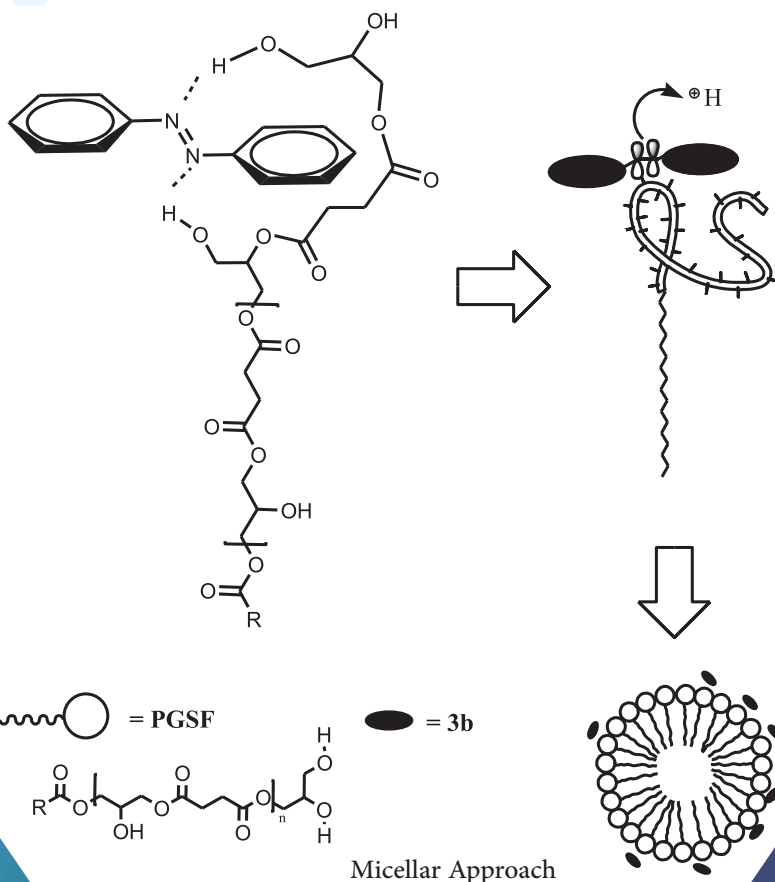




สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เคมีอินทรีย์เบื้องต้น: สำหรับนักวิทยาศาสตร์



ดร.จิรดา สิงขรัตน์

เคมีอินทรีย์เบื้องต้น: สำหรับนักวิทยาศาสตร์

โครงการหนังสือวิชาการที่น่าพิมพ์ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ให้จัดพิมพ์และจำหน่ายในราคาเย่อเยา



ถ่ายเอกสารแทนการใช้หนังสือ
คือการทำลายภูมิปัญญาสร้างสรรค์

เคมีอินทรีย์เบื้องต้น: สำหรับนักวิทยาศาสตร์

ดร.จิรดา สิงขรัตน์

รองศาสตราจารย์

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

2565

จิดดา สิงขรัตน์.

เคมีอินทรีย์เบื้องต้น: สำหรับนักวิทยาศาสตร์.

1. อินทรีย์เคมี. 2. สารประกอบอินทรีย์.

QD251.3

ISBN 978-616-314-846-9

ISBN (E-BOOK) 978-616-314-853-7

ลิขสิทธิ์ของรองศาสตราจารย์ ดร.จิดดา สิงขรัตน์

สงวนลิขสิทธิ์

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 1 เดือนเมษายน 2565

จำนวน 100 เล่ม

ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ (e-book) เมษายน 2565

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ท่าพระจันทร์: อาคารธรรมศาสตร์ 60 ปี ชั้น U1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ถนนพระจันทร์ กรุงเทพฯ 10200 โทร. 0-2223-9232

ศูนย์รังสิต: อาคารโดมบริหาร ชั้น 3 ห้อง 317 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

โทร. 0-2564-2859-60 โทรสาร 0-2564-2860

<http://thammasatpress.tu.ac.th>, e-mail: unipress@tu.ac.th

พิมพ์ที่โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ภาพปก: ไบโอฟอลิเมอร์ชนิดพิจิเอสโอลิโกเมอร์ (PGSF) ได้ถูกพัฒนาใช้ในเทคโนโลยีไมเซลล์ (micellar) เพื่อช่วยเสริมกลไกการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของอนุพันธ์ไนโตรอะโรมาติก (3b) ภายใต้สภาวะบรรยากาศ ๓ อุณหภูมิห้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ราคาเล่มละ 500.- บาท

สารบัญ

สารบัญตาราง	(12)
สารบัญรูป	(13)
คำนำ	(21)
กิตติกรรมประกาศ	(23)

บทที่ 1 พันธะโควาเลนต์ในสารอินทรีย์	1
1.1 จุดเริ่มต้นของเคมีอินทรีย์	1
1.2 โครงสร้างของอะตอม	2
1.3 การสร้างพันธะ	5
1.4 โครงสร้างของลิแกนด์	10
1.5 พันธะแบบหลายพันธะ (Multiple Bonding)	16
1.6 อิเล็กโตรเนกาติวิตีและการมีขั้วของพันธะ (Electronegativity and Bond Polarity)	23
1.7 ประจุฟอร์มัล (Formal Charges)	26
1.8 โครงสร้างไอออนิก (Ionic Structure)	28
1.9ก เรโซแนนซ์ไฮบริดส์ (Resonance Hybrids)	29
1.9ข เรโซแนนซ์ตัวหลักและตัวรอง (Major and Minor Resonance Contributors)	30
1.10 โจทย์ตัวอย่าง	32

บทที่ 2 ปฏิกิริยาและกลไกทางเคมีของเคมีอินทรีย์	34
2.1 ปฏิกิริยากรด-เบส	36
2.2 การแตกพันธะโควาเลนต์ของคาร์บอนแบบเฮเทอโรไลติก	39
2.3 ความสัมพันธ์ของโครงสร้างสารอินทรีย์ต่อความเป็นกรด	40
2.3.1 ผลจากการเกิดไฮบริดเซชัน	41
2.3.2 ผลจากการเกิดการเหนี่ยวนำอิเล็กตรอนผ่านพันธะ	42
2.3.3 ผลจากการเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในโมเลกุล	43
2.4 ความสัมพันธ์ของโครงสร้างสารอินทรีย์ต่อความเป็นเบส	45
2.5 กลไกของปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์	46
2.6 ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์	48
2.6.1 ปฏิกิริยาการขับไล่เพื่อแทนที่	48
2.6.2 คุณสมบัติทั่วไปของปฏิกิริยาขับไล่เพื่อการแทนที่	50
2.6.3 กลไกปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์แบบอาศัยสองโมเลกุล หรือ S_N2	52

2.6.4	กลไกปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์แบบอาศัยหนึ่งโมเลกุล หรือ S_N1	53
2.6.5	ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิด S_N1 และ S_N2	57
2.7	ปฏิกิริยาการขจัด (Elimination Reaction, E)	65
2.7.1	การขจัดโมเลกุลของไฮโดรฮาโลเจน	65
2.7.2	กลไกของปฏิกิริยาการขจัด	66
2.7.3	การแข่งขันของกลไกการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่และการขจัด	69
2.8	แบบฝึกหัด	76

บทที่ 3 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน 79

3.1	รูปทรงของอัลเคนและไซโคลอัลเคน	80
3.2	การเรียกชื่อของอัลเคนและไซโคลอัลเคน	82
3.3	พันธะซิกมากับการหมุนพันธะของอัลเคน และความเสถียรของไซโคลอัลเคน	87
3.4	การปฏิกิริยาและการสังเคราะห์อัลเคนและไซโคลอัลเคน	91
3.5	อัลคีนและอัลไคน์ (Alkenes and Alkynes)	93
3.5.1	การเรียกชื่อแบบ E-Z สำหรับระบบไดเอสเทอร์โอเมอร์ของอัลคีน	93
3.5.2	ความเสถียรของอัลคีนและไซโคลอัลคีน	95
3.5.3	การสังเคราะห์อัลคีนด้วยปฏิกิริยาการขจัด	97
3.5.4	การเรียกชื่อของอัลไคน์ (IUPAC Nomenclature of alkynes)	103
3.6	การสังเคราะห์อัลไคน์ด้วยปฏิกิริยาการขจัด	103
3.7	ปฏิกิริยาการเติมโมเลกุลไฮโดรเจนกับอัลคีนและอัลไคน์	106
3.8	การแทนที่ของอะเซทิลีนิกไฮโดรเจนอะตอม ณ ปลายของอัลไคน์	108
3.9	ข้อมูลโครงสร้างของสูตรเคมีและดัชนีการขาดไฮโดรเจน	109
3.10	ปฏิกิริยาการเพิ่มบนอัลคีน (Additions to Alkenes)	110
3.10.1	กลไกของปฏิกิริยาการเพิ่มแบบอิเล็กโตรฟิลิกและกฎของมาร์คอฟนิกอฟ	112
3.10.2	ปฏิกิริยาการเพิ่มแบบอิเล็กโตรฟิลิกของโบรมีนและคลอรีนบนอัลคีน	113
3.10.3	ปฏิกิริยาออกซิเดชันของอัลคีน	114
3.11	การแตกแบบออกซิเดทีฟของพันธะคู่	115
3.11.1	การแตกพันธะคู่ด้วยเปอร์แมงกาเนทในเบสที่ร้อน	116
3.11.2	การเติมโอโซน (Ozonolysis)	117
3.12	ปฏิกิริยาการเพิ่มบนอัลไคน์ (Additions to Alkynes)	118
3.12.1	ปฏิกิริยาการเพิ่มแบบอิเล็กโตรฟิลิกบนอัลไคน์ด้วยโบรมีนและคลอรีน	118
3.12.2	ปฏิกิริยาการเพิ่มของไฮโดรเจนเฮไลด์บนอัลไคน์	118
3.12.3	การแตกพันธะสามด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน	119

3.13 สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดแอโรมาติก (Aromatic Hydrocarbons)	121
3.13.1 การเรียกชื่ออนุพันธ์ของเบนซีน	122
3.13.2 ลักษณะเฉพาะของเบนซีน	124
3.14 ปฏิกิริยาของสารประกอบแอโรมาติก	126
3.14.1 กลไกทั่วไปของปฏิกิริยาการแทนที่สารประกอบแอโรมาติกด้วยอิเล็กโตรไฟล์	127
3.14.2 ปฏิกิริยาฮาโลจีเนชันของเบนซีน (Halogenation of Benzene)	128
3.14.3 ปฏิกิริยาไนเตรชันของเบนซีน (Nitration of Benzene)	130
3.14.4 ปฏิกิริยาซัลโฟเนชันของเบนซีน (Sulfonation of Benzene)	131
3.14.5 เฟรเดล-คราฟท์ อัลคิเลชัน (Friedel-Craft Alkylation)	133
3.14.6 เฟรเดล-คราฟท์ เอซิลเลชัน (Friedel-Craft Acylation)	134
3.14.7 ผลของการแทนที่ต่อความไวและการจัดเรียงความสำคัญตามตำแหน่งของวงเบนซีน	136
3.15 แบบฝึกหัด	140

บทที่ 4 สเตอริโอเคมี

143

4.1 ไครอลิตี (Chirality)	143
4.2 รูปแบบของไอโซเมอร์	143
4.3 อิแนนซีโอเมอร์และโมเลกุลแบบไครัล (Enantiomers and Chiral Molecules)	145
4.4 การทดสอบความเป็นไครัลด้วยระนาบของสมมาตร	146
4.5 การเรียก Enantiomers ในระบบ <i>R</i> และ <i>S</i>	147
4.6 คุณสมบัติของ Enantiomers: เชิงแสง	150
4.7 คุณสมบัติเชิงแสงที่หายไปของราเซมิก	152
4.8 การสังเคราะห์โมเลกุลที่มี Chiral	153
4.9 โมเลกุลที่มี Chirality Center มากกว่าหนึ่ง	154
4.10 การเรียกโมเลกุลที่มี Chirality Center มากกว่าหนึ่ง	158
4.11 การเขียนสูตรแบบฟิชเชอร์ (Fischer Projection Formulas)	160
4.12 รูปแบบสเตอริโอไอโซเมอร์ของสารที่เป็นวง	162
4.13 การจัดเรียงตัวตามความสัมพันธ์และความเป็นจริง	164
4.14 การเป็นโมเลกุลแบบ Chiral โดยที่ไม่มี Chirality Center ในโครงสร้าง	167
4.15 แบบฝึกหัด	168

บทที่ 5 สารประกอบอัลคิลเฮไลด์	172
5.1 การเรียกชื่อ	173
5.2 ชนิดของอัลคิลเฮไลด์	175
5.3 คุณสมบัติทางกายภาพของอัลคิลเฮไลด์	177
5.4 การเตรียมอัลคิลเฮไลด์	178
5.4.1 ปฏิกิริยาการแทนที่ของอัลเคน	178
5.4.2 ปฏิกิริยาการเติมของอัลคีนและอัลไคน์	183
5.4.3 ปฏิกิริยาการแทนที่ของแอลกอฮอล์	184
5.5 ปฏิกิริยาของอัลคิลเฮไลด์	186
5.5.1 ปฏิกิริยาการแทนที่ (Substitution Reaction, SN)	186
5.5.2 ปฏิกิริยาการจัด (Elimination Reaction, E)	187
5.5.3 สารประกอบโลหะอินทรีย์ (Organometallic Compound)	187
5.6 โจทย์ตัวอย่าง/แบบฝึกหัด	188
บทที่ 6 แอลกอฮอล์	190
6.1 การเรียกชื่อ	191
6.1.1 การเรียกชื่อตามระบบอัลคิลแอลกอฮอล์	191
6.1.2 การเรียกชื่อตามระบบคาร์บินอล	192
6.1.3 การเรียกชื่อตามระบบ IUPAC	192
6.1.4 การเรียกชื่อสารประกอบอีเทอร์	193
6.2 คุณสมบัติของแอลกอฮอล์	194
6.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ	194
6.2.2 สภาพความเป็นกรดและอิทธิพลอินดักทีฟ	195
6.2.3 แอลกอฮอล์ที่สำคัญบางชนิด	196
6.2.4 อีเทอร์ที่สำคัญบางชนิด	197
6.3 ปฏิกิริยาการเตรียมแอลกอฮอล์	198
6.3.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (เติมโมเลกุลของน้ำ)	198
6.3.2 ปฏิกิริยาจากสารกรินยาร์ด (Grignard Reagent)	200
6.3.3 ปฏิกิริยารีดักชันของอัลดีไฮด์และคีโตน	203
6.3.4 ปฏิกิริยาการแทนที่	208
6.4 ปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์	208
6.4.1 ปฏิกิริยาความเป็นกรด	208
6.4.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน	208

6.4.3 การสังเคราะห์ Alkyl Halide จาก Alcohol	209
6.4.4 สภาพความเป็นกรดและอัลคอกไซด์ไอออน	210
6.5 สารประกอบอีพอกไซด์ (Epoxides)	212
6.6 โจทย์ตัวอย่าง	213
บทที่ 7 อัลดีไฮด์ และคีโตน	216
7.1 สมบัติทางกายภาพของ Aldehydes and Ketones	216
7.2 การเรียกชื่อ	219
7.3 ความสำคัญของ Aldehyde and Ketones	221
7.4 การเตรียม Aldehyde และ Ketones	221
7.4.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Alcohol	221
7.4.2 โอโซโนไลซิสของอัลคีน	224
7.4.3 Hydrogenolysis of Acyl Chlorides	225
7.4.4 ปฏิกิริยาเอซีเลชันของฟรีเทล-คราฟท์ (Friedel-Crafts Acylation)	226
7.5 ปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอนิล	226
7.5.1 การเติมน้ำ (Hydrolysis) และเติมด้วย Alcohols	227
7.5.2 การเติมด้วยเอมีน (Imine Formation)	228
7.5.3 ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction or Deoxygenation of Ketones and Aldehydes)	229
7.5.4 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอัลดีไฮด์	230
7.5.5 การปฏิกิริยาอัลดอล (Aldol Reactions)	230
7.6 โจทย์ตัวอย่าง	232
บทที่ 8 กรดคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์	234
8.1 การเรียกชื่อและสมบัติทางกายภาพของกรดคาร์บอกซิลิก	235
8.1.1 การเรียกชื่อของกรดคาร์บอกซิลิก	235
8.1.2 สมบัติทางกายภาพของกรดคาร์บอกซิลิก	235
8.2 อนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิก	237
8.2.1 เอสเทอร์ (Esters)	237
8.2.2 เอไมด์ (Amides)	238
8.2.3 ไนไตรล์ หรืออัลคิลไซยาไนด์ (Nitriles or Alkyl Cyanide)	239
8.2.4 แอนไฮไดรด์ (Carboxylic Anhydrides)	240
8.2.5 เอริลคลอไรด์ (Aryl Chlorides)	241

8.3	การเตรียมกรดคาร์บอกซิลิก	241
8.3.1	การออกซิไดส์ Primary Alcohol (Oxidation of Primary Alcohols)	241
8.3.2	การออกซิไดส์อัลดีไฮด์ (Oxidation of Aldehydes)	242
8.3.3	การออกซิไดส์อารีน (Oxidation of Arenes)	242
8.3.4	การออกซิไดส์ของอัลคีน (Alkene Oxidation)	242
8.3.5	ไฮโดรลิซิสของไนทริล (Hydrolysis of Nitriles)	243
8.4	ปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ในกรดคาร์บอกซิลิก	245
8.5	ปฏิกิริยาอื่นๆ ของกรดคาร์บอกซิลิก	245
8.5.1	การเกิดเกลือ (Salt Formation)	245
8.5.2	การรีดิวซ์ได้เป็น Primary Alcohol (Reduction to Acohols)	246
8.5.3	การเปลี่ยนไปเป็นเอซิลเฮไลด์ (Conversion to Acyl Halides หรือ Acid Halides)	246
8.6	โจทย์ตัวอย่าง	247
บทที่ 9	เอมีน	250
9.1	การอ่านชื่อ	250
9.2	คุณสมบัติ	251
9.2.1	โครงสร้าง (Struture of Amines)	251
9.2.2	สมบัติทางกายภาพของเอมีน (Physical Properties)	252
9.2.3	ความเป็นเบสและเกลือของเอมีน	253
9.2.4	เอมีนกับการใช้เป็นสารช่วยแยก Enantiomers (Amines as Resolving Agents)	255
9.2.5	เอมีนที่สำคัญทางชีวภาพ (Biologically Important Amines)	256
9.3	ปฏิกิริยาการเตรียมเอมีน	256
9.3.1	ปฏิกิริยาอัลคิลเลชัน	256
9.3.2	ปฏิกิริยารีดักทีฟแอมมิเนชัน	258
9.3.3	ปฏิกิริยารีดักชันของสารไนโตร	259
9.3.4	ปฏิกิริยารีดักชันของไนโตรล์และเอไมด์	260
9.4	ปฏิกิริยาของเอมีน	261
9.4.1	ความเป็นเบส	261
9.4.2	ปฏิกิริยาแทนที่จากความเป็นนิวคลีโอไฟล์	262

9.5 สารประกอบอื่นๆ ที่มีหมู่อะมิโน	263
9.5.1 กรดอะมิโน	263
9.5.2 เบสอินทรีย์ (Organic Bases)	263
9.6 โจทย์ตัวอย่าง	264
บทที่ 10 โมเลกุลขนาดใหญ่	265
10.1 พอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Organic Polymer)	265
10.2 พอลิเมอร์ธรรมชาติ	266
10.2.1 โปรตีน (Proteins)	266
10.2.2 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	267
10.3 สารแมคโครโมเลกุล	270
10.3.1 ไลปิด: ไขมันและน้ำมัน (Lipid: Fats and Oils)	270
10.3.2 ปฏิกิริยาของไขมันและน้ำมัน	272
10.3.2.1 การเกิดปฏิกิริยากับน้ำ (Hydrolysis)	272
10.3.2.2 การเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification)	272
10.4 ไมเซลล์และอิมัลชัน	273
10.5 โจทย์ตัวอย่าง	276
เฉลยแบบฝึกหัด	277
เอกสารอ้างอิง	347
ดัชนี	349

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	แสดงค่าเฉลี่ยของความยาวพันธะสำหรับพันธะเดี่ยวพันธะคู่และพันธะสาม	20
ตารางที่ 1.2	แสดงค่าไดโพลโมเมนต์ (dipole moment, μ) ของโมเลกุลอย่างง่าย	23
ตารางที่ 1.3	แสดงพลังงานของโมเลกุลที่ใช้ในการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ของสารโควาเลนต์บางชนิด	25
ตารางที่ 2.1	แสดง Proton acidity ที่เพิ่มขึ้นของสารที่ต่างกันตามธาตุในหมู่เดียวกัน	41
ตารางที่ 2.2	แสดง polarity ของพันธะโควาเลนต์ระหว่างคาร์บอนกับอะตอมอื่นๆ	43
ตารางที่ 2.3	ตารางเปรียบเทียบสภาพความเป็นนิวคลีโอไฟล์ (Nucleophilicity) ของไอออนและโมเลกุลบางชนิด	51
ตารางที่ 2.4	ตารางเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารตั้งต้นต่างๆ	57
ตารางที่ 2.5	สรุปปัจจัยต่างๆ ต่อการเกิดการแทนที่แบบ S_N1 หรือ S_N2	63
ตารางที่ 2.6	สรุปปัจจัยของสารตั้งต้นต่อกลไกการเกิดปฏิกิริยา	76
ตารางที่ 3.1	แสดงการใช้งานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมัน ตามจำนวน ของคาร์บอนอะตอมที่สัมพันธ์กับสมบัติทางกายภาพ	80
ตารางที่ 3.2	แสดงการเรียกชื่อสารไฮโดรคาร์บอน ตามจำนวนของคาร์บอนอะตอม	82
ตารางที่ 3.3	แสดง heat of combustion และ ring strain ของไซโคลอัลเคน	92
ตารางที่ 3.4	แสดงผลจากหมู่แทนที่บนวงเบนซีน	136

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1	แสดงขอบเขตของความหนาแน่นของอิเล็กตรอน	4
รูปที่ 1.2	แสดงการจัดเรียงของวาเลนซ์อิเล็กตรอนของโบรอน คาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจนอะตอม	5
รูปที่ 1.3	แสดงการจัดเรียงของวาเลนซ์อิเล็กตรอนของลิเทียมและฟลูออรีนอะตอม	7
รูปที่ 1.4	แสดงการจัดเรียงของวาเลนซ์อิเล็กตรอนของคาร์บอนอะตอม	7
รูปที่ 1.5	แสดงการจัดเรียงของวาเลนซ์อิเล็กตรอนของพันธะโควาเลนต์ระหว่างคาร์บอน และไฮโดรเจน	8
รูปที่ 1.6	แสดงการส่งอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเพื่อแสดงพันธะโคออร์ดิเนต	9
รูปที่ 1.7	แสดงการจัดเรียงของวาเลนซ์อิเล็กตรอนของพันธะโควาเลนต์ระหว่างออกซิเจน และไฮโดรเจนอะตอม	11
รูปที่ 1.8	แสดงการจัดเรียงของวาเลนซ์อิเล็กตรอนของพันธะโควาเลนต์ระหว่างคาร์บอน และไฮโดรเจนอะตอม (อีเทน, เมทิลามีน, เอทานอล, คลอโรมีเทน, โพรเพน)	12
รูปที่ 1.9	แสดงการเขียนสูตรโครงสร้างของโพรพิลแอลกอฮอล์ในรูปแบบต่างๆ	16
รูปที่ 1.10	แสดงการสร้าง multiple bonds แบบพันธะคู่	17
รูปที่ 1.11	แสดงการจัดเรียงของวาเลนซ์อิเล็กตรอนของคาร์บอน เพื่อสร้าง 3 sp^2 hybrid orbital	17
รูปที่ 1.12	แสดงการสร้าง multiple bonds แบบพันธะสาม ที่มี 3 คู่ ของอิเล็กตรอนระหว่าง 2 คาร์บอนอะตอม	18
รูปที่ 1.13	แสดงการจัดเรียงของวาเลนซ์อิเล็กตรอนของคาร์บอน เพื่อสร้าง 2 sp hybrid orbital	19
รูปที่ 1.14	แสดง Bond Length ระหว่าง 2 อะตอมของ 2 โมเลกุลที่ต่างกัน	20
รูปที่ 1.15	แสดง Formal charge ของสารที่ต่างกัน	27
รูปที่ 1.16	แสดงพันธะไอออนิกของสารอินทรีย์กับไอออนลบ	28
รูปที่ 1.17	แสดงพันธะไอออนิกของสารอินทรีย์กับไอออนบวก	29
รูปที่ 1.18	แสดงรูปแบบเรโซแนนซ์ของ methaniminium ion	30
รูปที่ 1.19	แสดงรูปแบบเรโซแนนซ์สำหรับไอออนของอะซิเตตและของไนโตรมีเทน	30
รูปที่ 1.20	แสดงเรโซแนนซ์ของโครงสร้างของวงเบนซีน	31
รูปที่ 2.1	แสดง Brønsted-Lowry Acid-Base Reactions	36
รูปที่ 2.2	แสดง solvation เมื่อไอออนละลายในน้ำ	37
รูปที่ 2.3	แสดง Lewis Acid-Base Reactions	37
รูปที่ 2.4	แสดง Lewis Acid-Base Reactions ระหว่าง $(CH_3)_2NH$ และ BF_3	38
รูปที่ 2.5	แสดงการแตกของพันธะที่ไม่เท่ากันของคาร์บอน	39

รูปที่ 2.6	แสดง Lewis Acid-Base Reactions ของ carbocation และ carbanion	40
รูปที่ 2.7	แสดงความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นตามคาบของตารางธาตุ	41
รูปที่ 2.8	แสดงความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นตามลักษณะของ hybrid orbital ของสารไฮโดรคาร์บอน	42
รูปที่ 2.9	แสดงควมมีขั้วแบบ Inductive effect เนื่องจากอะตอมที่มีค่า EN สูง	43
รูปที่ 2.10	แสดงความสามารถในการแตกตัวของกรดอะซิติกและเอทานอลในน้ำ	44
รูปที่ 2.11	แสดงความเป็นกรดของกรดอะซิติกและเอทานอลในน้ำ	44
รูปที่ 2.12	แสดงความเป็นเบสของสารอินทรีย์บางชนิดในกรดแก่	45
รูปที่ 2.13	แสดงปฏิกิริยากรด-เบสของสารอินทรีย์ใน nonaqueous solution	46
รูปที่ 2.14	แสดงกลไกของปฏิกิริยาการแทนที่ผ่านปฏิกิริยากรด-เบส	47
รูปที่ 2.15	แสดงองค์ประกอบของปฏิกิริยาการแทนที่	48
รูปที่ 2.16	แสดงกลไกของปฏิกิริยาการแทนแบบ S_N2	52
รูปที่ 2.17	แสดงกลไกของปฏิกิริยาการแทนแบบ S_N1	54
รูปที่ 2.18	แสดงกลไกของการเกิด racemic mixture จากปฏิกิริยาการแทนที่แบบ S_N1	56
รูปที่ 2.19	แสดงผลของหมู่แทนที่ซึ่งกีดขวางการเข้าทำของนิวคลีโอไฟล์ (Steric effect) ในปฏิกิริยาการแทนที่	57
รูปที่ 2.20	แสดงปฏิกิริยาการแทนแบบ S_N2 ของ iodomethane ด้วยนิวคลีโอไฟล์ที่มีความแรงในการเข้าทำปฏิกิริยาต่างกัน	58
รูปที่ 2.21	แสดงนิวคลีโอไฟล์ที่ถูกล้อม (solvated nucleophile) ด้วยตัวทำละลายโปรติก (protic solvent)	59
รูปที่ 2.22	แสดงตัวทำละลายชนิดอะโปรติกแบบมีขั้ว (polar aprotic) และประจุบวกที่ถูกล้อม (solvated cations)	60
รูปที่ 2.23	แสดงหมู่ที่หลุดออกได้ดี (good leaving group) ซึ่งจัดเป็นคอนจูเกตเบส (conjugate bases) ของกรดแก่	62
รูปที่ 2.24	แสดงการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันของเฮไลด์ชนิดเมทิล ปฐมภูมิและทุติยภูมิโดยอาศัยปฏิกิริยาการแทนที่แบบ S_N2	64
รูปที่ 2.25	แสดงการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของหมู่แทนที่บนคาร์บอนอะตอม แบบตรงข้าม (inversion) โดยผ่านกลไกการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่แบบ S_N2	64
รูปที่ 2.26	แสดงการจัดโมเลกุลของไฮโดรโบรมด์ (Dehydrobromination)	66
รูปที่ 2.27	แสดงกลไกของปฏิกิริยาที่ต้องอาศัยสารทั้งสอง (Bimolecular) โดยผ่านสถานะทรานซิชัน (transition state)	67
รูปที่ 2.28	แสดงการเกิดปฏิกิริยาของ <i>t</i> -butyl chloride กับ 80% aqueous ethanol	68
รูปที่ 2.29	แสดงการเกิดปฏิกิริยาของ <i>t</i> -butyl cation กับตัวทำละลาย (ตัวเข้าทำปฏิกิริยา) ที่สามารถทำตัวเป็น nucleophile หรือ base	69
รูปที่ 2.30	แสดงการเกิดการแข่งขันของปฏิกิริยาการแทนที่และขจัด	70

รูปที่ 2.31	แสดงผลของการเกิดปฏิกิริยาตามขนาดที่ต่างกันของเบสและนิวคลีโอไฟล์	71
รูปที่ 2.32	แสดงผลของการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยเบสที่อ่อนและมีความเป็นขั้วสูง	72
รูปที่ 3.1	แสดงสายโซ่ของคาร์บอนอะตอมจำนวน 4 (butane) และ 5 (pentane) อะตอมแบบไม่มีกิ่งและแบบมีกิ่ง	81
รูปที่ 3.2	แสดงวงของคาร์บอนอะตอม	81
รูปที่ 3.3	แสดง Newman projection formulas และ sawhorse formulas ระหว่าง C2-C3 ของ <i>n</i> -butane	88
รูปที่ 3.4	แสดง Newman projection formulas ของ cyclohexane	90
รูปที่ 3.5	แสดงโครงสร้างที่เสถียรของ methylcyclohexane	90
รูปที่ 3.6	แสดงความร้อนของการเผาไหม้ (heat of combustion) ของ butane และ isobutane	91
รูปที่ 3.7	แสดงปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว	93
รูปที่ 3.8	แสดงโครงสร้างไดแอสเทอโรเมอร์ (diastereomer) ของอัลคีน	94
รูปที่ 3.9	แสดงลำดับความเสถียรของบิวทีนจากแผนผังพลังงานจากปฏิกิริยา การเติมไฮโดรเจนผ่านตัวเร่งแพลตินัม (platinum-catalyzed hydrogenation)	96
รูปที่ 3.10	แสดงโครงสร้างของไซโคลอัลเคน (cycloalkene)	96
รูปที่ 3.11	แสดงปฏิกิริยาทั่วไปของการจัดแบบสูญเสียไฮโดรฮาโลเจน (dehydrohalogenation) (-HX) และสูญเสียน้ำ (dehydration) (-H ₂ O)	97
รูปที่ 3.12	แสดง dehydrohalogenation ของ 2-bromo-2-methylbutane	98
รูปที่ 3.13	แสดง acid-catalyzed dehydration ของ isoborneol ที่เกิดจากการ จัดเรียงตัวใหม่ของโครงสร้างเพื่อให้ได้คาร์โบแคทไอออนที่มีความเสถียรมากกว่า	102
รูปที่ 3.14	แสดงโครงสร้างของอัลไคน์	103
รูปที่ 3.15	แสดงสังเคราะห์อัลไคน์ผ่าน dehydrohalogenation ของ vic-dibromide จาก alkene	104
รูปที่ 3.16	แสดงสังเคราะห์ 1-butyne จาก 1-butene	104
รูปที่ 3.17	แสดงสังเคราะห์ cyclohexylacetylene จาก cyclohexyl methyl ketone	105
รูปที่ 3.18	แสดง catalytic hydrogenation ของ alkenes และ alkynes	107
รูปที่ 3.19	แสดงการสังเคราะห์ cis-alkenes, trans-alkenes หรือ allene ด้วยตัวเร่งหรือสารเคมีปฏิกิริยาเฉพาะ	108
รูปที่ 3.20	แสดงการสังเคราะห์สารประกอบอัลไคน์ผ่านกลไกของ S _N 2	109
รูปที่ 3.21	แสดง Index of Hydrogen Deficiency หรือ IHD ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว	110
รูปที่ 3.22	แสดงปฏิกิริยาการเพิ่มด้วยอิเล็กโตรไฟล์ (electrophilic addition)	111

รูปที่ 3.23	แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาการเพิ่ม HBr บน 2-methylpropene	112
รูปที่ 3.24	แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาการเพิ่ม Br ₂ บน 1-butene ได้ enantiomer	114
รูปที่ 3.25	แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาการเพิ่มสองหมู่ของหมู่ไฮดรอกซีแบบด้านเดียวกัน (syn dihydroxylation)	115
รูปที่ 3.26	แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยา oxidative cleavage ด้วย hot basic potassium permanganate	116
รูปที่ 3.27	แสดงปฏิกิริยาและกลไกการเกิด oxidative cleavage ด้วย ozone	117
รูปที่ 3.28	แสดงปฏิกิริยาการเพิ่มด้วยโบรมีนและคลอรีนสำหรับอัลไคน์	118
รูปที่ 3.29	แสดงปฏิกิริยาการเพิ่มด้วยไฮโดรเจนโบรมีนสำหรับอัลไคน์	118
รูปที่ 3.30	แสดงการเกิดปฏิกิริยา oxidative cleavage สำหรับอัลไคน์	119
รูปที่ 3.31	แสดงโครงสร้างตัวอย่างของสารประกอบแอโรมาติก	121
รูปที่ 3.32	แสดงการเรียกชื่อโครงสร้างสารประกอบเบนซีน	122
รูปที่ 3.33	แสดงการเรียกชื่อโครงสร้างสารประกอบเบนซีนที่มีหมู่แทนที่ 2 ตำแหน่ง	123
รูปที่ 3.34	แสดงการเรียกชื่อโครงสร้างสารประกอบเบนซีนที่มีหมู่แทนที่ 2 ตำแหน่ง และมากกว่า	123
รูปที่ 3.35	แสดงการเรียกชื่อโครงสร้างที่มีเบนซีนเป็นหมู่แทนที่	124
รูปที่ 3.36	แสดงการเกิดปฏิกิริยาแทนที่ของวงเบนซีน (benzene substitution)	124
รูปที่ 3.37	แสดงโครงสร้างเคอิวเลียร์ของวงเบนซีน o-dibromobenzene และ cyclooctatetraene	125
รูปที่ 3.38	แสดงการเปรียบเทียบความเสถียรของ cyclohexene, 1,3-cyclohexadiene, 1,3,5-cyclohexatriene (โดยทฤษฎี) และ benzene	126
รูปที่ 3.39	แสดงกลไกทั่วไปของ electrophilic aromatic substitution	127
รูปที่ 3.40	แสดงปฏิกิริยา Chlorination, bromination และการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของปฏิกิริยาการแทนที่ของแอโรมาติกด้วยอิเล็กโตรไฟล์ของ benzene	129
รูปที่ 3.41	แสดงกลไกของปฏิกิริยา bromination ของ benzene	130
รูปที่ 3.42	แสดงกลไกของปฏิกิริยา nitration ของ benzene	131
รูปที่ 3.43	แสดงกลไกของปฏิกิริยา sulfonation ของ benzene	132
รูปที่ 3.44	แสดงกลไกของปฏิกิริยา Friedel-Craft Alkylation	133
รูปที่ 3.45	แสดงปฏิกิริยา Friedel-Craft Alkylation ที่ผ่านตัวเข้าทำปฏิกิริยาอื่นๆ	134
รูปที่ 3.46	แสดงกลไกของปฏิกิริยา Friedel-Craft Acylation	135
รูปที่ 3.47	แสดงผลของ activating group ที่ต่างกันต่อปฏิกิริยา nitration และ bromination	137
รูปที่ 3.48	แสดงผลของ deactivating group ต่อปฏิกิริยา nitration	137
รูปที่ 3.49	แสดงผลของ activating group ต่อ arenium ion ที่เสถียร	139
รูปที่ 3.50	แสดงผลของ deactivating group ต่อ arenium ion ที่ไม่เสถียร	139

รูปที่ 3.51	แสดงผลของ Nitro group ต่อ arenium ion ที่ไม่เสถียร	140
รูปที่ 4.1	แสดง Constitutional Isomers	144
รูปที่ 4.2	แสดง Stereoisomers ของ $C_2H_2Cl_2$	144
รูปที่ 4.3	แสดง Newman projection formulas (I) (II) (III) และ Chirality center* เพื่อเขียนโครงสร้างของ Enantiomers ของ 2-bromobutane (C_4H_9Br)	145
รูปที่ 4.4	แสดงการเรียกโมเลกุลที่มี Chirality center* ตาม <i>R,S</i> -system	147
รูปที่ 4.5	แสดงการเรียกโมเลกุลที่มี Chirality center* และพันธะคู่หรือพันธะสาม ตาม <i>R,S</i> -system	148
รูปที่ 4.6	แสดงการจัดเรียงตัวของสองโมเลกุลที่ต่างกัน ต้องหมุนพันธะโควาเลนต์ ให้ไฮโดรเจนอะตอมอยู่ด้านหลังเพื่อหาว่าเป็น Enantiomer ชนิดใดของ 1-Bromo-1-chloroethane (CH_3CBrCl)	149
รูปที่ 4.7	แสดง Specific rotation ของ Enantiomers	151
รูปที่ 4.8	แสดงปฏิกิริยาของบิวทาโนนกับไฮโดรเจนโมเลกุล โดยอาศัย Ni เป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็น (±)-2-butanol [50:50 mixture (<i>R</i>) และ (<i>S</i>)]	153
รูปที่ 4.9	แสดงปฏิกิริยาที่มี Enantioselective สูง โดยอาศัย Ru เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็น (<i>S</i>)-Naproxen ด้วย 97%Enantiomeric excess	154
รูปที่ 4.10	แสดง stereoisomer ที่เกิดจากสอง Chirality center ของ 2,3-dibromopentane	155
รูปที่ 4.11	แสดง stereoisomer ที่เกิดจากสอง Chirality center ของ 2,3-dibromobutane	155
รูปที่ 4.12	แสดง Fischer Projection formulas ของ (2 <i>R</i> ,3 <i>R</i>)-dibromobutane	160
รูปที่ 4.13	แสดง stereoisomers ของ 1,2-dimethylcyclopentane	163
รูปที่ 4.14	แสดง stereoisomers ของ 1,4-dibromocyclohexane 1,3-dibromocyclohexane และ 1,2-dibromocyclohexane	164
รูปที่ 4.15	แสดงสารมาตรฐานอย่าง Glyceraldehyde ที่รู้ absolute configuration สามารถใช้หา relative configuration ของสารอื่นๆ ได้	165
รูปที่ 4.16	แสดงโครงสร้างของ Tartaric acid คู่ enantiomer (<i>D</i> และ <i>L</i>) กับ diastereomer (meso-form)	166
รูปที่ 4.17	แสดงโครงสร้าง enantiomer ของ 1,3-dichloroallene	167
รูปที่ 5.1	แสดงสูตรทั่วไปและลักษณะพันธะของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ ($R-X$)	173
รูปที่ 5.2	แสดงชนิดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ ได้แก่ ปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ	174
รูปที่ 5.3	แสดง chlorination ของ alkanes อื่นๆ	181
รูปที่ 5.4	แสดง bromination ของ isobutane	182
รูปที่ 5.5	แสดง Anti-Markovnikov Addition ของ HBr สำหรับ isopropane	184

รูปที่ 5.6	แสดงปฏิกิริยา rearrangement จากการเกิด carbocation ผ่าน S_N1	185
รูปที่ 5.7	แสดงปฏิกิริยาการเตรียม alkyl halide จาก 1° alcohols	185
รูปที่ 5.8	แสดงปฏิกิริยาการเตรียม alkyl chloride จาก 2° alcohols	186
รูปที่ 5.9	แสดงปฏิกิริยาแทนที่ชนิด S_N2 สำหรับการเตรียมพาราควอต จาก 1° alkyl chloride	187
รูปที่ 5.10	แสดงปฏิกิริยาจัดชนิด E_2 สำหรับการเตรียมไวนิลคลอไรด์จาก alkyl dichloride	187
รูปที่ 5.11	แสดงการเตรียมสารโลหะ-อินทรีย์ จาก alkyl chloride	188
รูปที่ 6.1	แสดงสารประกอบของแอลกอฮอล์	191
รูปที่ 6.2	แสดงคุณสมบัติเฉพาะของแอลกอฮอล์	195
รูปที่ 6.3	แสดงความเป็นกรดของแอลกอฮอล์ ที่เกิดจาก inductive electron-withdrawing effect ของ 2-chloroethanol และ electron delocalization ของฟีนอล	196
รูปที่ 6.4	แสดงการเตรียมเอทานอลและเมทานอล	196
รูปที่ 6.5	แสดงปฏิกิริยาการเตรียม alcohol ด้วย acid-catalyzed hydration ของ alkenes	198
รูปที่ 6.6	แสดงปฏิกิริยาการเตรียม alcohol ด้วย Oxymercuration-Demercuration	199
รูปที่ 6.7	แสดงปฏิกิริยาการเตรียม alcohol ด้วย Hydroboration-Oxidation	200
รูปที่ 6.8	แสดงปฏิกิริยา Grignard reaction	201
รูปที่ 6.9	แสดงกลไกของปฏิกิริยาการเตรียม alcohol ด้วย Grignard reaction	202
รูปที่ 6.10	แสดงกลไกของปฏิกิริยาการเตรียม alcohol ด้วย reduction ของ carbonyl compounds	204
รูปที่ 6.11	แสดงการเตรียม alcohol ผ่านปฏิกิริยา reduction ด้วย sodium borohydride ($NaBH_4$) หรือ lithium aluminium hydride ($LiAlH_4$)	205
รูปที่ 6.12	แสดงการเตรียม alcohol ผ่านปฏิกิริยา reduction จาก α,β -unsaturated aldehyde หรือ α,β -unsaturated ketone	206
รูปที่ 6.13	แสดงกลไกการรีดิวส์ของไฮไดรด์ไอออนต่อพันธะคู่ใน α,β -unsaturated aldehyde หรือ α,β -unsaturated ketone	207
รูปที่ 6.14	แสดงปฏิกิริยา oxidation ของ alcohol	209
รูปที่ 6.15	แสดงปฏิกิริยา rearrangement จากการเกิด carbocation ผ่าน S_N1	210
รูปที่ 6.16	แสดง tosylates mesylate และ triflates สำหรับ alcohol	210
รูปที่ 6.17	แสดงปฏิกิริยา nucleophilic substitution แบบ S_N2 จาก 2° alcohols โดยอาศัย sulfonate ester	211
รูปที่ 6.18	แสดงปฏิกิริยาการเตรียม ether จาก 1° และ 2° alcohols	212
รูปที่ 6.19	แสดงปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (epoxidation)	212
รูปที่ 6.20	แสดงการเตรียมกาวอีพอกซีเรซิน	213

รูปที่ 7.1	แสดงลักษณะของ carbonyl group	217
รูปที่ 7.2	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของสารที่มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน แต่หมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน: จุดเดือด	218
รูปที่ 7.3	แสดงตัวอย่างการเรียกชื่อ aldehydes และ ketones	220
รูปที่ 7.4	แสดงตัวอย่างสาร aldehydes และ ketones ในผลิตภัณฑ์ให้ความหอม	221
รูปที่ 7.5	แสดงกลไกการเกิด oxidation ของ 2° alcohol	222
รูปที่ 7.6	แสดงการสังเคราะห์สาร aldehydes และ ketones จาก alcohols ผ่าน oxidation	223
รูปที่ 7.7	แสดงการสังเคราะห์สาร aldehydes จาก 1°alcohols ในสภาวะปราศจากน้ำ	224
รูปที่ 7.8	แสดงการสังเคราะห์สาร aldehydes และ ketones จาก alkenes ผ่าน ozonolysis	225
รูปที่ 7.9	แสดงการสังเคราะห์สาร aldehydes จาก acyl chloride ผ่าน reduction	225
รูปที่ 7.10	แสดงการสังเคราะห์สาร phenyl ketones จาก acyl chloride ผ่าน Friedel-Craft acylation	226
รูปที่ 7.11	แสดงการเกิดปฏิกิริยาการเติมด้วย nucleophile ของ aldehydes และ ketones	227
รูปที่ 7.12	แสดงการเกิดเป็น cyclic hemiacetal ของ sugar	228
รูปที่ 7.13	แสดงการเกิด imine จากปฏิกิริยาระหว่าง aldehyde และ 1° amine	229
รูปที่ 7.14	แสดงการเกิดเป็น alkane ของ ketone ผ่านปฏิกิริยา Clemmensen Reduction	229
รูปที่ 7.15	แสดงการเกิดเป็น carboxylic acid ของ aldehyde ผ่านปฏิกิริยา oxidation	230
รูปที่ 7.16	แสดงการเกิดเป็น aldol condensation product ของ aldehyde ผ่านปฏิกิริยา aldol addition	231
รูปที่ 8.1	แสดงคาร์บอกซิเลต แอนไอออน	236
รูปที่ 8.2	แสดงการเตรียม ester และการเติมน้ำให้กับ ester โดยอาศัยกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	237
รูปที่ 8.3	แสดงการเกิด esterification ภายในโมเลกุลเป็น δ -lactones	238
รูปที่ 8.4	แสดงสังเคราะห์ carboxylic acid ผ่าน nitrile	240
รูปที่ 8.5	แสดง oxidation ของ primary alcohol และ aldehyde	241
รูปที่ 8.6	แสดง oxidation ของ alkylbenzene	242
รูปที่ 8.7	แสดง hydrolysis ของ nitriles ได้กรดคาร์บอกซิลิก	243
รูปที่ 8.8	แสดงขั้นตอนสำหรับ esterification ของ carboxylic acid ด้วย alcohol ในกรด	244