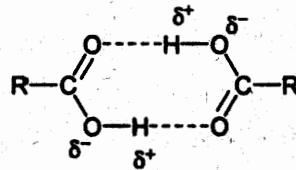


common name : sodium propionate
IUPAC: sodium propanoate

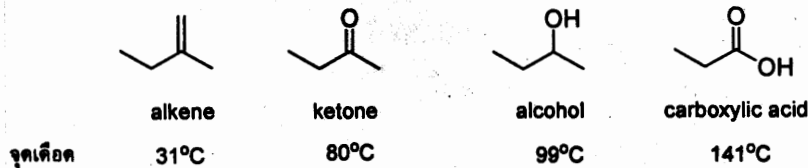
9.3 สมบัติกายภาพของกรดคาร์บอกซิลิก

C=O และ O-H เป็นพันธะมีขั้ว ทำให้กรดคาร์บอกซิลิกเกิดแรงระหว่างไดโพลได้ดี และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลดีมาก แรงระหว่างโมเลกุลในกรดคาร์บอกซิลิกโดยเฉพาะพันธะไฮโดรเจนแข็งแรงกว่าสารอื่นๆ ที่รูปทรงและมวลโมเลกุลคล้ายกัน

กรดคาร์บอกซิลิกทั้งสถานะของเหลวและของแข็ง เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกัน 2 โมเลกุล โดยจับกันในรูปไดเมอร์ (dimer) จุดเดือด จุดหลอมเหลว และการละลายน้ำจึงสูงกว่าสารอินทรีย์อื่นที่มีมวลโมเลกุลเท่าๆกัน


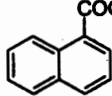


รูปที่ 9.1 การเกิดไดเมอร์ ระหว่างกรดคาร์บอกซิลิก 2 โมเลกุลด้วยพันธะไฮโดรเจน



จุดเดือดเพิ่มขึ้นตามขนาดโมเลกุลเช่นเดียวกับสารอื่น แต่จุดหลอมเหลวขึ้นกับการจัดตัวของโมเลกุลในรูปผลึกด้วย กรดจำพวกไซโตตรงที่มีคาร์บอนเป็นเลขคู่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าพวกที่เป็นเลขคี่ซึ่งมีคาร์บอนมากกว่าหรือน้อยกว่า 1 อะตอม ซึ่งสะท้อนถึงความแตกต่างในเรื่องการจัดโมเลกุลในรูปผลึก สำหรับกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งพันธะคู่เป็นแบบ Z หรือซิส ทำให้โมเลกุลจัดตัวในรูปผลึกได้ไม่แน่น จุดหลอมเหลวลดลงเมื่อพันธะคู่แบบซิสเพิ่มขึ้น (ตาราง 3.4)

ตารางที่ 9.3 ค่าคงที่ทางกายภาพของกรดคาร์บอกซิลิกบางชนิด

โครงสร้าง	จำนวนคาร์บอน	mp (°C)	bp (°C)	การละลายน้ำ (g กรด/น้ำ 100 mL)
HCO ₂ H	1	8.4	101	ละลายดีมาก
CH ₃ CO ₂ H	2	16.6	118	ละลายดีมาก
CH ₃ CH ₂ CO ₂ H	3	-20.8	141	ละลายดีมาก
CH ₃ (CH ₂) ₂ CO ₂ H	4	-5.5	164	ละลายดีมาก
CH ₃ (CH ₂) ₃ CO ₂ H	5	-34	186	4.97
CH ₃ (CH ₂) ₄ CO ₂ H	6	-4.0	205	1.08
CH ₃ (CH ₂) ₅ CO ₂ H	7	-7.5	223	0.24
CH ₃ (CH ₂) ₆ CO ₂ H	8	16.3	239	0.07
CH ₃ (CH ₂) ₇ CO ₂ H	9	12.5	254	
 COOH	(aromatic acid)	122	250	0.34
 COOH	(aromatic acid)	160	300	ไม่ละลาย

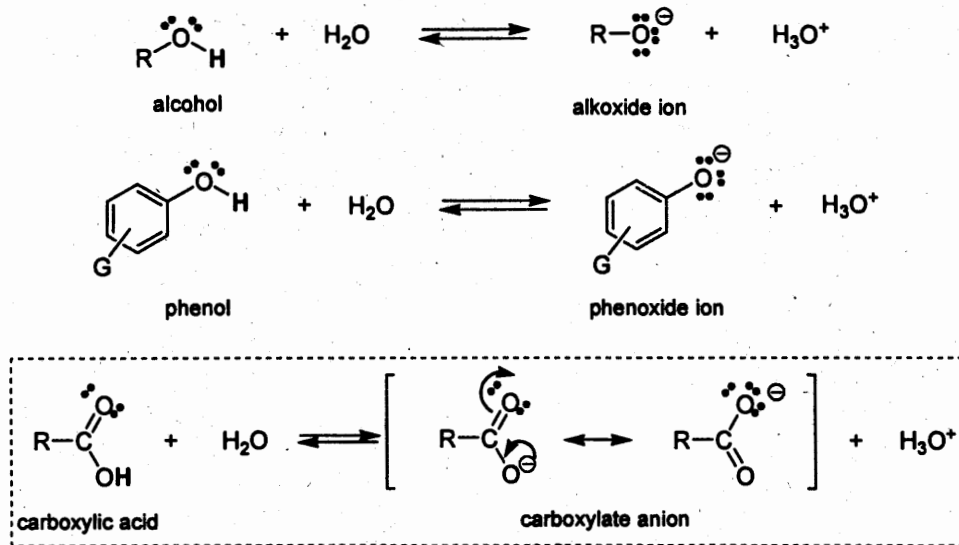
การละลาย

กรดคาร์บอกซิลิกเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำดีมาก ทั้งจากหมู่ -OH และ C=O จึงละลายน้ำดีกว่าแอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ คีโตน และอีเทอร์ ที่น้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน กรดที่มีคาร์บอนไม่เกิน 4 อะตอมละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ การละลายน้ำลดลงเมื่อคาร์บอนมากขึ้น

กรดคาร์บอกซิลิกที่มีโซ่ยาวขึ้นละลายได้ในแอลกอฮอล์ และละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วน้อย เช่น คลอโรฟอร์มได้ โดยละลายในรูปที่เป็นไดเมอร์

9.4 ความแรงของกรดคาร์บอกซิลิก

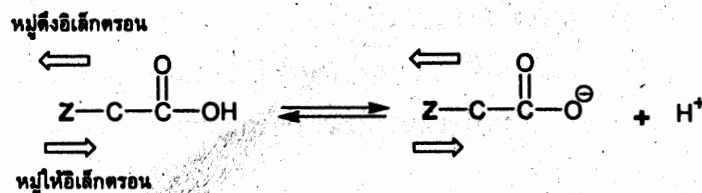
กรดคาร์บอกซิลิกเป็นกรดอ่อน ($pK_a > 0$) มีค่า $pK_a \approx 4 - 5$ แต่เป็นกรดแก่กว่าฟีนอล ($pK_a \sim 10$) และแอลกอฮอล์ ($pK_a \sim 16$) ความสามารถในการแตกตัวให้โปรตอน ขึ้นกับเสถียรภาพของแอนไอออน A^- ซึ่งมีการกระจายอิเล็กตรอน ทั้งโดย inductive effect และเรโซแนนซ์

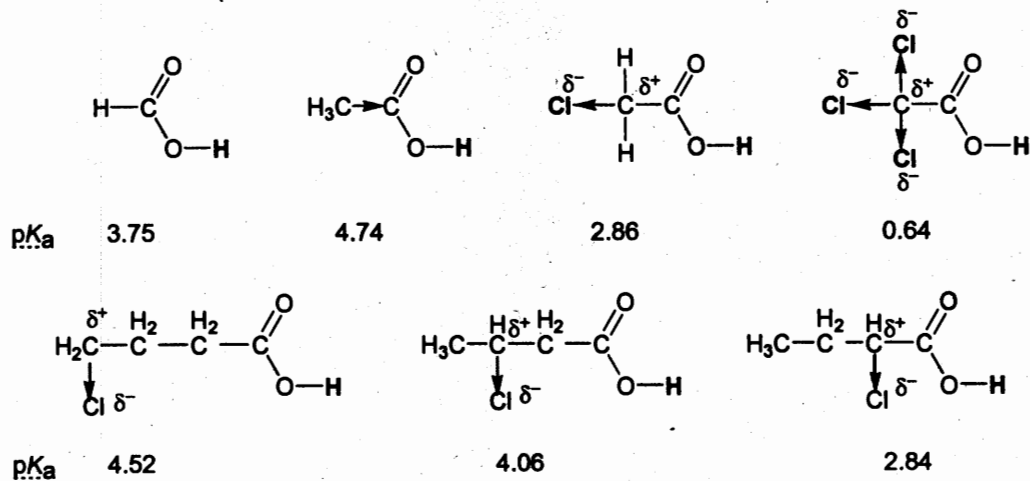


9.4.1 ผลของหมู่แทนที่ที่มีต่อสภาพกรด

9.4.1.1 ผลจาก Inductive effect

เกิดจากการกระจายประจุลบโดยอะตอมที่มีสภาพไฟฟ้าลบสูง ด้วยการดึงอิเล็กตรอนผ่านพันธะซิกมา ทำให้แอนไอออนมีเสถียรภาพมากขึ้น ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (ค่า pK_a ลดลง) inductive effect ขึ้นกับระยะระหว่างหมู่ดึงอิเล็กตรอนกับหมู่คาร์บอกซิลด้วย สำหรับหมู่แอลคิลจะมีผลต่อสภาพกรดไม่มากนัก





รูปที่ 9.2 เปรียบเทียบผลของหมู่แทนที่ชนิด inductive ที่มีต่อค่าคงตัวของกรด

9.4.1.2 ความเกาะเกาะของหมู่อะตอมที่คาร์บอนตำแหน่งแอลฟา

ทำให้การล้อมรอบแอนไอออนโดยตัวทำละลาย (solvation) เกิดยากขึ้น เสถียรภาพของแอนไอออนจะลดลง และแตกตัวยากขึ้น

ตารางที่ 9.4 ผลของหมู่แทนที่บางชนิดที่มีต่อสภาพกรดของกรดคาร์บอกซิลิก

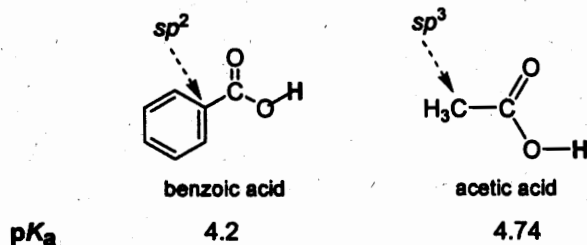
ชื่อกรด	โครงสร้าง	pK_a
<u>โครงสร้างที่ใช้เปรียบเทียบ</u>		
Acetic acid	CH_3COOH	4.74
<u>หมู่แฮโลเจนที่ตำแหน่งแอลฟาทำให้สภาพกรดเพิ่มขึ้น</u>		
Iodoacetic acid	ICH_2COOH	3.10
Bromoacetic acid	BrCH_2COOH	2.90
Chloroacetic acid	ClCH_2COOH	2.85
Fluoroacetic acid	FCH_2COOH	2.59
Trichloroacetic acid	Cl_3CCOOH	0.9
Trifluoroacetic acid	F_3CCOOH	0.23
<u>หมู่ดึงอิเล็กตรอนอื่น โดย inductive effect ที่ทำให้สภาพกรดเพิ่มขึ้น</u>		
Methoxyacetic acid	$\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{COOH}$	3.6
Cyanoacetic acid	$\text{N}\equiv\text{CCH}_2\text{COOH}$	2.5
Nitroacetic acid	$\text{O}_2\text{NCH}_2\text{COOH}$	1.7

9.4.2 การแตกตัวของกรดแอมโรแมติก

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

9.4.2.1 ผลของการไฮบริไดซ์ (Hybridization effect)

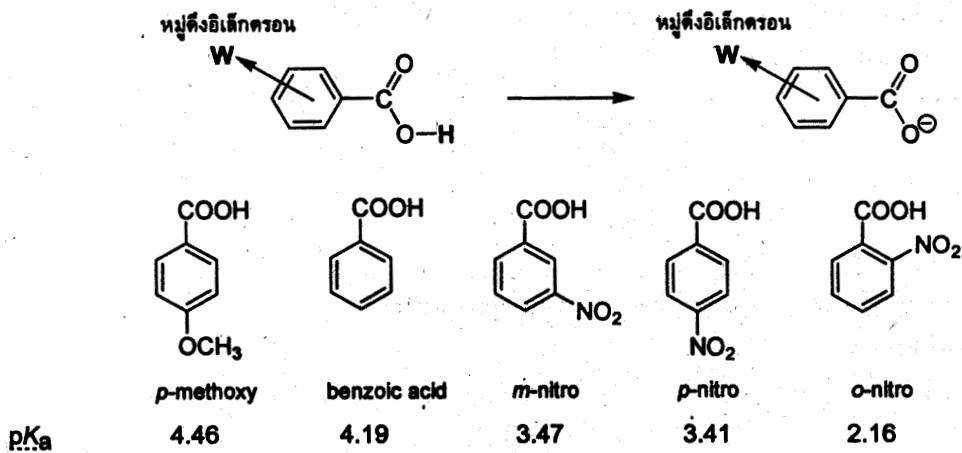
คาร์บอนของวงเบนซีนใช้ออร์บิทัลชนิด sp^2 ดึงอิเล็กตรอนได้ดีกว่าชนิด sp^3 เนื่องจากมีลักษณะของออร์บิทัล s มากกว่า เช่น กรดเบนโซอิกเป็นกรดแก่กว่ากรดอะซิติก เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลเกาะกับคาร์บอนชนิด sp^2 โดยตรง จึงแตกตัวดีกว่าหมู่คาร์บอกซิลที่เกาะกับคาร์บอนชนิด sp^3



9.4.2.2 ผลของหมู่แทนที่ที่วงเบนซีน

การแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิลขึ้นกับหมู่แทนที่ต่างๆที่วงเบนซีน ซึ่งขึ้นกับความสามารถในการให้หรือดึงอิเล็กตรอนของหมู่แทนที่ที่วงแหวน โดยเป็นผลลัพธ์สุทธิที่มาจากทั้ง inductive และเรโซแนนซ์ (อ่านหัวข้อ 4.7.2)

หมู่แทนที่ชนิดดึงอิเล็กตรอนกระจายประจุลบของคาร์บอกซิเลตแอนไอออน ทำให้เป็นกรดที่แก่กว่า ในทางตรงข้ามหมู่ที่ให้อิเล็กตรอนจะทำให้เป็นกรดอ่อนกว่า

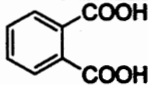
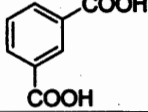


รูปที่ 9.3 ผลของหมู่แทนที่ที่มีต่อการแตกตัวของกรดแอมโรแมติก

9.4.3 การแตกตัวของกรดไดคาร์บอกซิลิก

กรดไดคาร์บอกซิลิกมีค่า pK_2 2 ค่า เมื่อเปรียบเทียบกับ pK_1 ของกรดที่มีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ที่มีคาร์บอนเท่ากัน ค่า pK_1 ของกรดไดคาร์บอกซิลิกมีค่าน้อยกว่า หมู่คาร์บอกซิลแต่ละหมู่เป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอนของอีกหมู่หนึ่ง สำหรับกรดแบบ $HO_2C-(CH_2)_n-CO_2H$ ความแตกต่างระหว่าง pK_1 และ pK_2 ลดลงเมื่อ n เพิ่มขึ้น

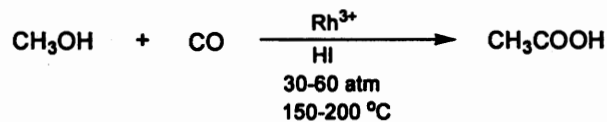
ตารางที่ 9.5 ค่าแตกตัวคงที่กรดของไดกรดคาร์บอกซิลิกบางชนิด

โครงสร้าง	ชื่อกรด	pK_1	pK_2
$HOOC-COOH$	Oxalic acid	1.2	4.2
$HOOC-CH_2-COOH$	Malonic acid	2.9	5.7
$HOOC-(CH_2)_2-COOH$	Succinic acid	4.2	5.6
$HOOC-(CH_2)_3-COOH$	Glutaric acid	4.3	5.4
$HOOC-(CH_2)_4-COOH$	Adipic acid	4.4	5.6
	Phthalic acid	2.9	5.4
	Isophthalic acid	3.5	4.6

9.5 การเตรียมกรดคาร์บอกซิลิก

9.5.1 การเตรียมกรดแอซิกในอุตสาหกรรม

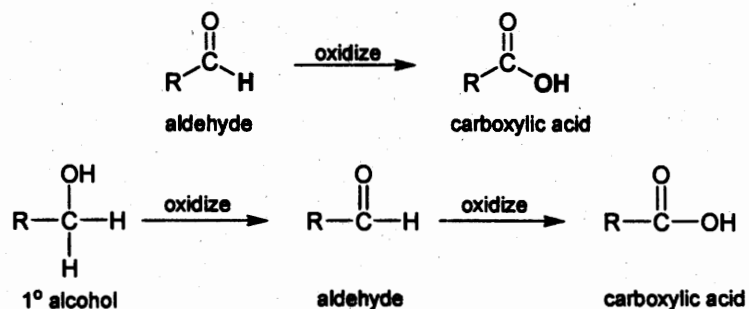
เตรียมโดย Monsanto Process เป็นการนำหมู่คาร์บอนิลเข้าไปในเมทานอล โดยใช้คาร์บอนมอนอกไซด์ (carbonylation reaction) มีเกลียว Rh^{3+} และ HI เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



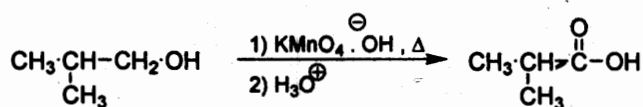
9.5.2 เตรียมโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน

9.5.2.1 โดยการออกซิไดส์แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ และแอลดีไฮด์ (หัวข้อ 6.6.1.5 และ 8.6.3.1)

ทั้งแอลดีไฮด์ และ 1° แอลกอฮอล์ ถูกออกซิไดส์ด้วยตัวออกซิไดส์ที่แรง เช่น KMnO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, H_2CrO_4 ให้กรดคาร์บอกซิลิก สำหรับแอลดีไฮด์ถูกออกซิไดส์โดยตัวออกซิไดส์อย่างอ่อน เช่น Ag_2O และ $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+\text{OH}^-$ ให้กรดคาร์บอกซิลิกได้

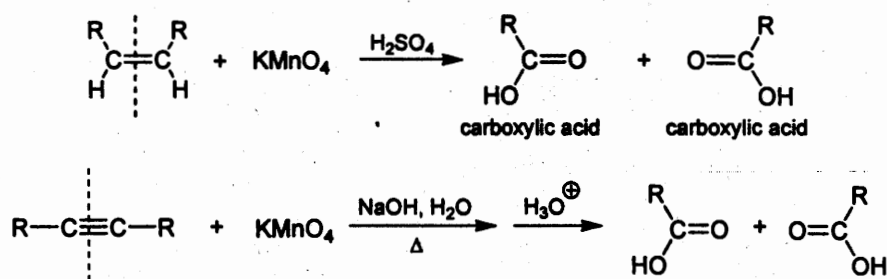


ตัวอย่างปฏิกิริยา

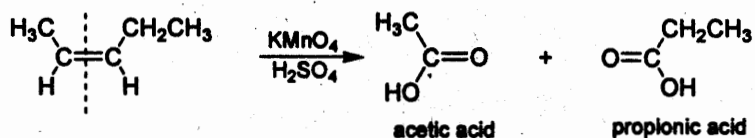


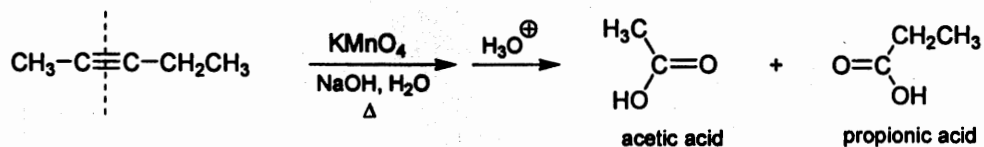
9.5.2.2 โดยการออกซิไดส์แอลคีนและแอลไคน์ (หัวข้อ 3.7.9.4 และ 3.8.2.7)

แอลคีนบางชนิดและแอลไคน์ ทำปฏิกิริยากับสารละลายร้อนของ KMnO_4 เกิดการแตกหักพันธะคู่และพันธะสามให้กรดคาร์บอกซิลิก



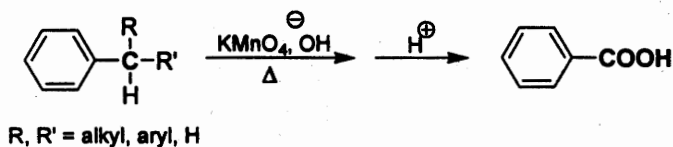
ตัวอย่างปฏิกิริยา



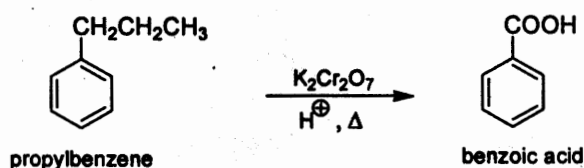


9.5.2.3 โดยการออกซิไดส์แอลคิลเบนซีน (หัวข้อ 4.10.1)

แอลคิลเบนซีนที่มีไฮโดรเจนตำแหน่งเบนซิล ถูกออกซิไดส์ด้วย KMnO_4 ให้หมู่ $-\text{COOH}$ ได้

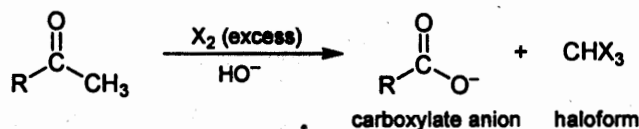


ตัวอย่างปฏิกิริยา

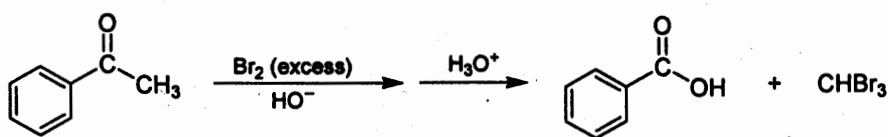


9.5.2.4 โดยใช้ปฏิกิริยาการเกิดแฮโลฟอร์ม (หัวข้อ 8.7.4)

เป็นปฏิกิริยาของเมทิลคีโตน กับแฮโลเจน (Cl_2 หรือ Br_2) ใน สารละลาย NaOH ให้กรดคาร์บอกซิลิก

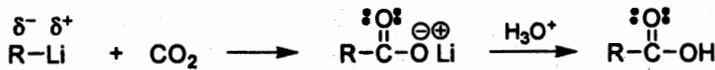
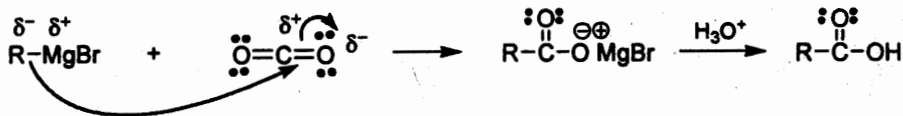


ตัวอย่างปฏิกิริยา

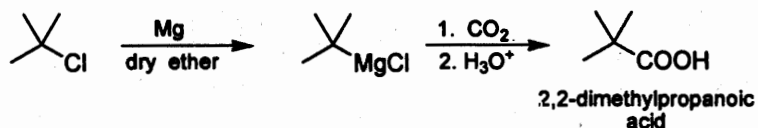
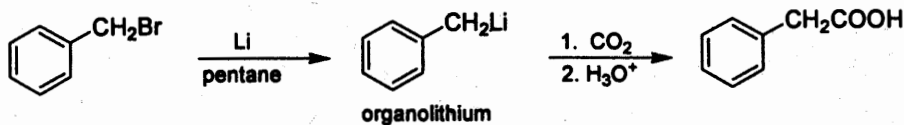


9.5.3 เตรียมจากสารประกอบโลหะอินทรีย์

สารประกอบโลหะอินทรีย์ เช่น กรีนาร์รีเอเจนต์ และออร์แกโนลิเทียม ทำปฏิกิริยากับ น้ำแข็งแห้ง (CO_2) และไฮโดรไลสในสภาวะกรด จะได้กรดคาร์บอกซิลิกซึ่งมีโซ่คาร์บอนมากกว่า สารประกอบแฮไลด์เดิม 1 อะตอม

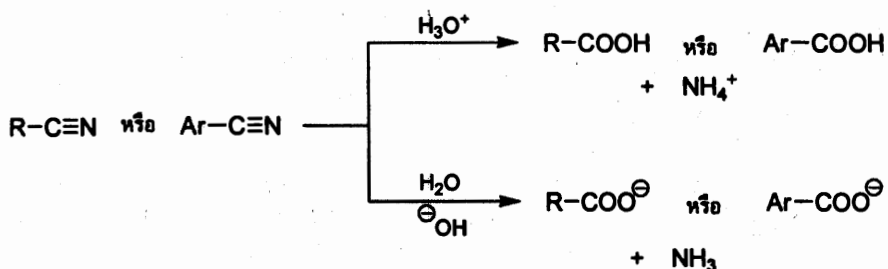


ตัวอย่างปฏิกิริยา



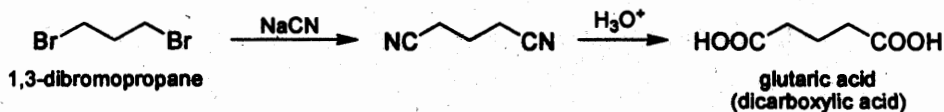
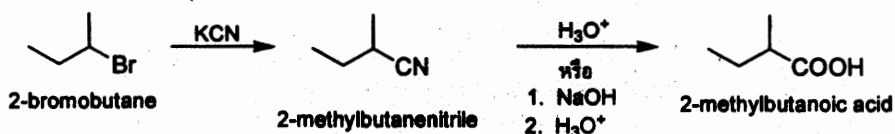
9.5.4 เตรียมจากสารประกอบไนไตรล์

การไฮโดรไลส์ไนไตรล์ (nitriles) ในสารละลายกรด จะได้กรดคาร์บอกซิลิก และเกลือแอมโมเนียม ถ้าเป็นปฏิกิริยาในเบสจะได้เกลือของกรดคาร์บอกซิลิก และแอมโมเนีย

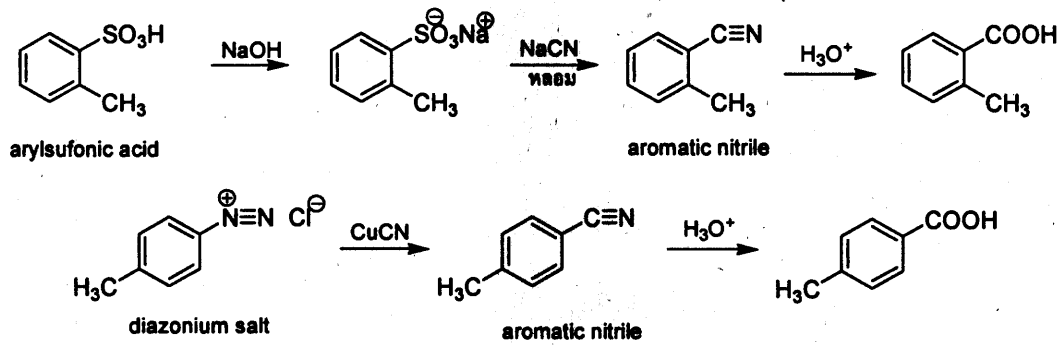


แอลคิลไนไตรล์ เตรียมได้จากปฏิกิริยาของ แอลคิลแฮไลด์ กับ NaCN ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์

ตัวอย่างปฏิกิริยา



สำหรับแอรโรแมติกไนไทรล์ ได้จากการหลอมกรดแอรโรซัลฟอนิก (arylsulfonic acid) กับ NaCN หรือเตรียมจากเกลือไอโซไซเนียมกับ CuCN ซึ่งเมื่อไฮโดรไลส์จะได้กรดแอรโรแมติก

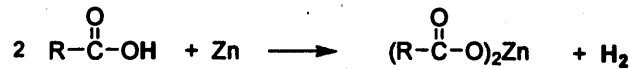


9.6 ปฏิกิริยาของกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic Acid Reactions)

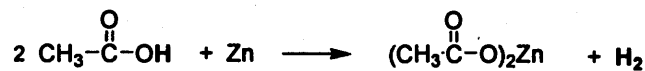
9.6.1 ปฏิกิริยาที่แสดงความเป็นกรด

9.6.1.1 ปฏิกิริยากับโลหะ ให้เกลือ และแก๊สไฮโดรเจน

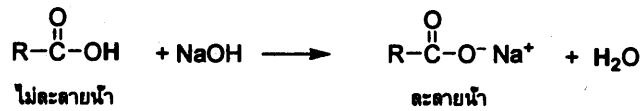
เกลือของโลหะแอลคาไลละลายน้ำได้ สำหรับเกลือของโลหะหนัก เช่น Ag, Hg, Pb มีลักษณะโคเวเลนต์มากขึ้น การละลายน้ำลดลง โดยเฉพาะเมื่อเป็นเกลือของกรดที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 4 อะตอมขึ้นไป



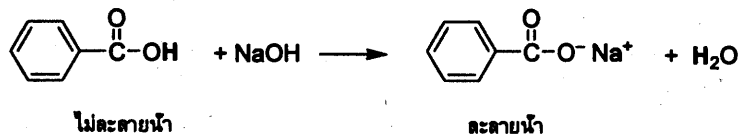
ตัวอย่างปฏิกิริยา



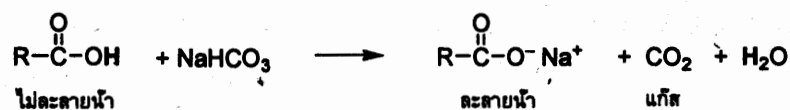
9.6.1.2 ปฏิกิริยากับเบสไอออนิกไฮดรอกไซด์ ให้เกลือ กับน้ำ



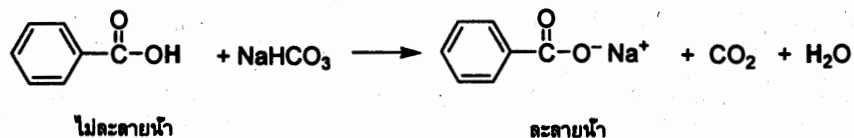
ตัวอย่างปฏิกิริยา



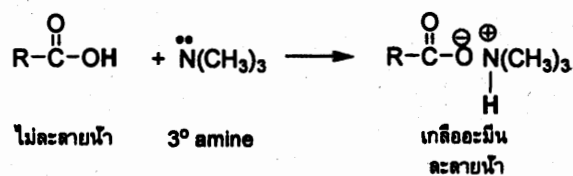
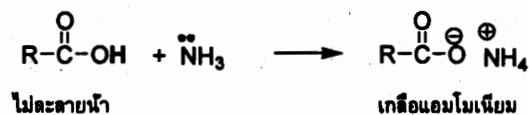
9.6.1.3 ปฏิกิริยากับเบสโซเดียมไบคาร์บอเนต ให้เกลือ, CO₂ และน้ำ



ตัวอย่างปฏิกิริยา

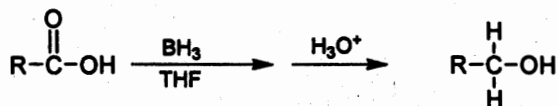
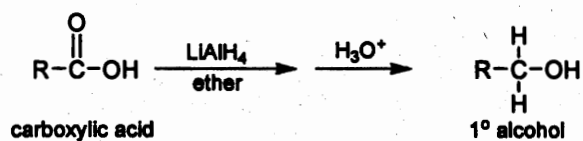


9.6.1.4 ปฏิกิริยากับเบสแอมโมเนีย หรืออะมีน ให้เกลือแอมโมเนียม หรือเกลืออะมีน ตามลำดับ

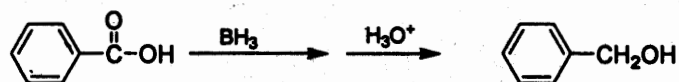
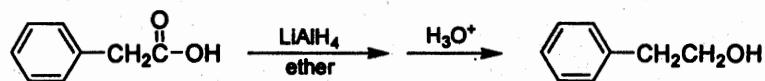


9.6.2 ปฏิกิริยารีดักชัน

กรดคาร์บอกซิลิกถูกรีดิวส์ด้วย LiAlH₄ (หัวข้อ 6.5.4.2) หรือ บอเรน (BH₃) ให้แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ (ไม่เกิดปฏิกิริยาเมื่อใช้ NaBH₄ เป็นสารรีดิวส์)

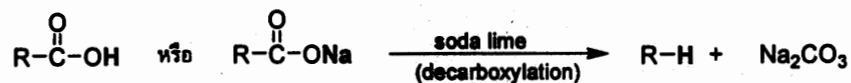


ตัวอย่างปฏิกิริยา

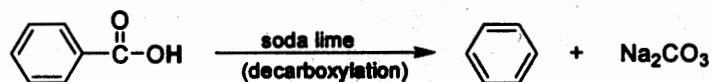


9.6.3 ปฏิกิริยาขจัดคาร์บอนไดออกไซด์ (Decarboxylation reaction)

เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ความร้อนสูง เพื่อขจัดคาร์บอนไดออกไซด์จากหมู่ -COOH หรือ COONa โดยหลอมเกลือโซเดียมของกรด กับ *โซดาไลม์* (soda lime) ซึ่งเป็นสารผสมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์

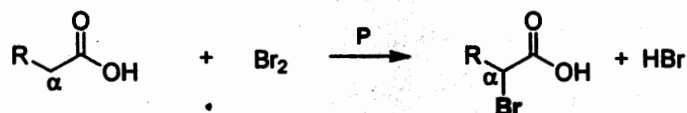


ตัวอย่างปฏิกิริยา

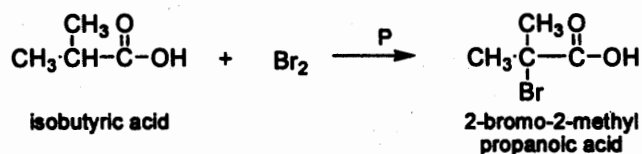


9.6.4 ปฏิกิริยา Hell-Volhard-Zelinsky¹

เป็นการแทนที่ไฮโดรเจนตำแหน่งแอลฟา (α -H) ของหมู่คาร์บอกซิล ด้วยแฮโลเจน (Br_2 หรือ Cl_2) มีฟอสฟอรัส หรือ PX_3 ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}$) เป็นตัวเร่ง ได้ α -haloacids

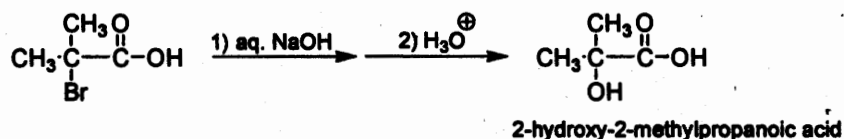


ตัวอย่างปฏิกิริยา



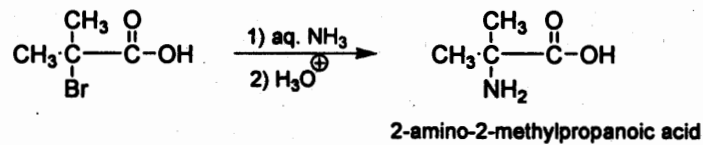
α -haloacids ใช้เตรียมสารประกอบที่มีประโยชน์ ดังนี้

9.6.4.1 เตรียม α -hydroxy acid

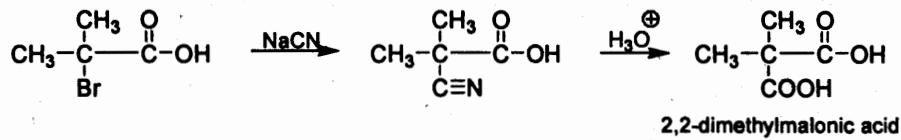


¹ ปฏิกิริยานี้มีชื่อตามนักเคมี 3 ท่าน สองท่านแรกเป็นเยอรมัน คือ *Carl Magnus von Hell* (คศ. 1849-1926) และ *Jacob Volhard* (คศ. 1834-1910) ส่วนท่านที่สาม *Nikolay Zelinsky* (คศ. 1861-1953) เป็นนักเคมีรัสเซีย

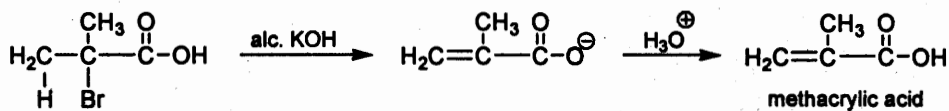
9.6.4.2 เตรียม α -amino acid



9.6.4.3 เตรียม dicarboxylic acid

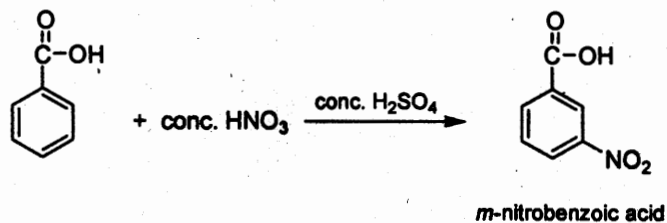


9.6.4.4 เตรียม α, β -unsaturated acid



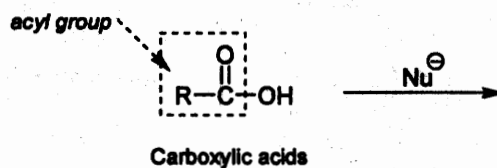
9.6.5 ปฏิกริยาการแทนที่ไฮโดรเจนที่วงเบนซีนของกรดแอมโรแมติก

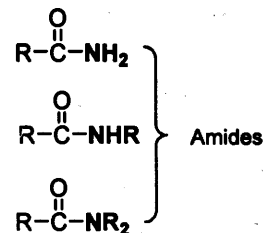
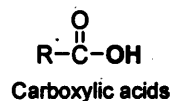
หมู่ $-\text{COOH}$ เป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอน และเป็น *meta* director อิเล็กโตรไฟล์จึงเข้าแทนไฮโดรเจนในตำแหน่งเมตาของหมู่คาร์บอกซิล (หัวข้อ 4.7.2)



9.6.6 ปฏิกริยาที่ให้อนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิก

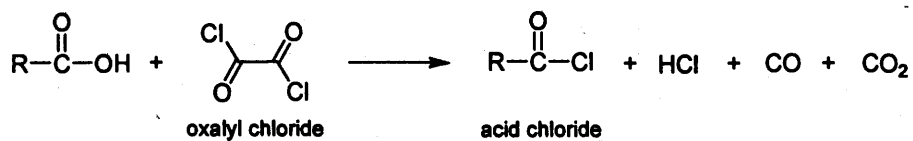
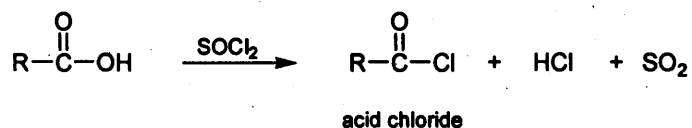
ปฏิกริยานี้ส่วนที่เป็น OH ของกรดคาร์บอกซิลิก ถูกแทนด้วยหมู่แทนที่ซึ่งมีสมบัติเป็นนิวคลีโอไฟล์ เป็นการเข้าแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล ให้อนุพันธ์ชนิดต่างๆ



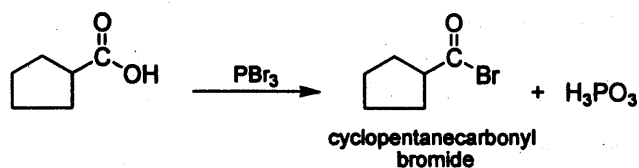
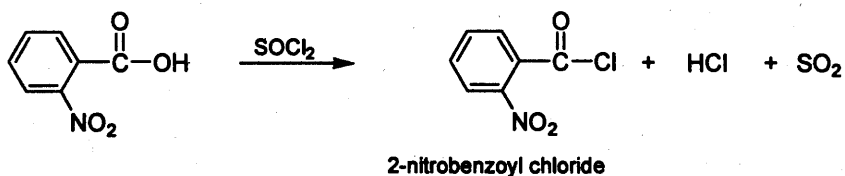


9.6.6.1 ปฏิกิริยาการเกิดแอซิดแฮไลด์

กรดคาร์บอกซิลิกทำปฏิกิริยากับไทโอนิลคลอไรด์ (thionyl chloride; SOCl_2) หรือ SOBr_2 หรือ PCl_3 หรือ oxalyl chloride ให้ แอซิดแฮไลด์ หรือ เอซิดแฮไลด์ (acyl halides) ดังนี้

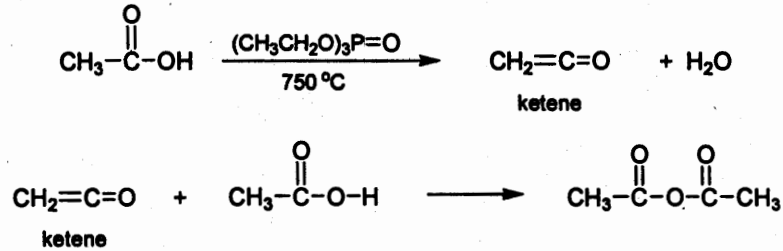


ตัวอย่างปฏิกิริยา

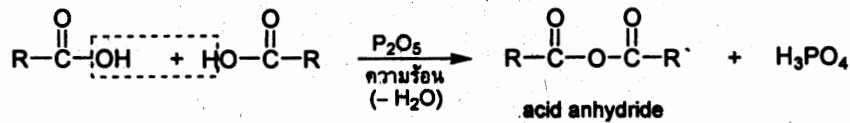


9.6.6.2 ปฏิริยาการเกิดแอซิดแอนไฮไดรด์

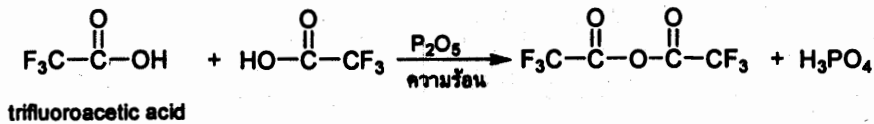
การเตรียม acetic anhydride ในอุตสาหกรรม ใช้การจัดน้ำจากกรดแอซิกด้วยความร้อนสูงโดยมี triethyl phosphate เป็นตัวเร่ง ได้ ketene ซึ่งทำปฏิริยาต่อมากับกรดแอซิกให้ acetic anhydride ปฏิริยานี้คือ ketene process



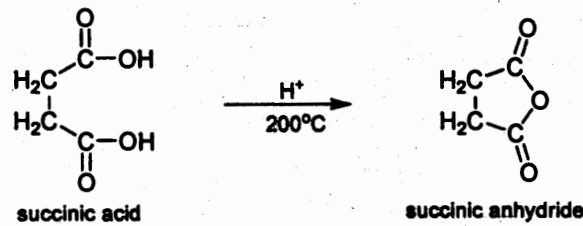
การเตรียมในห้องปฏิบัติการใช้ปฏิริยาการจัดน้ำที่อุณหภูมิสูง ทำให้กรดคาร์บอกซิลิก 2 โมเลกุลรวมกันและมีการจัดน้ำออก 1 โมเลกุล



ตัวอย่างปฏิริยา



ไซคลิกแอนไฮไดรด์ที่มีขนาดวง 5 หรือ 6 อะตอม เตรียมจากการจัดน้ำจากกรดไดคาร์บอกซิลิก



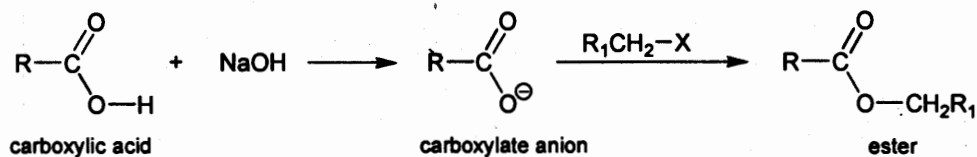
9.6.6.3 ปฏิริยาการเกิดเอสเทอร์ (Esterification) (หัวข้อ 6.6.1.2)

กรดคาร์บอกซิลิกเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ได้ 2 วิธี ดังนี้

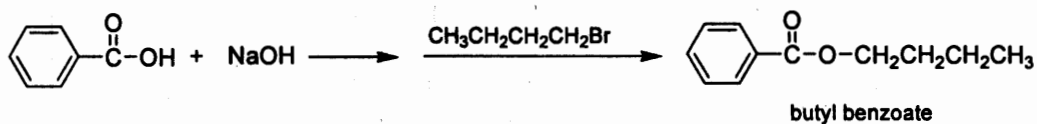
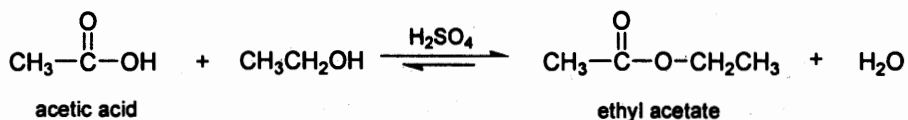
(1) *Fischer esterification* ปฏิริยาระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอล์ ใช้ความร้อนและมีกรด เช่น H_2SO_4 หรือ H_3PO_4 เป็นตัวเร่ง



(2) ปฏิกริยาการแทนที่แบบ S_N2 โดยเปลี่ยนกรดคาร์บอกซิลิกเป็นคาร์บอกซิเลตแอนไอออน ซึ่งเป็นนิวคลีโอไฟล์ เข้าแทนที่แอลคิลแฮไลด์ปฐมภูมิ หรือเมทิลแฮไลด์



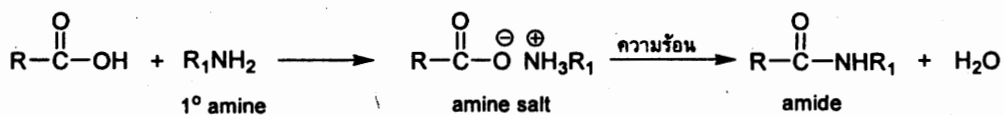
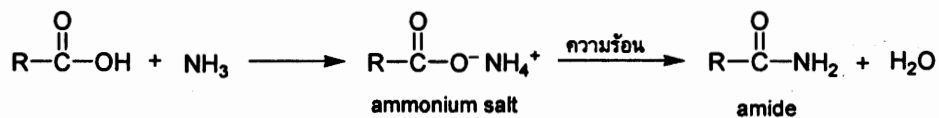
ตัวอย่างปฏิกิริยา



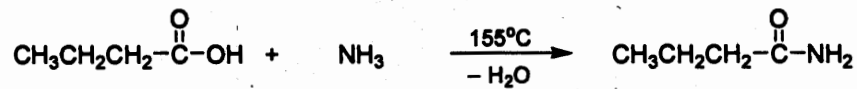
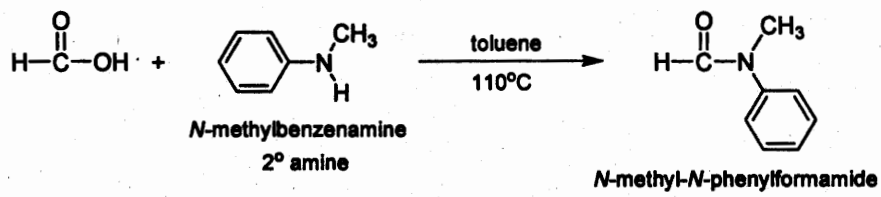
9.6.6.4 ปฏิกิริยาการเกิดอะไมด์

อะไมด์ เป็นอนุพันธ์ที่เตรียมได้โดยตรงจากกรดคาร์บอกซิลิกยากกว่าอนุพันธ์ชนิดอื่น เนื่องจากแอมโมเนียและอะมีนเป็นเบส เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดคาร์บอกซิลิกจะได้เกลือ ปฏิกิริยานี้ใช้เตรียมอะไมด์บางชนิดในอุตสาหกรรมได้ แต่ไม่เหมาะกับการเตรียมในห้องปฏิบัติการ (หัวข้อ 10.4.3.3)

ปฏิกิริยาระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับแอมโมเนีย, อะมีนปฐมภูมิหรือทุติยภูมิ เกิดเกลือแอมโมเนียม หรือเกลืออะมีน ซึ่งเมื่อให้ความร้อนจะเสียน้ำและได้อะไมด์ ดังนี้

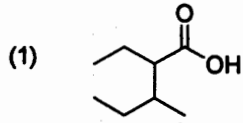


ตัวอย่างปฏิกิริยา

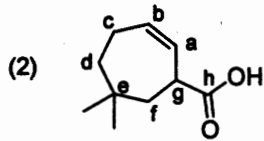


แบบฝึกหัด บทที่ 9

1. ตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกและต้องเหมาะสม

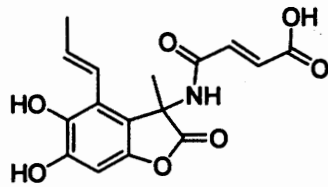


- คำลงท้ายชื่อตามระบบ IUPAC ของสารต่อไปนี้คือ _____
- จำนวนคาร์บอนในโซ่หลักมีกี่อะตอม ? _____
- มีหมู่แอลคิลแทนที่ในโซ่หลักกี่หมู่ ? _____
- ชื่อตามระบบ IUPAC ของสารนี้คือ _____

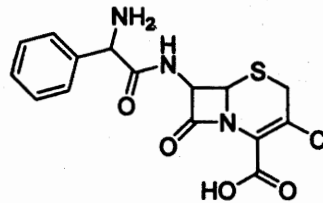


- สารนี้มีค่าดัชนีการขาดไฮโดรเจนเท่าใด _____
- ในการกำหนดเลขตำแหน่ง คาร์บอนอะตอมใดเป็นตำแหน่งที่ 1 _____
- หมู่แอลคิลทั้งสองชนิดอยู่ในเลขตำแหน่งใด _____
- ชื่อตามระบบ IUPAC ของสารนี้คือ _____

2. เขียนวงล้อมรอบเฉพาะหมู่กรดคาร์บอกซิลิก ในสารต่อไปนี้ (ถ้ามี)

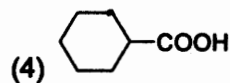
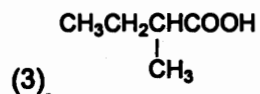
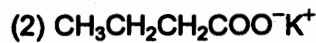
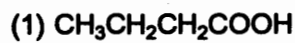


Fumimycin

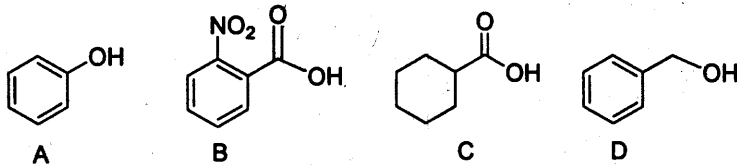


Cefactor
(antibiotic)

3. สารใดละลายน้ำได้ดีที่สุด



4. การเรียงลำดับสภาพกรดของสารประกอบต่อไปนี้ข้อใดถูก

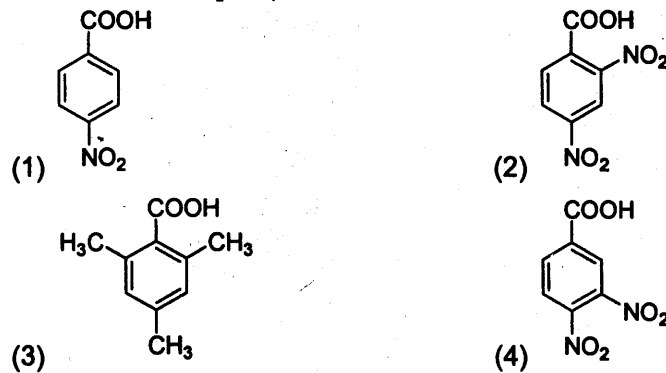


- (1) C > B > D > A (2) B > C > A > D
 (3) A > C > B > D (4) D > B > C > A

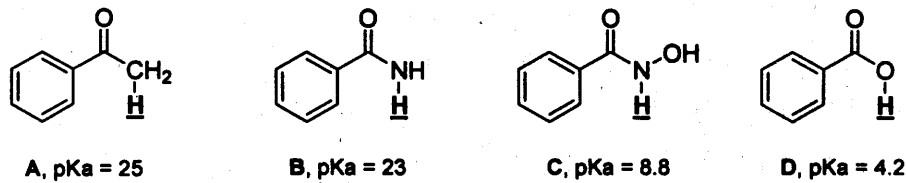
5. โครงสร้างใดเป็นกรดแก่ที่สุด



6. กรดใดมีค่า pKa สูงที่สุด



7. สารประกอบ A, B, C และ D มีค่า pKa ของโปรตอน H ในโครงสร้างเป็น 25, 23, 8.8 และ 4.2 ตามลำดับ ข้อความใดไม่ถูกต้อง

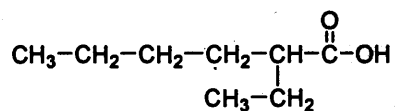


- (1) B เป็นกรดแก่กว่า A
 (2) B เป็นกรดอ่อนกว่า C
 (3) D เป็นกรดที่แก่กว่า C
 (4) A, B และ C เป็นกรดแก่กว่า D

8. สารใดเป็นไอโซเมอร์ชนิดโครงสร้างของ hexanoic acid

- (1) 2-methylbutanal (2) 3-methylpentan-2-one
(3) 3,3-dimethylbutanoic acid (4) 3-ethylpentanoic acid

9. สารต่อไปนี้คือสารใด

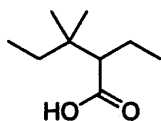


- (1) 2-ethylpentanoic acid (2) 2-butylbutanoic acid
(3) 2-ethylhexanoic acid (4) 1-ethylhexanoic acid

10. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ คือสารใด

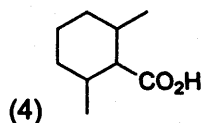
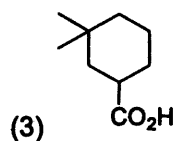
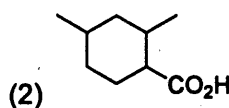
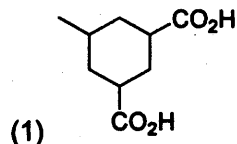
- (1) 4-methylhexanoic acid
(2) 3,3-dimethylhexanoic acid
(3) 4,4-dimethylpentanoic acid
(4) 4,4-dimethylhexanoic acid

11. สารนี้คือสารใด

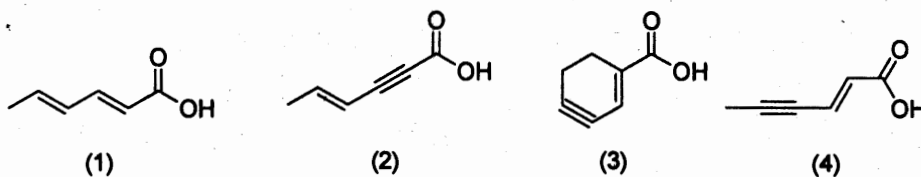


- (1) 4,4-dimethyl-3-hexanoic acid
(2) 2-ethyl-3,3-dimethylpentanoic acid
(3) 3,3-dimethyl-2-ethylpentanoic acid
(4) 4,4-dimethyl-3-carboxylhexane

12. โครงสร้างใดคือ 2,4-dimethylcyclohexanecarboxylic acid



13. โครงสร้างใดคือ 2-hexen-4-ynoic acid



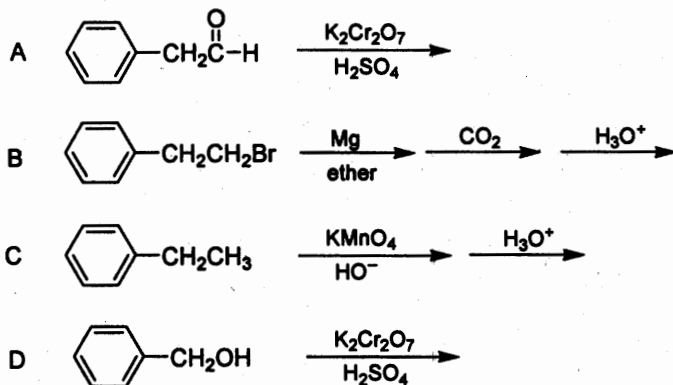
14. สารประกอบใดถูกออกซิไดส์ให้กรดคาร์บอกซิลิก

- (1) methanol (2) propan-2-ol
(3) 2-methylpropan-2-ol (4) propanone

15. สารใดที่ให้ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงในขั้นเดียว

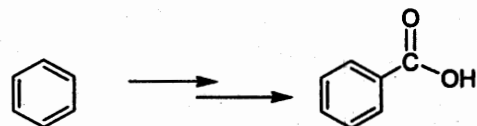
- (1) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ (2) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{H}$
(3) $\text{H}-\text{C}\equiv\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ (4) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}\equiv\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
(5) ทั้ง a, b, c และ d

16. ปฏิริยาใดที่ให้กรดคาร์บอกซิลิกตัวเดียวกัน



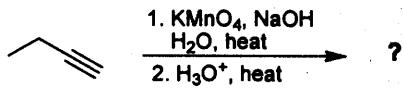
- (1) A และ B (2) C และ D
(3) B และ D (4) A และ C

17. ในปฏิริยาการเปลี่ยนแปลงต่อไปนี้ใช้รีเอเจนต์ข้อใดได้



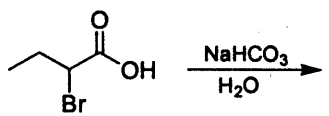
- (1) 1. $\text{Br}_2/\text{AlBr}_3$; 2. Mg/ether ; 3. CO_2 ; 4. H_3O^+
(2) 1. $\text{CH}_3\text{CHClCH}_3/\text{AlCl}_3$; 2. $\text{KMnO}_4, \text{H}_3\text{O}^+$
(3) 1. $(\text{CH}_3)_3\text{CCl}/\text{AlCl}_3$; 2. $\text{KMnO}_4, \text{H}_3\text{O}^+$
(4) ข้อ 1 และ 2

18. ปฏิกริยาต่อไปนี้จะได้อะไร



- (1) OC=O + C=O
- (2) CCC(=O)O + C=O
- (3) CCC(=O)O + C=O
- (4) CCC(=O)O + CO2

19. ปฏิกริยาต่อไปนี้จะได้อะไร



- (1) CCC1OC1
- (2) CCC(Br)C(=O)[O-][Na+]
- (3) CCC(O)C(=O)O

(4) ไม่เกิดปฏิกิริยา

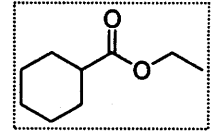
20. ตัวเลือกใดมีความไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของนิวคลีโอไฟล์มากที่สุด

- (1) c1ccccc1C(=O)[O-]
- (2) c1ccccc1C(=O)O
- (3) c1ccccc1C(=O)[OH2+]

(4) พอดีกันทั้ง 3 ชนิด

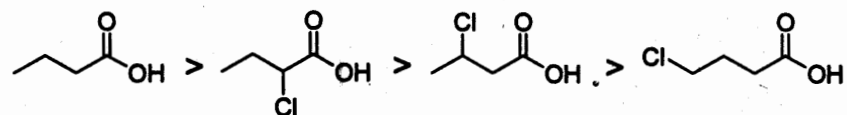
21. เอสเทอร์ทางด้านขวามาจากกรดใด

- (1) CCCC(=O)O
- (2) CCC(=O)O
- (3) C1CCCCC1C(=O)O
- (4) C1CCCCC1CC(=O)O

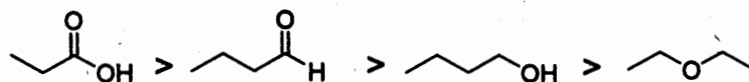


22. แต่ละข้อต่อไปนี้เป็นคำถามแบบถูก-ผิด ข้อที่ผิดให้อธิบายหรือแก้ไขให้ถูกต้อง

(1) ลำดับความเป็นกรดของกรดคาร์บอกซิลิก



(2) จุดเดือดของสารประกอบต่อไปนี้เรียงลำดับดังนี้



(3) ชื่อของสารนี้ คือ 2,2-dibromopropanedioic acid

