



สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สเตอริโอเคมี สำหรับเคมีอินทรีย์

เย็นหทัย แนนหนา

สตอรี่ไอเคมีสำหรับเคมีอินทรีย์

สตอรี่ไอเคมีสำหรับเคมีอินทรีย์

เย็นหทัย แน่นหนา



สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2556

650.-

เขียนหทัย แน่นหนา

สตอรี่ไอเคมีสำหรับเคมีอินทรีย์ / เขียนหทัย แน่นหนา

1. สตอรี่ไอเคมี 2. อินทรีย์ 3. เอแนนทิโอเมอร์ 4. ไอโซเมอร์

547.1223

ISBN 978-974-03-3163-6

ศจพ. 1790



สสสคณคําวិชาการ สํสจคม
www.ChulaPress.com
Knowledge to All

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2556

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น

ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา ศาลาพระเกี้ยว โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881-2 โทรสาร 0-2254-9495

ม.นเรศวร จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023

ม.พะเยา จ.พะเยา โทร. 0-5446-6799-800 โทรสาร 0-5446-6798

จัตุรัสจามจุรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5301-2 โทรสาร 0-2160-5304

รัตนนิบศร์ (แยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405

Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

เครือข่าย ศูนย์หนังสือ ม.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย โทร. 0-5391-7020-4 โทรสาร 0-5391-7025

ศูนย์หนังสือ ม.วลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช โทร. 0-7567-3648-51 โทรสาร 0-7567-3652

ร้านหนังสือบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) งามคำแหง 43/1 โทร. 0-2538-2573 โทรสาร 0-2539-7091

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเชียงราย จ.เชียงราย โทร. 0-5377-6000

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏสุราษฎร์ธานี จ.สุราษฎร์ธานี โทร. 0-7735-5466, 0-7791-3333 โทรสาร 0-7735-5468

ศูนย์หนังสือเทคโนโลยีโออาร์พีซี จ.ระยอง โทร. 0-3889-9130-2 ต่อ 331 โทรสาร 0-3889-9130 ต่อ 301

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเทพสตรี จ.ลพบุรี โทร. 0-3642-7485-93

ร้านค้า, หนังสือเข้าชั้นเรียน ติดต่อแผนกขายส่ง สาขารัตนนิบศร์ (แยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405

กองบรรณาธิการ : รวีวรรณ จันทรมั่น

พิสูจน์อักษร : ทิพวรรณ โหละสุต

ออกแบบปก : หจก. ชอบและทำ

ออกแบบรูปเล่ม : เขียนหทัย แน่นหนา

พิมพ์ที่ : บริษัทแอคทีฟพริ้นท์ จำกัด โทร. 0-2530-4114 โทรสาร 0-2108-8951

คำนำ

สเตอริโอเคมีเป็นวิชาที่ว่าด้วยความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของสารใน 3 มิติ ในชีวิตประจำวัน เราจะพบสารเคมีที่สูตรเชิงโมเลกุลและสูตรโครงสร้างเหมือนกัน แต่มีการจัดหมู่อะตอมในโครงสร้าง 3 มิติต่างกัน สารเหล่านี้มีสมบัติบางอย่างแตกต่างกัน เช่น กลิ่นและรสชาติ นอกจากนี้ยังมีกลไกการเกิดปฏิกิริยากับสารบางชนิดแตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้สเตอริโอเคมีจึงมีบทบาทสำคัญในหลายด้าน เช่น ยาทางการแพทย์และอาหาร โดยถูกนำมาใช้ในการอธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมี การแยกสารและการสังเคราะห์สาร ในขณะนี้หนังสือภาษาไทยเกี่ยวกับสเตอริโอเคมีมีน้อยมาก ผู้เขียนจึงได้เรียบเรียงหนังสือเล่มนี้ขึ้นเพื่อใช้ประกอบการเรียนวิชาเคมีอินทรีย์ สำหรับนักศึกษาวิชาเคมีและวิชาที่เกี่ยวข้องในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท ตลอดจนผู้สนใจเกี่ยวกับสูตรโครงสร้างของสารอินทรีย์

ภายในเล่มได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 12 บท เริ่มจากลักษณะสมมาตรของสาร ไอโซเมอร์คอนฟิगरเรชันไอโซเมอร์ ออปติคัลไอโซเมอร์ จีโอเมตริกไอโซเมอร์ คอนฟอร์เมชันไอโซเมอร์ โปรสเตอริโอไอโซเมอร์ซิม สารผสมแรซีมิก สเตอริโอเคมีในปฏิกิริยาแทนที่ ปฏิกิริยาการจัด ปฏิกิริยาการเติมของแอลคีน แอนไคน์ และปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบคาร์บอนิล เป็นเรื่องสุดท้ายสำหรับคำศัพท์ในเนื้อหาที่เป็นภาษาต่างประเทศ ได้ใช้หลักการแปลหรือเขียนคำอ่านทับศัพท์ หรือเขียนคำอ่านตามศัพท์วิทยาศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน ยกเว้นในตารางหรือในรูปภาพที่ยังคงไว้ให้เหมือนต้นฉบับ ส่วนหน่วยใช้สัญลักษณ์แทนคำอ่าน เพื่อเป็นการฝึกทักษะในการใช้หน่วย

ผู้เขียนขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้ จนสามารถเขียนหนังสือเล่มนี้สำเร็จ ตลอดจนผู้เขียนที่มีชื่ออยู่ในบรรณานุกรมท้ายเล่ม และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจจนหนังสือเล่มนี้สำเร็จเป็นรูปเล่มด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เย็นหทัย เน้นหนา

พฤษภาคม 2556

คำนำ	
สารบัญ	
สารบัญภาพ	
สารบัญตาราง	
บทที่ 1 ลักษณะสมมาตรของสาร	1
การเขียนภาพ	1
1. เวกซ์และแคชโพรเจกชัน	1
2. ฟิสเซอร์โพรเจกชัน	2
3. ซอฮอร์สโพรเจกชัน	5
4. นิวแมนโพรเจกชัน	5
5. แฮเวอร์ทโพรเจกชัน	6
ลักษณะสมมาตร	6
1. แกนสมมาตร	7
2. ระนาบสมมาตร	10
3. ศูนย์สมมาตร	12
4. แกนการหมุน/สะท้อน	13
กลุ่มสมมาตร	16
บทสรุป	30
คำถามทบทวน	30
เอกสารอ้างอิง	35
บทที่ 2 ไอโซเมอร์	37
ไอโซเมอร์โครงสร้าง	38
1. สเตเลทไอโซเมอร์	38
2. โพซิชันไอโซเมอร์	39

3. ฟังก์ชันไอโซเมอร์	40
4. เทาโทเมอร์	41
สเตอริโอไอโซเมอร์	48
ไคเรลลิตี	49
ไคเรลอะตอม	53
1. ไคเรลคาร์บอน	53
2. ไคเรลในโตรเจน	54
3. ฟอสฟอรัส	55
4. กำมะถัน	57
5. ซิลิคอนและเจอร์มาเนียม	57
ไคเรลลิตีที่ไม่มีไคเรลอะตอม	57
1. แกนไคเรล	58
2. ระนาบไคเรล	62
3. โมเลกุลเป็นเกลียว	63
บทสรุป	65
คำถามทบทวน	65
เอกสารอ้างอิง	72
บทที่ 3 คอนฟิगरชันไอโซเมอร์	73
คอนฟิगरชันสัมพัทธ์	73
1. คอนฟิगरชันระบบ D และ L	73
2. คอนฟิगरชันในระบบ α และ β	78
3. คอนฟิगरชันในระบบอีริโทรและทรีโอ	80
คอนฟิगरชันสมบูรณ์	81
1. คอนฟิगरชันของสารที่มีไคเรล 1 อะตอม	81
2. สารที่มีไคเรลอะตอมมากกว่า 1 อะตอม	93
บทสรุป	102
คำถามทบทวน	103

บทที่ 4 ออปติคัลไอโซเมอร์	109
ระนาบแสงโพลาไรส์และเครื่องโพลาไรมิเตอร์	109
1. ระนาบแสงโพลาไรส์	109
2. เครื่องโพลาไรมิเตอร์	111
เอแนนทิโอเมอร์	117
1. ลักษณะสารที่เป็นเอแนนทิโอเมอร์	117
2. เอแนนทิโอเมอร์ที่มีไครเรลอะตอม	117
3. เอแนนทิโอเมอร์ที่ไม่มีไครเรลคาร์บอน	119
ไดอะสเตอริโอไอโซเมอร์	126
สารประกอบมีโซ	126
1. สารประกอบมีโซที่มีไครเรลคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม	127
2. สารประกอบมีโซที่เป็นไซคลิก	128
เอพิเมอร์	129
จำนวนสเตอริโอไอโซเมอร์ของสารที่มีไครเรลอะตอม	130
บทสรุป	135
คำถามทบทวน	136
เอกสารอ้างอิง	142
 บทที่ 5 จีโอเมตริกไอโซเมอร์	 143
จีโอเมตริกไอโซเมอร์ของแอลคีน	143
1. การเรียกชื่อจีโอเมตริกไอโซเมอร์ของแอลคีนระบบซีส/ทรานส์	145
2. การเรียกชื่อจีโอเมตริกไอโซเมอร์ของแอลคีนระบบ E/Z	145
จีโอเมตริกไอโซเมอร์ของสารที่มีพันธะคู่ระหว่างไนโตรเจน	147
จีโอเมตริกไอโซเมอร์ของไซโคลแอลคีน	150
จีโอเมตริกไอโซเมอร์ของสารที่เกิดเรซิแนนซ์	151
จีโอเมตริกไอโซเมอร์ของแอลคีนที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 พันธะ	151
จีโอเมตริกไอโซเมอร์ของสารประกอบไซคลิกชนิดอิมตัว	152

จีโอเมตริกไอโซเมอร์ของระบบไบไซโคลมีส่วนเชื่อมมากกว่า 1 ตำแหน่ง	158
สมบัติทางกายภาพของไอโซเมอร์ระบบซิส-ทรานส์	161
1. จุดหลอมเหลว	161
2. โมเมนต์ขั้วคู่	161
3. การละลายน้ำ	162
4. จุดเดือด	163
สเปกตรัมของจีโอเมตริกระบบซิส-ทรานส์	164
1. สเปกตรัมของ UV	164
2. สเปกตรัมของ IR	167
3. สเปกตรัมของ H NMR	168
บทสรุป	173
คำถามทบทวน	174
เอกสารอ้างอิง	179
บทที่ 6 คอนฟอร์เมชันไอโซเมอร์	181
คอนฟอร์เมชันไอโซเมอร์ของสารประกอบแอไซคลิก	185
1. คอนฟอร์เมชันของสารประกอบแอไซคลิกชนิดอิมตัว	185
2. คอนฟอร์เมชันของสารประกอบแอไซคลิกชนิดมีพันธะคู่แต่ไม่มี	
คอนจูเกต	193
3. คอนฟอร์เมชันของกรดคาร์บอกซิลิก เอสเทอร์และเอไมด์ที่ไม่มี	
ระบบคอนจูเกต	201
4. คอนฟอร์เมชันของสารที่มีระบบคอนจูเกต	208
5. คอนฟอร์เมชันของแอไซคลิกชนิดอิมตัวที่มีเฮเทอโรอะตอม	210
บทสรุป	216
คำถามทบทวน	216
เอกสารอ้างอิง	220

บทที่ 7 คอนฟอร์เมชันของสารประกอบไซคลิก	221
คอนฟอร์เมชันของไซโคลเฮกเซน	221
1. ไซโคลโพรเพน	223
2. ไซโคลบิวเทน	224
3. ไซโคลเพนเทน	226
4. ไซโคลเฮกเซน	227
5. ไซโคลเฮกเซนขนาดใหญ่กว่าไซโคลเฮกเซน	246
คอนฟอร์เมชันของไซคลิกที่เชื่อมต่อกัน 2 ตำแหน่ง	247
1. วงที่เชื่อมมีขนาดเล็กกว่า 6 เหลี่ยม	248
2. วงที่เชื่อมมี 6 เหลี่ยม	248
คอนฟอร์เมชันของไซคลิกที่มีพันธะคู่	250
1. พันธะคู่อยู่ภายในวง	250
2. พันธะคู่อยู่นอกวง	251
คอนฟอร์เมชันของเฮเทอโรไซคลิก	255
1. อันตรกิริยา 1,3-ไดแอกเซียล	256
2. พันธะไฮโดรเจน	256
3. ผลของแอนอเมอริก	256
บทสรุป	259
คำถามทบทวน	260
เอกสารอ้างอิง	264
 บทที่ 8 โปริสเทอริโอไอโซเมอริซึม	 265
ความสัมพันธ์ของลิแกนด์ในโปรไครเรลโมเลกุล	265
1. ฮอโมทอปิกลิแกนด์	266
2. เฮเทอโรทอปิกลิแกนด์	269
3. ไดอะสเตอริโอทอปิกลิแกนด์	273
โปรไครเรลโมเลกุลของสารที่มีพันธะคู่	279

1. หมู่ R และ R' เป็นสารชนิดเดียวกัน	280
2. หมู่ R และ R' เป็นสารต่างชนิด	280
3. หมู่ R หรือ R' มีไครเอตอะตอม	281
4. เมื่อหมู่ C=X คือ C=C	281
H NMR สเปกตรัมของโปรไครเอต	283
1. ฮโมทอปิกลิแกนค์	284
2. เฮแนทโททอปิกลิแกนค์	285
3. ไดอะสเตอริโอทอปิกลิแกนค์	287
บทสรุป	296
คำถามทบทวน	297
เอกสารอ้างอิง	303
บทที่ 9 สารผสมเรซีมิก	305
สมบัติของสารผสมเรซีมิก	305
1. คอนโกลเมอเรต	306
2. สารประกอบเรซีมิก	307
3. สารละลายของแข็งเรซีมิก	307
การเตรียมสารผสมเรซีมิก	309
1. การผสม	309
2. แรซีไมเซชัน	309
3. การสังเคราะห์	310
องค์ประกอบของสารออปติคัลแอคทีฟ	315
1. ออปติคอลเพียวริตี	315
2. เฮแนทโทเมอริกเอกซ์เซส	314
3. ไดอะสเตอริโอโอไอโซเมอร์เอกซ์เซส	319
เรโซลูชัน	320
1. เปลี่ยนเป็นไดอะสเตอริโอโอไอโซเมอร์	320
2. การตกผลึก	330

3. การแยกโดยจลนพลศาสตร์	331
4. วิธีทางชีวเคมี	332
5. วิธีโครมาโทกราฟี	335
บทสรุป	336
คำถามทบทวน	337
เอกสารอ้างอิง	339
บทที่ 10 สเตอริโอเคมีในปฏิกิริยาเคมี	341
คำศัพท์ที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมี	341
1. ปฏิกิริยารีดอกซ์	342
2. ปฏิกิริยาสเตอริโอเคมี	342
3. ปฏิกิริยาสเตอริโอเคมี	343
ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับสเตอริโอเคมี	347
1. ปฏิกิริยา S_N1	347
2. ปฏิกิริยา S_N2	348
3. ปฏิกิริยา E1	350
4. ปฏิกิริยา E2	354
5. ปฏิกิริยา E1cB	366
บทสรุป	369
คำถามทบทวน	369
เอกสารอ้างอิง	375
บทที่ 11 สเตอริโอเคมีในปฏิกิริยาการเติมของแอลคีนและแอนไคน์	377
ปฏิกิริยาการเติมของแอลคีน	377
1. ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน	378
2. ปฏิกิริยาไฮโดรโลจิเนชัน	380
3. ปฏิกิริยาไฮโดรไฮโดรโลจิเนชัน	383
4. ปฏิกิริยาการเติม HBr ในเพอร์ออกไซด์	388

5. ปฏิริยาการเกิดแฮโลไฮดริน	389
6. ปฏิริยาไฮเดรชันเมื่อมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิริยา	391
7. ปฏิริยาออกซิเมอร์คิวเรชัน-ดีเมอร์คิวเรชัน	393
8. ปฏิริยาไฮโดรโบเรชัน-ออกซิเดชัน	394
9. ปฏิริยาออกซิเดชัน	398
ปฏิริยาการเติมของแอลไคโน์	405
1. ปฏิริยาไฮโดรจิเนชัน	405
2. ปฏิริยาเฮโลจิเนชัน	408
บทสรุป	408
คำถามทบทวน	409
เอกสารอ้างอิง	414
บทที่ 12 สเตอริโอเคมีในปฏิริยาเคมีของสารประกอบคาร์บอนิล	415
ปฏิริยาการเติมนิวคลีโอไฟล์	416
1. α -คาร์บอนมีหมู่เหมือนกันอย่างน้อย 2 หมู่	416
2. α -คาร์บอนมีหมู่แทนที่ต่างกัน	435
บทสรุป	451
คำถามทบทวน	451
เอกสารอ้างอิง	455
ภาคผนวก	457
บรรณานุกรม	527
ดัชนี	537

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แผนภาพแสดงกลุ่มสมมาตรของสาร	26
2.1 แผนภาพการจำแนกไอโซเมอร์	37
2.2 เมื่อเอามือซ้ายไปส่องกระจกเงา	49
(1) ภาพกระจกเงาของมือซ้ายมีลักษณะคล้ายมือขวา	
(2) เมื่อนำมือซ้ายมาซ้อนทับกับมือขวา (ตัวแทนของภาพในกระจกเงา) จะไม่สามารถซ้อนทับกันได้สนิท	
2.3 (1) สารและภาพในกระจกเงา	50
(2) สารและภาพในกระจกเงาไม่สามารถซ้อนทับกันได้สนิท	
2.4 (1) โมเลกุลชนิดอะไครลมีระนาบสมมาตร	52
(2) โมเลกุลชนิดอะไครลสามารถซ้อนทับกับภาพกระจกเงาได้	
2.5 (1) สูตรโครงสร้างของแอลคีนมีหมู่ R, R', R'' และ R''' อยู่ในระนาบเดียวกัน	58
(2) สูตรโครงสร้างของ $RR'C=C=CR''R'''$ หมู่ R, R' กับ R'', R''' ไม่อยู่ในระนาบเดียวกัน	
2.6 (1) การเกิดพันธะของแอลคีน	59
(2) หมู่ R และ R' อยู่ในระนาบตั้งฉากกับหมู่ R'' และ R'''	
(3) เมื่อดูโครงสร้างจากทางด้าน C_1 ไปตามพันธะ $C_1=C_2=C_3$	
2.7 (1) ลักษณะของเกลียวแบบ M หมุนไปทางซ้ายมือ	63
(2) ลักษณะของเกลียวแบบ P หมุนไปทางขวามือ	
4.1 คลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยรังสีแม่เหล็กและรังสีไฟฟ้า	110
4.2 ภาพตัดขวางของคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า	110
(1) แสงปกติมีความยาวคลื่นหลายความยาวคลื่นและหลายระนาบ	
(2) แสงความยาวคลื่นเดียวแต่มีหลายระนาบ	
(3) แสงความยาวคลื่นเดียวสั้นในระนาบเดียว	

4.3	ลักษณะของแสงโพลาไรส์ (1) แสงโพลาไรส์เชิงเส้น (2) แสงโพลาไรส์เชิงวงกลม (3) และแสงโพลาไรส์เชิงวงรี	111
4.4	ส่วนประกอบของเครื่องโพลาไรมิเตอร์	111
4.5	การทำงานของเครื่องวิเคราะห์ (1) เมื่อระนาบแสงโพลาไรส์ผ่านหลอดใส่ตัวอย่างที่ยังไม่มีสาร (2) หมุนเครื่องวิเคราะห์ไปในทิศทางทวน หรือตามเข็มนาฬิกา 0° แสงจะมีลดลง (3-4) เมื่อใส่สารตัวอย่างแสงจะมีลดลง ต้องปรับเครื่องวิเคราะห์จนเห็นแสงสว่างที่สุด	112
4.6	แสดงเวกเตอร์ของแสงโพลาไรส์เชิงวงกลม (1) หมุนตามเข็มนาฬิกา (2) หมุนทวนเข็มนาฬิกา	113
5.1	ผลของหมู่ $-\text{CH}_3$ ที่มีต่อพันธะ $\text{C}=\text{C}$ ของสาร $\text{CRR}'\text{H}_2=\text{CR}''\text{CH}_3$ (1) อิเล็กตรอนจากพันธะ σ ของ $\text{C}-\text{H}$ เคลื่อนที่เข้าไปใน π^* ออร์บิทัล (2) แผนภาพระดับพลังงานของ π และ π^* ออร์บิทัล เมื่ออิเล็กตรอนจากพันธะ σ เคลื่อนที่เข้าไปอยู่ใน π^*	164
5.2	UV สเปกตรัมของ (1) <i>cis</i> -APB-peptide (2) <i>trans</i> -APB-peptide	165
5.3	UV สเปกตรัมของกรดอะมิโน α -อิลูโอสดียริกและกรด α -พารินริก	166
5.4	IR สเปกตรัมของ 1,4-พอลิบิวทาไดอีนจิโอเมตริกแบบ (1) ซิส (2) ทรานส์	167
5.5	^1H NMR สเปกตรัมของโปรตอนในตำแหน่งซิสและทรานส์ของสไตรีน	168
5.6	^1H NMR สเปกตรัมของโปรตอนในตำแหน่งซิสและทรานส์ของกรด 3-คลอโรโพรพาโนอิก	169
5.7	^1H NMR สเปกตรัมของกรดซินนามิก (1) แบบซิส (2) แบบทรานส์	170
5.8	^1H NMR สเปกตรัมของ $\text{HBrC}=\text{CHCH}_3$ (1) แบบซิส (2) แบบทรานส์	170
5.9	^1H NMR สเปกตรัมของเมทิล 9,11-ออกทาคะไดอีน (1) (9 <i>Z</i> ,11 <i>Z</i>) (2) (9 <i>E</i> ,11 <i>E</i>) (3) (9 <i>Z</i> ,11 <i>E</i>)	172
6.1	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมทอร์ชันกับพลังงานของคอนฟอร์เมชันของ C_2H_6	183
6.2	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและ r_{ij} ของอะตอม i และ j	184
6.3	(1) สูตรโครงสร้างของ CH_3CH_3 จากซอฮอรัสโพเรกชันเป็นนิวแมนโพเรกชัน (2) หมุนพันธะ $\text{C}-\text{C}$ ได้ 360° เกิดเป็นคอนฟอร์เมชันไอโซเมอร์	185
6.4	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในแต่ละคอนฟอร์เมชันของอีเทน	186

6.5	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับคอนฟอร์เมชันของโพรเพน	188
6.6	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับคอนฟอร์เมชันของบิวเทนเมื่อมองผ่าน $C_2 \rightarrow C_3$	191
6.7	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับคอนฟอร์เมชันไบเซกต์และอีกลิปส์ของโพรพีน	194
6.8	(1) ระดับพลังงานและการเกิดพันธะ π และ π^* จาก p ออร์บิทัล (2) การเกิดไฮเพอร์คอนจูเกตจาก $\sigma(C-H) \rightarrow \pi^*(C=CH_2)$ (3) ระดับพลังงานของออร์บิทัลเมื่อสารเกิดไฮเพอร์คอนจูเกต	195
6.9	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับคอนฟอร์เมชันของ 1-บิวทีน	196
6.10	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับคอนฟอร์เมชันของ (E)-2-เพนทีน	197
6.11	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับคอนฟอร์เมชันของ (Z)-2-เพนทีน	198
6.12	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับคอนฟอร์เมชันของ (Z)- $CH_3CH=CHCH(CH_2)_3$	199
6.13	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับคอนฟอร์เมชันของ CH_3CH_2-CHO	200
6.14	(1) ออกซิเจนเกิดไฮบริดออร์บิทัลแบบ sp^3 (2) การเกิดพันธะ σ ของออกซิเจนใน $C-O-R'$ (3) ออกซิเจนเกิดไฮบริดออร์บิทัลแบบ sp^2 (4) การเกิดพันธะ σ และ π ของออกซิเจนใน $C-O-R'$	203
6.15	(1) การเกิดไฮเพอร์คอนจูเกตของ $n \rightarrow \sigma^*(C-O)$ ของ s-ทรานส์ (2) การเกิดไฮเพอร์คอนจูเกตของ $n \rightarrow \sigma^*(C-O, C-C)$ ของ s-ซิส (3) ระดับพลังงานของออร์บิทัลในการเกิดไฮเพอร์คอนจูเกต	204
6.16	(1) การเกิดพันธะ σ ของไนโตรเจน (sp^3) ในหมู่ $C-N-R'$ (2) การเกิดพันธะ σ และ π ของไนโตรเจน (sp^2) ในหมู่ $C-N-R'$	205
6.17	การเกิดเรโซแนนซ์ของแอมไนด์	206
6.18	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับคอนฟอร์เมชันของ (1) $R-CO-O-R'$ (2) $R-CO-NHR'$	207
6.19	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับคอนฟอร์เมชันของบิวทไธไดอิน	209
6.20	(1) การเกิดไฮเพอร์คอนจูเกตของ $n(A) \rightarrow \sigma^*(C-Y)$ ของกอกซ์และแอนติ (2) การเกิดเรโซแนนซ์ของ $R-A-X-Y$	211
6.21	การเกิดไฮเพอร์คอนจูเกตของ $\sigma(C-H) \rightarrow \sigma^*(C-F)$ ของ $F-C-C-F$	213

6.22	ผลต่างของพลังงานคอนฟอร์เมชันแบบกอสและแอนติของ 1,2-ไดคลอโรอีเทน	214
6.23	พลังงานของคอนฟอร์เมชันของอีเทน 1,2-ไดฟลูออโรอีเทน 1,2-ไดคลอโรอีเทน และ 1,2-ไดโบรโมอีเทน	215
7.1	(1) คาร์บอนชนิด sp^3 มุมพันธะ 109.5° (2) พันธะแบบโค้งงอของไซโคลโพรเพน	223
7.2	(1) Sir Derek Harold Richard Barton (2) Odd Hassel	227
7.3	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับคอนฟอร์เมชันของไซโคลเฮกเซน	229
7.4	(1) อันตรกิริยา 1,3-ไดแอกเซียลเมื่อมีหมู่แทนที่ในตำแหน่งแอกเซียลและอิกวาทอเรียล (2) การเกิดอันตรกิริยากอส-บิวเทนของบิวเทน (3) หมู่ $-CH_3$ บริเวณแอกเซียลมีคอนฟอร์เมชันแบบกอสเกิดอันตรกิริยากอส-บิวเทน (4) หมู่ $-CH_3$ ที่อิกวาทอเรียลมีคอนฟอร์เมชันแบบแอนติไม่เกิดอันตรกิริยากอส-บิวเทน	231
7.5	(1) คลอรีนอยู่บริเวณแอกเซียลเกิดอันตรกิริยา 1,3-ไดแอกเซียล (2) คลอรีนอยู่บริเวณอิกวาทอเรียลไม่เกิดอันตรกิริยา 1,3-ไดแอกเซียล	234
7.6	(1) การเกิดไฮเพอร์คอนจูเกตจาก $\sigma(C-H) \rightarrow \pi^*(C=CH_2)$ (2) ไฮเพอร์คอนจูเกตทำให้เกิดเรโซแนนซ์ในสูตรโครงสร้าง	252
7.7	การเกิดไฮเพอร์คอนจูเกตของ 2-คลอโรไซโคลเฮกซาโนน (1) การเกิดไฮเพอร์คอนจูเกตจาก $\sigma(C-Cl) \rightarrow \pi^*(C=O)$ (2) การเกิดไฮเพอร์คอนจูเกตจาก $\pi(C=O) \rightarrow \sigma^*(C-Cl)$	254
7.8	(1) การเกิดไฮเพอร์คอนจูเกตของ $n(X) \rightarrow \sigma^*(C-Y)$ เมื่อ Y อยู่ในตำแหน่งแอกเซียล (2) ไม่เกิดไฮเพอร์คอนจูเกตของ $n(X) \rightarrow \sigma^*(C-Y)$ เมื่อ Y อยู่ในตำแหน่งอิกวาทอเรียล (3) แสดงระดับพลังงานของออร์บิทัลเมื่อสารเกิดไฮเพอร์คอนจูเกต	257
8.1	H NMR สเปกตรัมของโมทอปิกลิแกนค์ของไดคลอโรมีเทน	284
8.2	H NMR สเปกตรัมของโมทอปิกลิแกนค์ของ 2-เมทิลโพรเพน	284
8.3	H NMR สเปกตรัมของโมทอปิกลิแกนค์ของ (1) 1,4-ไดโบรโมเบนซีน (2) 1,1-ไดคลอโรอีเทน	285
8.4	H NMR สเปกตรัมของหมู่ $-CH_2$ ของสาร 2-คิวเทอริโอ-2-ฟีนิลเอทานอล	287
8.5	H NMR สเปกตรัมของ H_a และ H_b ของ 2-โบรโม-2-คลอโรโพรเพน	288
8.6	H NMR สเปกตรัมของ H_a และ H_b ของกรด 2,3-ไดโบรโม-2-เมทิลโพรไพโอนิก	288