

เคมีอินทรีย์ขั้นสูง

รองศาสตราจารย์ ดร.วิลาศ พุ่มพิมล



คู่มือการเรียนการสอนวิชาเคมีอินทรีย์ขั้นสูง

ดวงกมลพับลิชชิ่ง
นำเสนอทั้งสื่อดิจิทัล มีคุณภาพ

เคมีอินทรีย์ขั้นสูง 1

รองศาสตราจารย์ ดร. วิลาศ พุ่มพิมล

คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

หนังสือเคมีอินทรีย์ขั้นสูง 1 เป็นหนังสือที่อาจารย์ผู้สอนได้เขียนขึ้นมาเพื่อให้นักศึกษาที่เรียนวิชาเคมี และได้ทราบปัญหาความไม่เข้าใจของนักศึกษา แล้วได้มาบรรยายเป็นตัวอักษร เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจง่ายขึ้น อาจารย์คัดกลไกการนำเสนอแบบใหม่ เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายและไม่เบื่อก่อนที่จะเรียน เนื้อหาครอบคลุมผู้เรียน หรือเพื่อผู้ที่นำไปใช้ในการประกอบอาชีพ หรือนำไปใช้งานเพื่อประโยชน์แก่ตนเอง และผู้ที่อยู่ในสังคม มีการอธิบายความหมายของสูตรต่างๆ และความหมายของสารเคมีไว้อย่างละเอียดถี่ถ้วน

หนังสือเล่มนี้สามารถนำไปประกอบการเรียนการสอนในชั้นปริญญาตรี หรือท่านที่สอนวิชานี้ หากหนังสือเล่มนี้พิมพ์ตกตัวการันต์ไม่ถูกต้อง ช่วยแจ้งสำนักพิมพ์ เพื่อเป็นวิทยาทานต่อไป และขออภัยในความบกพร่อง จะนำมาแก้ไขปรับปรุงต่อไป

ด้วยความปรารถนาดี
สำนักพิมพ์ดวงกมลพับลิชชิง

คำนำ

การผลิตบัณฑิตสาขาการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีความประสงค์เพื่อเตรียมบุคลากรทางการศึกษา หรือครูวิทยาศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญในศาสตร์การสอน การศึกษาค้นคว้าวิจัย และการบูรณาการองค์ความรู้ ไปแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันได้ หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต (5 ปี) วิชาเอกวิทยาศาสตร์ เป็นหนึ่งในหลายสาขาการศึกษาที่เน้นผลลัพธ์การเรียนรู้แก่ผู้เรียนให้มีความรู้และเข้าใจ คิดวิเคราะห์ ตลอดจนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับวิชาเคมีอินทรีย์ (Organic Chemistry) รหัส SCIE302 5 (2-4-3) เป็นกลุ่มวิชาเฉพาะด้านวิทยาศาสตร์ ที่ผู้เขียนจัดประสบการณ์ให้ผู้เรียนมีความสามารถในการถ่ายโยงความรู้ที่ได้ไปยังสิ่งต่างๆ ที่อยู่รอบตัวเป็นต้นว่า การอธิบายการเปลี่ยนแปลง ปฏิกิริยาเคมี และปัญหาที่เกี่ยวข้องกับเคมีอินทรีย์

รายวิชาประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 17 บท ครอบคลุมคำอธิบายรายวิชาโดยเริ่มจากการแนะนำให้รู้จักภูมิหลังเคมีอินทรีย์ โครงสร้างและการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยสเปกโทรสโกปีด้านนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ อินฟราเรด และแมสสเปกโตรเมทรี นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงชนิดของปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ พร้อมทั้งบทบาทของกรดและเบสในขณะเกิดปฏิกิริยาไว้ด้วย ในส่วนรายละเอียดของสารอินทรีย์แต่ละชนิด มีการนำเสนอแบบใหม่ โดยใช้กลไกการเกิดปฏิกิริยามาอธิบาย เช่น สารไฮโดรคาร์บอนจำพวกแอลคีนอยู่ในบทการไม่ประจำที่และสังยุค หรือปฏิกิริยาการแทนที่เอโรเมติกด้วยอิเล็กโตรไฟล์ สำหรับสารประกอบคาร์บอนิลและอนุพันธ์ได้นำเสนอทั้งปฏิกิริยาการแทนที่และปฏิกิริยาการเติมไว้ด้วย ในการศึกษาการจัดวางหมู่ต่างๆ ของอะตอม หรือหมู่อะตอมนั้นได้กล่าวถึงในบทสเตอริโอเคมี และในเนื้อหาอีกส่วนหนึ่งยังได้กล่าวถึงสารประกอบโลหะอินทรีย์ไว้ด้วย

เอกสารคำสอนเล่มนี้ผู้เขียนมีความตั้งใจที่จะนำเสนอเนื้อหาใหม่ของเคมีอินทรีย์ที่บูรณาการ ทั้งเครื่องมือสำหรับพิสูจน์โครงสร้างที่ทันสมัยมีความเชื่อมโยงกับของปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารชนิดต่างๆ โดยเฉพาะยา วัสดุ และสารสำคัญอื่นๆ ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านไม่มากนักน้อยหากผู้อ่านมีข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ผู้เขียนยินดีน้อมรับเพื่อความสมบูรณ์ต่อไป สุดท้ายผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณครูอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาเคมีให้จนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งแก่ตนเองและส่วนรวม

รศ.ดร. วิลาศ พุ่มพิมล

	หน้า
คำนำ	(4)
สารบัญ	(5)
สารบัญรูป	(19)
สารบัญตาราง	(23)
บทที่ 1 บทนำ	1
สารประกอบอินทรีย์	2
เคมีอินทรีย์และอุตสาหกรรม	7
เคมีอินทรีย์และตารางธาตุ	13
สรุป	15
คำถามท้ายบท	16
บทที่ 2 โครงสร้างสารอินทรีย์	17
โครงสร้างไฮโดรคาร์บอนและหมู่ฟังก์ชัน	17
การวาดโครงสร้างโมเลกุล	19
การปรับโครงสร้างให้เหมาะสม	21
การวาดภาพ 3 มิติบนกระดาษที่มี 2 มิติ	22
โครงสร้างของไฮโดรคาร์บอน	22
- โซ่	22
- โซ่ไฮโดรคาร์บอน	23
- ธาตุอินทรีย์	23
- วงคาร์บอน	24
- กิ่งก้าน	26
หมู่ฟังก์ชัน	28
- แอลเคน	29
- แอลคีน หรือ โอลิฟิน	29
- แอลไคน์	29
- แอลกอฮอล์	30
- อีเทอร์	30

- เอมีน	30
- สารประกอบไนโตร	31
- แอลคิลเฮไลด์	31
- แอลดีไฮด์และคีโตน	31
- กรดคาร์บอกซิลิก	32
- เอสเทอร์	32
- เอไมด์	32
- ไนไทรล์หรือไซยาไนด์	33
- เอซิลคลอไรด์ หรือ กรดคลอไรด์	33
- แอซีทัล	33

ชื่อสารประกอบ	33
---------------	----

ชื่อระบบ	34
----------	----

- การระบุตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน	35
- ออร์โท เมตา และพารา	36
- ชื่อสารที่มีโครงสร้างซับซ้อน	37
- การใช้ชื่อย่อสารประกอบ	38
- สารประกอบที่นักเคมีใช้ชื่อระบบ	39
- สารประกอบที่ไม่มีชื่อระบบ	40

สรุป	41
------	----

คำถามท้ายบท	42
-------------	----

บทที่ 3	การพิสูจน์โครงสร้างสารอินทรีย์	43
----------------	---------------------------------------	-----------

สเปกโทรสโกปี	43
--------------	----

แมสสเปกโตรเมทรี	44
-----------------	----

- แมสสเปกโตรเมทรี : ใช้แรงกระตุ้นของอิเล็กตรอน	44
- แมสสเปกโตรเมทรี : การแตกตัวโดยใช้วิธีทางเคมี	46
- แมสสเปกโตรเมทรี : ใช้จำแนกไอโซโทป	47
- คาร์บอน ไอโซโทป-13 (^{13}C)	48
- การหาค่าประจุจาก HRMS	50

นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์	50
-----------------------------	----

- สนามแม่เหล็กในนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์	51
- ค่าเคมีคัลชิฟต์ (δ)	53
- สารตัวอย่างอ้างอิง : เททระเมทิลไซเลน	54
- เอ็นเอ็มอาร์สเปกตรัมอย่างง่าย	55

- ผลของการกำบังและ ไม่กำบังในการรับอนิมิตัว	57
อินฟาเรดสเปกตรัม	60
แถบดูดกลืนพันธะคู่ที่สำคัญในอินฟาเรดสเปกตรัม	67
ผลของไดโพลโมเมนต์ต่อแถบการดูดกลืน	67
การใช้พันธะเดี่ยวบอกรายละเอียดในโมเลกุล	68
การนำแมสสเปกตรัม เอ็นเอ็มอาร์และอินฟาเรดพิสูจน์โครงสร้าง	69
การใช้สมมูลพันธะคู่ช่วยพิสูจน์โครงสร้าง	71
โครงสร้างสารประกอบจากปฏิกิริยาเคมี	73
สรุป	76
คำถามท้ายบท	77
บทที่ 4 โครงสร้างโมเลกุล	79
โครงสร้างอะตอม	79
- สเปกตรัมของอะตอม	80
- สเปกตรัมไฮโดรเจน	81
- การใช้สเปกตรัมยืนยันระดับพลังงานของอิเล็กตรอน	82
- สมการเรอติงเงอร์กับเลขควอนตัม	83
- ความสำคัญของเลขควอนตัม	84
อะตอมิกออร์บิทัล	85
- การเรียกชื่อ	85
- เลขควอนตัมสปิน	85
- การสร้างตารางธาตุ	85
- การใช้เส้นเขียนภาพแทนออร์บิทัล	87
- เฟสของออร์บิทัล	91
- การบรรจุอิเล็กตรอนลงในออร์บิทัล	92
โมเลคิวลาร์ออร์บิทัล : คู่อะตอมเอกพันธ	94
- การทำลายพันธะ	96
- การสร้างพันธะของธาตุอื่น : ฮีเลียม	96
- การสร้างพันธะระหว่าง 2s และ 2p ออร์บิทัล	97
โมเลคิวลาร์ออร์บิทัล : คู่อะตอมวิวิธพันธ	100
- ปัจจัยที่ส่งผลต่ออันตรกิริยาของออร์บิทัล	103
- โมเลคิวลาร์ของโมเลกุลที่มากกว่า 2 อะตอม	104
ไฮบริดเซชันของอะตอมิกออร์บิทัล	105
- ไฮบริดเซชันของอะตอมอื่น	108

- พันธะคู่ของการ์บอนกับอะตอมอื่น	109
สรุป	111
คำถามท้ายบท	111

บทที่ 5 ปฏิกริยาเคมีอินทรีย์ 113

ปัจจัยที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้อง	113
- พลังงาน	113
- การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน	114
- การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในปฏิกิริยา	114
- การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนด้วยมุมที่เหมาะสม	115
- นิวคลีโอไฟล์ให้พลังงานอิเล็กตรอนสูงแก่อิเล็กโตรไฟล์	117
- อิเล็กโตรไฟล์พลังงานอิเล็กตรอนต่ำ	118
การใช้ลูกศรแทนกลไกการเกิดปฏิกิริยา	122
- การเขียนประจุให้คงที่ทุกขั้นปฏิกิริยา	123
- การสลายตัวของโมเลกุล	124
- การใช้ลูกศรแทนการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในโมเลกุล	124
- การฝึกเขียนกลไกการเกิดปฏิกิริยาลูกศร	125
- การเขียนกลไกการเกิดไฮยาโนไซด์	127
- การเขียนกลไกการเกิดไฮโอโซคลิกอีเทอร์	127
- สรุปแนวทางการเขียนกลไกการเกิดปฏิกิริยา	128
สรุป	128
คำถามท้ายบท	129

บทที่ 6 ปฏิกริยาการเติมนิวคลีโอไฟล์ของหมู่คาร์บอนิล 131

โมเลกุลคาร์บอนิลของหมู่คาร์บอนิล	131
การเตรียมไฮยาโนไซด์	133
มุมการเข้าชนแอลดีไฮด์และคีโตนของนิวคลีโอไฟล์	135
ปฏิกิริยาของไฮดรอกไซด์กับแอลดีไฮด์และคีโตน	136
ปฏิกิริยาของไฮดรอกไซด์กับแอลดีไฮด์และคีโตน	138
ปฏิกิริยาของน้ำกับแอลดีไฮด์และคีโตน	140
เฮมิแอซิทัล : ผลิตภัณฑ์ของแอลกอฮอล์กับแอลดีไฮด์	143
กรดและเบสในปฏิกิริยาสังเคราะห์เฮมิแอซิทัล	145
ปฏิกิริยาของไบซัลไฟด์กับแอลดีไฮด์และคีโตน	146

สรุป	148
คำถามท้ายบท	149
บทที่ 7 การไม่ประจำที่ของอิเล็กทรอนิกส์และสัณยศาสตร์	151
โครงสร้างอิทีน	151
โครงสร้างของเบนซีน	154
นอนโซคลิกพอลิอิน	155
สัณยศาสตร์	157
ระบบแอลลิต	158
- การใช้เอ็นเอ็มอาร์ศึกษาในระบบแอลลิตแคดไอออน	160
- ระบบแอลลิตเรดิคัล	161
- ระบบแอลลิตแอนไอออน	161
ระบบที่คล้ายกับแอลลิต	162
- คาร์บอกซิเลตแอนไอออน	162
- หมู๋ไนโตร	163
- หมู๋เอไมด์	163
- โครงสร้างหมู๋เอไมด์	164
- ปฏิกริยาของหมู๋เอไมด์	165
สัณยศาสตร์ของสารมีพันธะไพ 2 แห่ง	165
- โมเลกุลควาร์ตอร์บิทัลของบิวทาไดอิน	165
สเปกตรัมของอัลตราไวโอเล็ตและแสงที่มองเห็น	167
- สัณยศาสตร์กับการเกิดวงโคจร	168
- ความเป็นแอโรแมติก	169
- ความร้อนการเกิดไฮโดรเจนชั้นเบนซีนและไฮโดรคาร์บอนที่ต่างกัน	171
- ไฮโดรเจนบอนด์ของเบนซีน	173
- การเขียนแผนภาพพลังงานของไฮโดรคาร์บอนสัณยศาสตร์	174
- กฎของฮุกเกิล	175
- สเตอโรไฮโดรเจนแอโรแมติก	176
สรุป	178
คำถามท้ายบท	178
บทที่ 8 สภาพกรด เบส และการแตกตัวของกรดอ่อน	181
สภาพกรด	181
- ไฮโดรเนียมไอออน	181

- เบสสังยุค	182
- ความเป็นกรดและเบสของน้ำ	182
- ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลาย	183
- การแตกตัวของน้ำ	183
ค่า pK_a	184
- การสกัดด้วยกรด-เบส	185
- ค่า pK_a กับเสถียรภาพของเบสสังยุค	186
- ค่า pK_a ของกรดหรือเบส 2 ชนิดผสมกัน	188
- ผลของการปรับระดับค่า pK_a ของตัวทำละลาย	189
- การกะประมาณค่า pK_a	189
- ผลของไฮบริไดเซชันต่อค่า pK_a	193
- สังยุคของกรดคาร์บอนที่มีหมู่ฟีนิล	194
- หมู่ให้อิเล็กตรอนจะลดความเป็นกรด	196
- กรดในโตรเจน	196
สภาพเบส	197
- ปัจจัยที่ทำให้สารประกอบมีสภาพเบส	197
เบสในโตรเจน	198
- ผลการเพิ่มความหนาแน่นอิเล็กตรอนบนในโตรเจน	198
- เอไมด์: เบสอ่อน	200
- เอมีน	201
- กัวนิดีน	201
- อิมิดาโซลีน	202
เบสออกซิเจน	202
สรุป	204
คำถามท้ายบท	204
บทที่ 9 การสร้างพันธะระหว่างคาร์บอนด้วยโลหะอินทรีย์	207
ปฏิกิริยาของโลหะอินทรีย์: สารตั้งต้นหมู่คาร์บอนิล	207
พันธะคาร์บอนกับโลหะของสารประกอบโลหะอินทรีย์	208
การเตรียมโลหะอินทรีย์	209
- กริญารรีเอเจนต์	209
- การเตรียมโลหะอินทรีย์ลิเทียม	211
- โลหะอินทรีย์ทำหน้าที่เป็นเบส	211
- โลหะอินทรีย์ดึงโปรตอนจากแอลไคน์	212

- ออร์โทลิทีเอชันของแอโรแมติก	213
- การแลกเปลี่ยน โลหะกับเฮไลเจน	214
- การถ่ายโอนโลหะ	216
การใช้โลหะอินทรีย์สังเคราะห์โมเลกุลสารอินทรีย์	217
- การเตรียมกรดคาร์บอกซิลิกจากคาร์บอนไดออกไซด์	217
- การเตรียมแอลกอฮอล์ปฐมภูมิจากฟอร์มัลดีไฮด์	219
- การเตรียมแอลกอฮอล์ทุติยภูมิและตติยภูมิจากแอลดีไฮด์หรือคีโตน	219
- การเตรียมคีโตนโดยวิธีออกซิไดซ์แอลกอฮอล์	221
กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับโลหะอินทรีย์	222
สรุป	224
คำถามท้ายบท	224
บทที่ 10 ปฏิกิริยาการแทนที่แอโรแมติกด้วยอิเล็กโตรไฟล์	227
อินอลและฟินอล	227
เบนซีน : ปฏิกิริยากับอิเล็กโตรไฟล์	229
- การเข้าทำปฏิกิริยาของอิเล็กโตรไฟล์ : เบนซีนและไซโคลเฮกซีน	229
- สารมัธยันตร์ของปฏิกิริยา	230
- ปฏิกิริยาในเตรนชันของเบนซีน	232
- ปฏิกิริยาซัลโฟเนชันของเบนซีน	232
- ปฏิกิริยาไฟรเดล-คราฟต์ : การแทนที่ด้วยหมู่เอซิลและแอลคิล	233
- ข้อสรุปเกี่ยวกับปฏิกิริยา	234
ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์ของฟินอล	235
- ปฏิกิริยาโบรมิเนชันของฟินอล	235
- การยืนยันการกระจายอิเล็กตรอนด้วย $^1\text{H-NMR}$	237
- การเปรียบเทียบปฏิกิริยาของเบนซีนและฟินอล	237
อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของไนโตรเจน : การกระตุ้นวงเบนซีน	238
- การลดความว่องไวการเกิดปฏิกิริยาของเอมีน	239
- การกีดขวางเนื่องจากขนาด	240
- สถานะเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยา	240
ปฏิกิริยาของแอลคิลเบนซีน : หมู่แทนที่ซึ่งให้ชีกมาอิเล็กตรอน	241
- ปฏิกิริยาซัลโฟเนชันของทอลูอิน	243
การแทนที่แอโรแมติกมีหมู่ตั้งอิเล็กตรอน : ตำแหน่งเมตา	244
- หมู่แทนที่พวกตั้งอิเล็กตรอนโดยการเกิดสังยุค	245

แฮโลเจน (F, Cl, I) : บทบาทการให้และรับอิเล็กตรอน	247
ปฏิกิริยาการแทนที่เพียงหมู่เดียว	248
- สารตั้งต้นที่มีหมู่แทนที่ 2 หมู่หรือมากกว่า	250
ปฏิกิริยาที่สำคัญและการเลือกเข้าแทนที่	251
- ชัลโฟเนชัน	251
- ปฏิกิริยาในเตรชันและการคู่ควบเอโซ	252
- การสร้างสารเชิงซ้อนของออกซิเจนและไนโตรเจน	253
- ปฏิกิริยาฟรีเคิล-กราฟต์แอลคิลเลชัน : การใช้ 1° -แอลคิลเฮไลด์	253
- ปฏิกิริยาฟรีเคิล-กราฟต์แอซิดเลชัน	254
- ปฏิกิริยาการเพิ่มคาร์บอนหนึ่งอะตอมของเบนซีน	255
แนวทางการสังเคราะห์ยาต้านโรคลิวคีเมีย	256
สรุป	258
คำถามท้ายบท	258
บทที่ 11 โปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์	263
ความแตกต่างของคาร์บอนและโปรตอนเอ็นเอ็มอาร์	263
อินทีเกรชัน	264
บริเวณการเกิดสัญญาณเรโซแนนซ์ของโปรตอน	267
โปรตอนของคาร์บอนอิมิตัว	267
- ค่าเคมีคัลชิต์กับค่าสภาพไฟฟ้าลบของหมู่แทนที่	267
- ค่าเคมีคัลชิต์ของโปรตอนกับสมบัติทางเคมี	268
- หมู่เมทิลใช้ระบุโครงสร้างโมเลกุล	269
- ค่าเคมีคัลชิต์ของหมู่เมทิลีน	270
- ค่าเคมีคัลชิต์ของหมู่เมทิน	271
- ข้อแนะนำง่ายๆ เกี่ยวกับค่าเคมีคัลชิต์	272
- สรุปค่าเคมีคัลชิต์ของโปรตอน	272
- บริเวณการเกิดสัญญาณโปรตอนของแอลคีนและเบนซีน	274
- ผลของกระแสวงแหวนต่อค่าเคมีคัลชิต์ของเบนซีน	274
- ผลของหมู่ให้และดึงอิเล็กตรอนต่อค่าเคมีคัลชิต์	277
- แอลคีนที่ร้าวและขาดแคลนอิเล็กตรอน	278
- การใช้ค่าเคมีคัลชิต์โปรตอนของแอลคีนพิจารณาโครงสร้าง	279
บริเวณการเกิดสัญญาณโปรตอนของแอลดีไฮด์	279
- โปรตอนของเฮเทอโรอะตอม	280

- การแลกเปลี่ยนโปรตอนกรดที่เกิดขึ้นใน ^1H -NMR สเปกตรัม	281
การคู่ควบของโปรตอนใน ^1H -NMR สเปกตรัม	282
- การคู่ควบกับโปรตอนข้างเคียง	282
- การคู่ควบผ่านพันธะ	291
ปัจจัยที่มีผลต่อค่าคงที่คู่ควบ	293
ค่าคงที่คู่ควบของโปรตอนที่เท่าเทียมกัน	296
การคู่ควบของโปรตอนที่คาร์บอนเดียวกัน	298
สรุป	300
คำถามท้ายบท	301
บทที่ 12 ปฏิกริยาการแทนที่หมู่คาร์บอนิลด้วยนิวคลีโอไฟล์	307
เสถียรภาพของผลิตภัณฑ์จากการเติมด้วยนิวคลีโอไฟล์	307
อนุพันธ์กรดคาร์บอกซิลิก	308
- ปฏิกริยาการเตรียมเอสเทอร์จากกรดคลอไรด์และแอลกอฮอล์	308
- เสถียรภาพของสารมัธยันตร์ทรงสี่หน้า	311
- ค่า pK_{aH} กับความสามารถเป็นหมู่ผลออก	311
- ปฏิกริยาของเอมีนกับแอซิดคลอไรด์	312
- การใช้ค่า pK_{aH} ทำนายการเกิดอนุพันธ์ของคาร์บอกซิลิก	313
อนุพันธ์กรดคาร์บอกซิลิกกับความว่องไวต่อปฏิกิริยา	315
- การไม่ประจำที่ของอิเล็กตรอนและความเป็นอิเล็กโตรไฟล์	315
- ปฏิกริยาการแทนที่ของกรดคาร์บอกซิลิก	316
- การเพิ่มความว่องไวโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	316
- การใช้กรดเพิ่มความว่องไวเป็นหมู่ผลออก	317
- การเตรียมเอสเทอร์โดยการควบคุมสมดุล	317
- การสลายเอสเทอร์ด้วยน้ำโดยมีกรดเร่งปฏิกิริยาและถ่ายโอนเอสเทอร์	318
- การแตกสลายเอสเทอร์ด้วยน้ำโดยมีเบสเร่งปฏิกิริยา	319
- การแตกสลายเอไมด์ด้วยน้ำโดยมีกรดและเบสเป็นตัวเร่ง	321
- การแตกสลายไนไตร์	323
- การเตรียมกรดไฮโดรซัลฟิติกจากกรดคาร์บอกซิลิกกับ SOCl_2 กับ PCl_5	324
ปฏิกิริยาการแทนที่อนุพันธ์กรดคาร์บอกซิลิก	326
การแก้ปัญหาการเตรียมคีโตนจากเอสเทอร์	327
- การเพิ่มความว่องไวให้แก่สารตั้งต้น	327
- การลดความว่องไวให้แก่สารผลิตภัณฑ์	328

สรุป	330
คำถามท้ายบท	331
บทที่ 13 สมดุล อัตรา และกลไกการเกิดปฏิกิริยา	333
เสถียรภาพและพลังงาน	333
ค่าคงที่สมดุลกับพลังงาน	335
- ความหมายของสมดุล	336
- ประโยชน์ของค่า ΔG°	336
- ความสัมพันธ์ของค่า ΔG° กับค่า K	336
การเพิ่มค่าคงที่สมดุล	339
- การเกิดเอนเทอร์	339
- สมดุลระหว่างเอนเทอร์และเอไมด์	340
ความสำคัญของเอนโทรปี	341
- ความแตกต่างพลังงาน (ΔG°) เอนทัลปี (ΔH°) และเอนโทรปี (ΔS°)	341
- เอนทัลปีกับเอนโทรปี	342
- ความเป็นกรดของกรดคลอโร	342
ค่าคงที่สมดุลกับอุณหภูมิ	343
- หลักของเลอ ชาเตอลีเย	344
- ปฏิกิริยาผันกลับได้เมื่อได้รับความร้อน	344
การเร่งปฏิกิริยา	344
- พลังงานก่อกัมมันต์	345
- ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของสารบางประเภท	346
- อัตราของปฏิกิริยา	347
จลนศาสตร์	348
- กลไกการเกิดปฏิกิริยา	349
- ปฏิกิริยาอันดับสอง	351
- ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนเอนเทอร์	352
ตัวเร่งในปฏิกิริยาการแทนที่หมู่คาร์บอนิล	353
- การใช้เบสอ่อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	354
ปฏิกิริยาการแตกสลายเอไมด์	355
ซิส-ทรานส์ ไอโซเมอร์ซิมของแอลคีน	356
- บทบาทตัวเร่งปฏิกิริยากับการเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์ของแอลคีน	357

ผลิตภัณฑ์แบบจลนศาสตร์กับอุณหพลศาสตร์	357
- การควบคุมการเกิดไอโซเมอร์ไรเซชันของแอลคีน	359
การป้องกันการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง	361
ตัวทำละลาย	362
สรุป	365
คำถามท้ายบท	365
บทที่ 14 ปฏิบัติการแทนที่หมู่คาร์บอนิลด้วยนิวคลีโอไฟล์ 2	369
การตรวจพิสูจน์หมู่คาร์บอนิล	369
ปฏิกิริยาแอลดีไฮด์กับแอลกอฮอล์ : เฮมิแอซีทัล	370
- เสถียรภาพของเฮมิแอซีทัล	371
- ตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดเฮมิแอซีทัล	372
แอซีทัล	372
- การเตรียมแอซีทัล	374
- เอนโทรปีกับการเกิดออร์โทเอสเทอร์	374
- ปฏิบัติการแตกสลายด้วยน้ำของแอซีทัล	375
- ไซคลิกแอซีทัล : ปฏิบัติการแตกสลายด้วยน้ำ	375
- แอซีทัล : บทบาทการเป็นหมู่ป้องกัน	376
ปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอนิลกับเอมีน	377
- อิมีน	378
- เสถียรภาพของอิมีน	379
- อิมีนที่เสถียร	380
- อิมิเนียม ไอออนและออกโซเนียม ไอออน	381
- อินามีน	381
- ปฏิบัติการของอิมิเนียม ไอออน	382
รีดักทีฟแอมิเนชัน	382
- ลิเทียมอลูมิเนียมไฮไดรด์	384
- การสังเคราะห์แบบสเตอริโอ	384
- ปฏิบัติการวิทติก	385
สรุป	386
คำถามท้ายบท	387
บทที่ 15 การทบทวนวิธีการสเปกโทรสโกปี	391
สเปกโทรสโกปีของหมู่คาร์บอนิล	391

- ความแตกต่างของแอลดีไฮด์และคีโตนกับอนุพันธ์กรด	391
- ความแตกต่างของแอลดีไฮด์และคีโตนโดยใช้ $^1\text{H-NMR}$	392
- การใช้ $^{13}\text{C-NMR}$ จำแนกความแตกต่างของกรดและอนุพันธ์	392
อินฟราเรด : การจำแนกอนุพันธ์กรด	393
ความเครียดของวงไซคลิกคีโตน	394
- เอ็นเอ็มอาร์ของแอลไคน์ที่สอดคล้องกับวงไซโคลเฮกซาโนน	395
การคำนวณแถบการยืด C=O	396
การกระทำของอะตอมต่างชนิดกัน	397
- การกระทำของ ^{13}C ในเอ็นเอ็มอาร์สเปกตรัม	398
- การกระทำระหว่างโปรตอนและการ์บอน	399
- โปรตอนดีคัปปลิงในการ์บอนสเปกตรัม	399
การพิสูจน์โครงสร้างสารผลิตภัณฑ์	400
- การเติมแบบสังยุคหรือแบบตรง	400
- การตรวจพิสูจน์สารมัธยันตร์โดยสเปกโทรสโกปี	401
- โครงสร้างสี่เหลี่ยมและลูกบาศก์	402
- การพิสูจน์โครงสร้างสารประกอบจากธรรมชาติ	403
- การคำนวณค่าเคมีคัลชีฟต์ของโปรตอน	407
สรุป	409
คำถามท้ายบท	410
บทที่ 16 สเตอริโอเคมี	415
ภาพในกระจกเงาของสารประกอบ	415
ระนาบสมมาตรกับโมเลกุลไครเรล	416
ศูนย์ไครเรล	417
ไครเรลโมเลกุลในธรรมชาติ	418
การกำหนดโครงแบบ R และ S ศูนย์ไครเรล	419
กัมมันตภาพทางแสง	420
- ค่าการหมุนจำเพาะ $[\alpha]$	421
- การใช้เครื่องหมาย + และ - กับเอแนนทิโอเมอร์	421
- การใช้ D และ L กับเอแนนทิโอเมอร์	422
ไดแอสเตอริโอไอโซเมอร์	422
- ไครเรลและอะไครเรลกับไดแอสเตอริโอไอโซเมอร์	423
- สเตอริโอเคมีสมมาตรและสัมพัทธ์	424

- ไดแอสเตอร์ิโอไอโซเมอร์ที่มีศูนย์ไครัลมากกว่าหนึ่ง	424
สารประกอบมีโซ	427
วิธีศึกษาสเตอริโอเคมีของสารประกอบ	428
- กรดเฟร็ด	429
- สารประกอบไครัลที่ไม่มีศูนย์ไครัล	430
การแยกเอแนนทิโอเมอร์	431
- การใช้เกลือ ไดแอสเตอร์ิโอไอโซเมอร์แยกของผสม	434
- การใช้ไครัลคอลัมน์	435
สรุป	437
คำถามท้ายบท	438
บทที่ 17 ปฏิกริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ที่คาร์บอนอิ่มตัว	441
กลไกการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์	441
โครงสร้างและเสถียรภาพของคาร์โบแคตไอออน	443
กลไกการแทนที่แบบ S_N1 และ S_N2	445
- การใช้และการเขียนสมการอัตรา	446
- สิ่งสำคัญในสมการอัตราของกลไกแบบ S_N2	447
- จลนศาสตร์ของกลไกแบบ S_N1	448
การพิจารณากลไกแบบ S_N1 และ S_N2	449
- เสถียรภาพและโครงสร้างของ 3°-คาร์โบแคตไอออน	449
- เสถียรภาพของคาร์โบแคตไอออนเกิดจาก C—H หรือ C—C	450
- แอลลิลิกและเบนซิลิกแคตไอออน	451
ปฏิกิริยา S_N2	455
- โครงสร้างสารตั้งต้นกับกลไก S_N2	455
- สถานะเปลี่ยนแปลงของกลไก S_N2	456
- สเตอริโอเคมีและการแทนที่	457
- การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและกลไก S_N2	459
- การกีดขวางเนื่องจากขนาดในปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์	463
- ผลของตัวทำละลาย	464
- หมู่ผลออก	465
- การแทนที่แอลกอฮอล์ด้วยนิวคลีโอไฟล์	466
- ปฏิกิริยามิตซูโนบุ	467
- ทอซิลเลต (TsO)	470

- อีเทอร์ทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไฟล์ 470
- อีพอกไซด์ 471
- เอสเทอร์ 472

นิวคลีโอไฟล์ 472

นิวคลีโอไฟล์ในกลไกแบบ S_N2 473

- ในไตรเจนนิวคลีโอไฟล์ 473
- ซัลเฟอร์นิวคลีโอไฟล์ 475
- ความแตกต่างของประสิทธิภาพนิวคลีโอไฟล์ในกลไก S_N2 476

การเปรียบเทียบนิวคลีโอไฟล์กับหมู่ผละออก 477

สรุป 479

คำถามท้ายบท 480

บรรณานุกรม 483

บรรณานุกรม 485

รูปที่		หน้า
1.1	ผลิตภัณฑ์เจลโคโนหนวด	8
3.1	เครื่องแมสสเปกโตรเมทรี	45
3.2	แมสสเปกโตรเมทรีของเฮปแทน-2-โอิน	45
3.3	แมสสเปกโตรเมทรีของโบรโมเอไมด์	47
3.4	แมสสเปกโตรเมทรีของคีคีที	48
3.5	แมสสเปกโตรเมทรีของบีเอชที	49
3.6	เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์	51
3.7	สัญญาณ $^{13}\text{C-NMR}$ ของเอทานอล	54
3.8	สัญญาณ $^{13}\text{C-NMR}$ ของกรดเฮกแซนไดโอดิก	56
3.9	สัญญาณ $^{13}\text{C-NMR}$ ของเฮปแทน-2-โอิน	56
3.10	สัญญาณ $^{13}\text{C-NMR}$ ของบิวทิลเลตไฮดรอกซีทอลูอิน	56
3.11	สัญญาณ $^{13}\text{C-NMR}$ ของพาราเซตามอล	57
3.12	$^{13}\text{C-NMR}$ ของ $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ทั้ง 7 ไอโซเมอร์	59
3.13	เครื่องอินฟราเรด	61
3.14	ตัวอย่างอินฟราเรดสเปกตรัม	62
3.15	อินฟราเรดสเปกตรัมที่แสดงแถบการดูดกลืนพันธะ N—H	63
3.16	อินฟราเรดสเปกตรัมที่แสดงแถบการดูดกลืนพันธะ H—N—H	63
3.17	อินฟราเรดสเปกตรัมที่แสดงแถบการดูดกลืนพันธะ O—H	64
3.18	อินฟราเรดสเปกตรัมที่แสดงแถบการดูดกลืนพันธะ O—H ของกรดคาร์บอกซิลิก	64
3.19	อินฟราเรดสเปกตรัมที่แสดงแถบการดูดกลืนพันธะ O—H/N—H ของพาราเซตามอล	65
3.20	อินฟราเรดสเปกตรัมที่แสดงแถบการดูดกลืนพันธะ O—H ของบีเอชที	66
3.21	แถบดูดกลืนเหนือ $3,000\text{ cm}^{-1}$ ของพันธะ O—H NH NH ₂ และ C—H แอลกอฮอล์	66
3.22	แมสสเปกตรัมของ $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{NO}$	70
3.23	อินฟราเรดสเปกตรัมและ $^{13}\text{C-NMR}$ ของ $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{NO}$	70
3.24	แมสสเปกตรัมของสารประกอบ X	74
3.25	$^{13}\text{C-NMR}$ ของสารประกอบ X	75
3.26	อินฟราเรดของสารประกอบ X	75
4.1	(ก) STM ของอะตอมออกซิเจนบนผิวโลหะเงิน (ข) ORTEP diagram ของคาทีแนน	79

4.2	แสดงระดับพลังงานของไฮโดรเจนเมื่อ n เพิ่มขึ้น	83
4.3	แสดงพลังงานอิเล็กตรอนที่ความสัมพันธ์กับเลขควอนตัม	86
4.4	ไดอะแกรมคลื่นที่มีแอมพลิจูดต่างกัน	88
4.5	(ก) ความหนาแน่น $1s$ อิเล็กตรอน (ข) ความหนาแน่น $2s$ อิเล็กตรอน	89
4.6	แสดงการเกิดโหนดของคลื่นฮาร์โมนิกแบบต่างๆ	89
4.7	ความหนาแน่นอิเล็กตรอนใน $2p$ ออร์บิทัล	90
4.8	แสดงออร์บิทัล $2p$ แบบสามมิติ	90
4.9	แสดงเฟสของคลื่น	91
4.10	แสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนของคาร์บอนเป็นไปได้ 2 แบบ	93
4.11	แสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอน ของไนโตรเจนและออกซิเจน	94
4.12	แสดงการรวมเฟสของคลื่น	94
4.13	แสดงการสร้างพันธะของแก๊สไฮโดรเจน	95
4.14	แสดงการดูดกลืนพลังงานของอิเล็กตรอน	96
4.15	แสดงการเกิดโมเลคิวลาร์ออร์บิทัลของ He_2	97
4.16	พลังงานในโมเลคิวลาร์ออร์บิทัลแบบต่างๆ ของแก๊สไนโตรเจน	100
4.17	แสดงพลังงานทำให้อิเล็กตรอนของธาตุแตกตัว	101
4.18	โมเลคิวลาร์ออร์บิทัลของธาตุที่มีสภาพไฟฟ้าลบต่างกัน	102
4.19	พันธะไอออนิกของโซเดียมฟลูออไรด์	102
4.20	พลังงานกับการเกิดโมเลคิวลาร์ออร์บิทัล	103
5.1	เปรียบเทียบพลังงานพันธะซิกมาของโบรมีนและอีเทน	122
6.1	^{13}C -NMR ของ 1,1-ไดออล	140
6.2	อินฟราเรดสเปกตรัมของกลอสเรล	142
6.3	อินฟราเรดสเปกตรัมของกลอสเรลไฮเดรต	142
7.1	แสดงการเลื่อนขึ้นของออร์บิทัล	152
7.2	การเลื่อนอิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงาน	154
7.3	โมเลคิวลาร์ของแอลลิลแบบต่างๆ	159
7.4	^{13}C -NMR ของ 3°-เอไมด์	164
7.5	เปรียบเทียบพลังงานออร์บิทัลระหว่างอีเทนและบิวทาไดอิน	166
7.6	การดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตและแสงที่มองเห็นของอีเทนและบิวทาไดอิน	167
7.7	พลังงานการเกิดไฮโดรจิเนชันของไฮโดรคาร์บอนแบบต่างๆ	172
7.8	พลังงานออร์บิทัลของเบนซีน	174
9.1	แสดงพลังงานออร์บิทัลของโลอินทรี	209
10.1	NMR สเปกตรัมของฟีนอลก่อนและหลังเขย่ากับ D_3O^+	228

11.1	¹ H-NMR สเปกตรัมของกรดแอซิดิก	264
11.2	แสดงการคำนวณหาจำนวนโปรตอนจากอินทีเกรชัน	265
11.3	¹ H-NMR สเปกตรัมแสดงตัวเลขอินทีเกรชัน	265
11.4	¹ H-NMR สเปกตรัมของ 1,4-ไดเมทอกซีเบนซีน	266
11.5	¹ H-NMR สเปกตรัมของเอทิลีนไดออกไซด์	266
11.6	¹ H-NMR สเปกตรัมของหมู่ป้องกันกรดอะมิโน	271
11.7	¹ H-NMR สเปกตรัมของคีโทเอสเทอร์	274
11.8	¹ H-NMR สเปกตรัมของเอโรแมติกเอมีน	276
11.9	¹ H-NMR สเปกตรัมของโปรตอนทั้ง 5 ของวงเบนซีนที่ต่อกับหมู่ฟังก์ชัน	276
11.10	¹ H-NMR สเปกตรัมของบีเอชที	280
11.11	¹ H-NMR สเปกตรัมของโปรตอนแอมโมเนียมในสารประกอบต่างๆ	281
11.12	¹ H-NMR สเปกตรัมของไซโทซีน	282
11.13	¹ H-NMR สเปกตรัมของไพริมิดีน	283
11.14	การหาค่าคงที่คู่ควบ	286
11.15	¹ H-NMR สเปกตรัมของเครื่องมือที่มีสัญญาณความถี่แตกต่างกัน ผลของการกำบังและไม่กำบังในการบอนด์	287
11.16	¹ H-NMR สเปกตรัมของหมู่เมทอกซีในสารประกอบ แถบดูดกลืนพันธะคู่ที่สำคัญในอินฟราเรดสเปกตรัม	288
11.17	¹ H-NMR สเปกตรัมของออกซีเทน	290
11.18	¹ H-NMR สเปกตรัมของกรดไคแซนทิค	291
11.19	¹ H-NMR สเปกตรัมของฟีโรโมนเตือนภัยในแมลง	292
11.20	¹ H-NMR สเปกตรัมของฟีโรโมนเตือนภัยในแมลงเมื่อความถี่ของเครื่องมากขึ้น	293
11.21	¹ H-NMR สเปกตรัมของเอโรแมติกที่คู่ควบแบบเมตา	295
11.22	¹ H-NMR สเปกตรัมของเอโรแมติกแบบ AX	296
11.23	¹ H-NMR สเปกตรัมของโปรตอนแบบ ABX	297
11.24	¹ H-NMR สเปกตรัมของการคู่ควบแบบ $^3J_{HH}$	298
11.25	¹ H-NMR สเปกตรัมของโปรตอนที่มีการคู่ควบแบบ ABX	298
11.26	¹ H-NMR สเปกตรัมของโปรตอนที่มีการคู่ควบแบบ ABX อีกสารหนึ่ง	299
13.1	แสดงพลังงานการหมุนพันธะ C—N ของ 2°-เอไมด์	334
13.2	แสดงพลังงานการหมุนพันธะ C—N ของ 1°-เอไมด์	334
13.3	แสดงพลังงานการเกิดปฏิกิริยาในการเปลี่ยนแบบเรขาคณิต	335
13.4	แสดงพลังงานการเปลี่ยนแปลงรีเอเจนต์เป็นผลิตภัณฑ์	335
13.5	แสดงพลังงานการสลายเอสเทอร์ด้วยเบสแก่	338

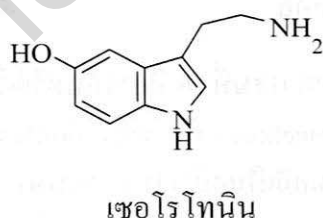
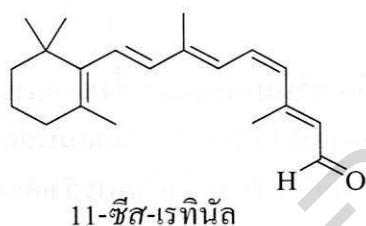
13.6	แสดงพลังงานการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH	341
13.7	แสดงพลังงานก่อกัมมันต์	345
13.8	แสดงพลังงานของการละลายกรดไฮโดรคลอริกในน้ำ	348
13.9	แสดงพลังงานการเกิดปฏิกิริยาของกรดคลอไรด์กับเบสแอลกอฮอล์	349
13.10	แสดงพลังงานการเกิดปฏิกิริยาของกรดคลอไรด์กับแอลกอฮอล์	350
13.11	เปรียบเทียบพลังงานการเกิดปฏิกิริยาของกรดคลอไรด์กับกรดแอนไฮดรายด์	351
13.12	แสดงพลังงานของการเปลี่ยนเอสเทอร์	352
13.13	แสดงพลังงานของการเปลี่ยนแบบเรขาคณิตของแอลคีนโดยใช้ตัวเร่ง	357
13.14	แสดงพลังงานการเกิดปฏิกิริยาที่ได้ผลิตภัณฑ์แบบจลนศาสตร์ และอุณหพลศาสตร์	358
13.15	แสดงพลังงานการเกิดปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์กับไฮโดรเจนคลอไรด์	360
13.16	แสดงพลังงานการจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในตัวทำละลายแตกต่างกัน	364
14.1	แสดงการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของหมู่คาร์บอนิลเมื่อเวลาผ่านไป	377
14.2	อัตราการเกิดปฏิกิริยาของไพรูเวตเป็นออกซิม	378
15.1	$^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของอีเทอร์ 3-เมทอกซีโพร-1-อายน	396
15.2	$^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของฟลูออโรเบนซีน	398
15.3	$^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของไทรฟลูออโรเอซีติก	398
15.4	$^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเฮปเทน-2-โอน	399
15.5	เปรียบเทียบ $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกตรัมชนิดที่คับปลิงและไม่คับปลิง	400
16.1	$^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของกรดเฟรต	430
17.1	แสดงระดับพลังงานของโมเลกุลคาร์บอนีล	477

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โกนหนวดของบริษัทหนึ่ง	9
2.1 แสดงโครงสร้างและจำนวนคาร์บอนของแอลเคน	34
2.2 ชื่อภาษาอังกฤษของโครงสร้างของสารประกอบและตัวทำละลายที่พบบ่อยๆ	40
2.3 อักษรย่อและส่วนโครงสร้างที่ควรรู้	41
3.1 ความอุดมสมบูรณ์ของไอโซโทปคาร์บอน คลอรีน และโบรมีน	49
3.2 ค่ามวลที่แน่นอนของธาตุทั่วไป	50
3.3 ผลของสภาพไฟฟ้าลบบต่อค่าเคมีคัลลชีฟต์	58
3.4 แสดงแถบดูดกลืนและปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อรังสีอินฟราเรด	68
3.5 มวลที่ลดลงและความแข็งแรงของพันธะ	68
3.6 สรุปความถี่และหมู่โครงสร้างที่พบแถบรอยพิมพ์นิ้วมือ	69
7.1 แสดงความถี่ที่ถูดูดกลืนและสปีที่ส่งผ่านออกมา	168
8.1 ค่า pK_a ของสารประกอบบางชนิด	187
8.2 แสดงค่า pK_a ของกรดและเบสสังยุคที่สำคัญ	192
8.3 pK_{aH} ของเอมีนชนิดต่างๆ	198
8.4 pK_{aH} ของสารประกอบออกซิเจน	203
10.1 ค่าเคมีคัลลชีฟต์ของสารเชิงซ้อนเบนซีนกับ FSO_3H และ SbF_5 ที่ตำแหน่งต่างๆ	231
10.2 ปฏิกริยาหลักของเบนซีน	235
10.3 การเกิดปฏิกิริยาในเตรชันของเฮไลเบนซีนที่ตำแหน่งต่างๆ	248
10.4 ปฏิกริยาของเบนซีนที่มีคาร์บอน 1 อะตอมเป็นอิเล็กโตรไฟล์	256
11.1 ค่าสภาพไฟฟ้าลบและเคมีคัลลชีฟต์ของอะตอมบางชนิด	268
11.2 ค่าเคมีคัลลชีฟต์ของหมู่เมทิลติดกับหมู่ฟังก์ชันแบบต่างๆ	269
13.1 การเปลี่ยนแปลงค่า K_{eq} กับ ΔG°	337
13.2 แสดงค่า pK_a ของอนุพันธ์กรดแอซิดิก	343
13.3 แสดงค่า E_a ของสารประกอบชนิดต่างๆ	347
13.4 อัตราการเกิดปฏิกิริยาในตัวทำละลายชนิดต่างๆ	363
15.1 ค่าเคมีคัลลชีฟต์ของหมู่เมทิลเกาะที่อะตอมต่างๆ	404
15.2 ค่าเคมีคัลลชีฟต์ของหมู่เมทิลที่พันธะกับหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆ	405

15.3	ค่าเคมีคลิพิทซ์ของ CH_2 พันธะกับหมู่ฟีนิลและหมู่ฟังก์ชันอื่น	406
15.4	ผลของหมู่แทนที่ตำแหน่ง α และ β ต่อค่าเคมีคลิพิทซ์ใน $^1\text{H-NMR}$ และ $^{13}\text{C-NMR}$	407
15.5	การบวกเพิ่มค่าเคมีคลิพิทซ์เมื่อโปรตอนพันธะกับหมู่ฟังก์ชันต่างๆ	408-409
17.1	คาร์โบแคตไอออน: คาร์บีเนียม ไอออนและคาร์โบเนียม ไอออน	444
17.2	คาร์โบแคตไอออน: คาร์บีเนียม ไอออนและคาร์โบเนียม ไอออน	447
17.3	ค่า pK_a และอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบแฮไลด์	447
17.4	อัตราการแยกสลายด้วยตัวทำละลายของแอลคิลคลอไรด์	453
17.5	เสถียรภาพของคาร์โบแคตไอออนในปฏิกิริยาที่ผ่านกลไกแบบ $\text{S}_\text{N}1$	455
17.6	อัตราสัมพัทธ์กลไกแบบ $\text{S}_\text{N}2$ ของแอลคิลคลอไรด์กับไอโอไดด์ไอออน	461
17.7	การเปรียบเทียบโครงสร้างสารประกอบที่เกิดกลไกแบบ $\text{S}_\text{N}1$ และ $\text{S}_\text{N}2$	462
17.8	ความแข็งแรงพันธะของแฮไลด์ในกลไกแบบ $\text{S}_\text{N}1$ และ $\text{S}_\text{N}2$	466
17.9	ค่า pK_a และอัตราการเกิดปฏิกิริยาสัมพัทธ์ของนิวคลีโอไฟล์กับเมทิลโบรไมด์ ในเอทานอล	478

เคมีอินทรีย์เป็นวิชาที่น่าสนใจเนื่องจากศาสตร์นี้สามารถอธิบายเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ได้หลากหลาย เป็นต้นว่า ขณะที่อ่านหนังสือดวงตาจะต้องใช้สารอินทรีย์ชื่อ 11-ซิส-เรตินัล (11-cis-retinal) เพื่อดูดกลืนแสงที่มองเห็นไปกระตุ้นกระแสประสาท แม้กระทั่งการหยิบจับสิ่งของก็จะใช้กล้ามเนื้อซึ่งจะทำให้ร่างกายเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นพลังงาน นอกจากนี้สมองยังใช้ในการรับรู้เรื่องราวต่างๆ ก็อาศัยสารเซโรโทนิน (serotonin) ซึ่งทำหน้าที่ประสานระหว่างเซลล์สมองเพื่อให้เกิดกระบวนการแปลความหมายอันจะนำไปสู่การรับรู้ เป็นต้น



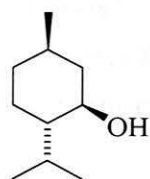
เคมีอินทรีย์เริ่มเข้ามามีบทบาทเมื่อต้นศตวรรษที่ 19 ทำให้นักเคมีอินทรีย์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการอธิบายปรากฏการณ์สำคัญต่างๆ เช่น เคมีของสิ่งมีชีวิต การนำศาสตร์นี้ไปใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เครื่องนุ่งห่ม และยารักษาโรค อย่างไรก็ตามความเจริญของวิทยาการนี้ยังขาดความตระหนักและระมัดระวังจึงทำให้ส่งผลเสียตามมาและเริ่มมีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะของเสียอันตรายจากกระบวนการผลิต

ต่อมาราวศตวรรษที่ 20 นักเคมีได้ร่วมกับนักคณิตศาสตร์ นักฟิสิกส์ และนักชีววิทยาได้ร่วมกันศึกษาพฤติกรรมโมเลกุลสารอินทรีย์ในกระบวนการของสิ่งมีชีวิต อาทิ วิถีชีวิตสังเคราะห์ บทบาทในกระบวนการเมแทบอลิซึม และการกำจัดของเสียออกจากสิ่งมีชีวิต ความพยายามศึกษาเรียนรู้เหล่านี้ยังมุ่งหวังให้เยาวชนยุคต่อมาได้เกิดความเข้าใจและใช้ศาสตร์นี้อย่างระมัดระวังต่อไป

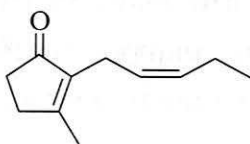
วิวัฒนาการสังเคราะห์โมเลกุลที่มีความก้าวหน้าอยู่ตลอดเวลาทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ อยู่เสมอ เช่น พลาสติก สีย้อมเสื้อผ้า น้ำหอม และยาชนิดใหม่ที่ใช้รักษาโรค เป็นต้น ซึ่งบางคนอาจคิดว่าสารอินทรีย์สังเคราะห์เหล่านี้อาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ อย่างไรก็ตามสิ่งเหล่านี้เกิดจากสมองและสองมือของนักอินทรีย์เคมีที่สร้างสรรค์ทดลองปฏิกิริยาใหม่ให้เกิดขึ้นอยู่เสมอและเป็นธรรมดาของโลกเมื่อมีเหตุที่น่าจะต้องมีทางแก้ปัญหาอันอาจตามมาได้ ซึ่งมนุษย์จะต้องใช้และเรียนรู้อย่างไม่ประมาทเช่นกัน

สารประกอบอินทรีย์

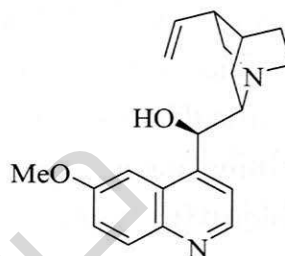
จากที่ทราบแล้วว่านักเคมีอินทรีย์จะสนใจแนวคิดที่เกี่ยวกับเคมีของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะแตกต่างไปจากเคมีในห้องปฏิบัติการทั่วไป ซึ่งต่อมาพัฒนามาเป็นเคมีของธาตุคาร์บอนโดยเฉพาะที่พบในถ่านหิน จากนั้นจะศึกษาสารประกอบของคาร์บอนที่ยึดเกาะกับธาตุอื่นๆ ที่มีอยู่ในสิ่งต่างๆ ทั่วไป สารประกอบอินทรีย์ที่พบเห็นโดยทั่วไปนี้เกิดขึ้นมากกว่าหลายล้านปีมาแล้ว โดยในระยะแรกเชื่อว่ามาจากธรรมชาติเท่านั้น เช่น น้ำมันหอมระเหยที่กลั่นจากพืชหรือแอลคาลอยด์ที่ได้จากพืชจากการสกัดด้วยกรด นอกจากนี้ยังมีเมนทอลที่ได้จากสะระแหน่ และ ซีส-จัสโมน (cis-jasmone) เป็นสารสำคัญในน้ำหอมซึ่งกลั่นมาจากดอกจัสมิน



เมนทอล



ซีส-จัสโมน



ควินิน

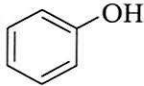
ในศตวรรษที่ 16 มีสารอินทรีย์เป็นที่รู้จักกันมากคือ ควินิน (quinine) ซึ่งสกัดมาจากเปลือกของต้นชิงโกนา (cinchona) พืชนี้เป็นไม้แถบอเมริกาใต้ใช้รักษาอาการไข้มาลาเรีย ในตอนนั้นยังไม่ทราบว่ามีการสร้างทางเคมีเป็นอย่างไร การค้นพบสารเคมีสำคัญที่นำมาเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารอื่นในปัจจุบัน ได้แก่ สารประกอบแอโรแมติกในถ่านหิน และหินน้ำมัน ในช่วงศตวรรษที่ 17 วิธีการแยกโดยการนำมากลั่นจะได้แก๊สกลุ่มที่ให้แสงสว่างและความร้อน เช่น ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ ตลอดจนน้ำมันสีน้ำตาลที่ประกอบด้วยสารแอโรแมติก อาทิ เบนซีน ไพริดีน ฟีนอล อะนิลีน และไทโอฟิน ดังแสดง



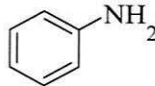
เบนซีน



ไพริดีน



ฟีนอล

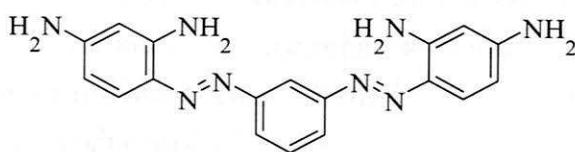


อะนิลีน



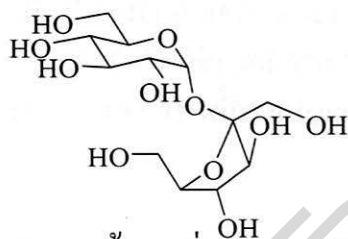
ไทโอฟิน

สำหรับสารประกอบฟีนอลนั้น ลิสเตอร์ (Lister) นำมาใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรคในการผ่าตัดสมัยก่อน ส่วนอะนิลีนที่ประเทศเยอรมนีใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สีย้อมที่เรียกว่า บีสมาร์ค บราวน์ (Bismarck Brown) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมมานานจนถึงปัจจุบัน

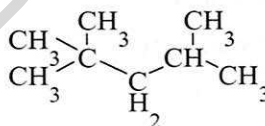


สีย้อม

ในศตวรรษที่ 20 น้ำมันจากถ่านหินเป็นสารสำคัญที่ทำให้รู้จักสารอินทรีย์ซึ่งมีโครงสร้างง่าย ๆ เช่น ไฮโดรคาร์บอน จำพวก มีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นแก๊สธรรมชาติ หรือ โพรเพน ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$) แก๊สดังกล่าว กลายเป็นแก๊สหุงต้มที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจในเวลาต่อมา อย่างไรก็ตามในเวลานั้นนักเคมีได้พยายาม ค้นหาโมเลกุลชนิดใหม่จากเชื้อรา ปะการัง และแบคทีเรียด้วย ทั้งนี้ผลจากการค้นคว้ามักกล่าวทำให้เกิด สาร 2 กลุ่ม ซึ่งกลุ่มแรก คือ ผลิตมาจากโรงงานอุตสาหกรรมจำพวกพลาสติกและสี ส่วนกลุ่มที่ 2 เป็น ยารักษาโรค น้ำหอม และสารเติมแต่งกลิ่น ซึ่งสารเหล่านี้มีผลทางการค้าและทำกำไรให้ผู้ประกอบการมาก กล่าวกันว่า ในขณะนั้นพบสารอินทรีย์มากกว่า 16 ล้านชนิด ซึ่งก็เกินไปได้มากเพราะถ้านึกถึงโมเลกุล ของไฮโดรคาร์บอน เช่น $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{CH}_3$ มีการเพิ่มหน่วยของ $-\text{CH}_2-$ เข้าไป ก็จะได้โมเลกุลของไฮโดร- คาร์บอนเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย ไม่เพียงแต่เฉพาะไฮโดรคาร์บอนเท่านั้น ยังมีโมเลกุลอื่นๆ ที่มีอะตอม วิวิธพันธุ์ (hetero atom) รวมอยู่ด้วย เช่น ผลึกของแข็ง น้ำมัน ไข พลาสติก วัสดุยืดหยุ่น ของเหลวระเหย ได้ แก๊ส นอกจากนี้สารจำพวกน้ำตาล มีราคาถูก พบในธรรมชาติซึ่งมีรูปผลึกสีขาวบริสุทธิ์สามารถสกัด แยกมาจากพืชได้ ในกรณีของสารที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น สารจำพวกฟิทอล (petrol) เป็นของผสม ไฮโดรคาร์บอนซึ่งประกอบด้วยสารที่ไม่มีสี ระเหยง่าย ไวไฟ เช่น ไอโซออกเทน ซึ่งสารประกอบนี้ใช้ เป็นตัวกำหนดค่าออกเทนของฟิทอล

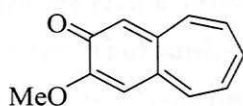


ซูโครส-น้ำตาลที่แยกมาจากอ้อยหรือบีทรูท



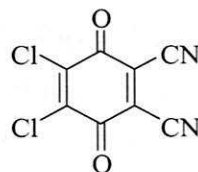
ไอโซออกเทน (2,2,5-ไตรเมทิลเพนเทน)

มีการค้นพบสารประกอบที่มีสีโดยเริ่มตั้งแต่สีม่วงจนถึงแดงตามสีของรุ้ง กล่าวคือ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม แดง ซึ่งจะเห็นว่าสารดังกล่าวมีโครงสร้างที่เอื้อต่อการไม่ประจำที่ (delocalisation) ของอิเล็กตรอน ดังแสดง



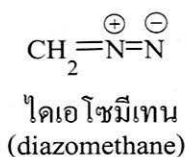
ให้สีแดง

3'-เมทอกซีเบนโซไซโคลเฮปทาไทรอิน-2'-โอน)
(3'-methoxycycloheptatriene-2'-one)



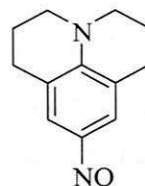
ให้สีส้ม

ไดคลอโรไดไซยาโนควิโนน
(dichloro dicyano quinone, DDQ)



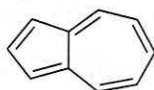
ให้สีเหลือง

ไดเอโซมีเทน
(diazomethane)



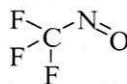
ให้สีเขียว

(9-ไนโตรโซ จูโลลิดีน)
(9-nitroso julolidine)



ให้สีฟ้า

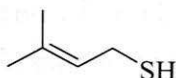
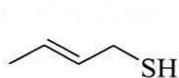
เอซูลีน
(azulene)



ให้สีม่วง

ไนโตรโซไทรฟลูออโรมีเทน
(nitroso trifluoromethane)

นอกจากนั้นสารที่ให้กลิ่นรุนแรงจำพวกไทออล (thiol, -SH) สารนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญในตัวสคังก์ (skunk) ซึ่งเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดเล็กสีดำขาว หาง และขน มีกลิ่นเหม็น และมีแถบสีขาว รูปตัววีที่ลำตัว

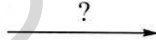
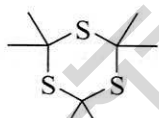


สารประกอบไทออล



สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดเล็กสีดำ

เมื่อปี ค.ศ. 1889 มีเหตุอันไม่น่าเกิดที่เมืองฟรีแบร์ก (Freiburg) ซึ่งเกิดจากความไม่รับผิดชอบของโรงงานผลิตสารเคมีปล่อยของเสียออกมาซึ่งขาดความระมัดระวังสิ่งแวดล้อม เช่น สารไทโอเอซีโตน (thioacetone) ซึ่งเป็นสารที่เตรียมมาจากไทรไทโอเอซีโตน (trithioacetone) สารนี้ทำให้เกิดอาการวิงเวียนศีรษะ อาเจียน ดังสมการต่อไปนี้



ไทรไทโอเอซีโตน

ไทโอเอซีโตน

นอกจากนี้ยังพบว่าในปี ค.ศ. 1967 ซึ่งเป็นความสะเพร่าของคณงานแห่งสถาบันวิจัยเอสโซ (Esso research station) ตั้งอยู่ทางใต้ของเมืองอ็อกฟอร์ด มีความพยายามทดลองเพื่อสลายสารประกอบไทรไทโอเอซีโตน เหตุการณ์ครั้งนี้เกิดจากจุกปิดหม้อกลั่นหลุดออกขณะทดลอง ทำให้คณงานจำนวนมากคลื่นเหียน อาเจียนและเป็นไข้ ความเสียหายยังรวมถึงกลิ่นของสารผลิตภัณฑ์จากการสลายทั้งโพรเพนไดไทออล และ 4-เมทิล-4-ซัลฟานิลเพนเทน-2-โอน แพร่กระจายออกไปไกลถึง 400 เมตร



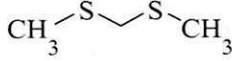
โพรเพนไดไทออล



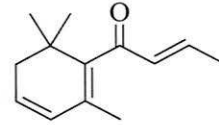
4-เมทิล-4-ซัลฟานิลเพนเทน-2-โอน

ต่อมามีการนำบิวทิลไทออลตติยภูมิ (tert-butyl thiol) ซึ่งมีสูตรโครงสร้าง $(\text{CH}_3)_3\text{CSH}$ มาผสมในท่อน้ำแก๊สหุงต้มเพื่อจะได้รู้ว่ามีกลิ่นรบกวนของท่อน้ำแก๊สนั้นหรือไม่ อย่างไรก็ตามยังมีสารที่ให้กลิ่นที่

ให้ความสุขด้วยเหมือนกัน เช่น สารประกอบซัลเฟอร์ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ 1,3-ไดไทเอน มีกลิ่นหอมแม้แต่หนูสามารถได้กลิ่นแม้จะฝังลึกอยู่ในดินในระยะมากกว่า 1 เมตรก็ตาม สารนี้มีราคาแพงพอๆ กับทองคำ ยังมีสารประกอบดามาสซีนอน (damascenone) เป็นกลิ่นของดอกกุหลาบสารนี้ติดทนบนเสื้อผ้าได้นานมาก จึงจะสลายตัว

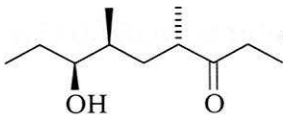


อนุพันธ์ไดไทเอน

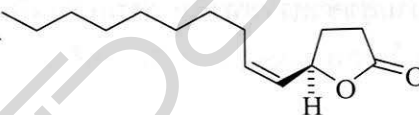


ดามาสซีนอน

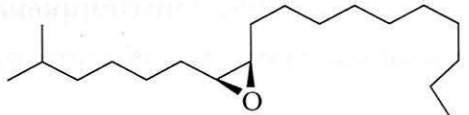
มนุษย์ไม่สามารถสร้างกลิ่นอันพึงปรารถนาได้ ถ้าต้องการมีกลิ่นหรือทำความรู้จักเพื่อนใหม่ก็จะใช้เพียงสายตาเท่านั้น ซึ่งผิดกับแมลงที่สามารถผลิตสารที่ระเหยได้ สารนี้จะเป็นสิ่งดึงดูดให้เพศตรงข้ามของมันเข้าใกล้ซึ่งใช้ปริมาณความเข้มข้นน้อยหรือกลิ่นอ่อนๆ เท่านั้น ตัวอย่างเช่น สารเซอริกอร์นิน (serricornin) สกัดมาจากแมลงปีกแข็งตัวเมียจำนวน 65,000 ตัว จะได้น้ำหนักเพียง 1.5 มิลลิกรัม สารนี้ทำให้แมลงปีกแข็งตัวผู้บ้าคลั่งได้ ในทำนองเดียวกันแมลงปีกแข็งของญี่ปุ่น (Japanese beetle) ก็สามารถผลิตสารจาโปนิเลอร์ (japonilure) ซึ่งเป็นฟีโรโมนของแมลงตัวเมียว้าหากใช้เพียง 5 ไมโครกรัม ก็สามารถดึงดูดแมลงตัวผู้ให้เข้าใกล้ได้ นอกจากนี้ยังมีฟีโรโมนของผีเสื้อกลางคืนยิปซี ชื่อ ดิสพาร์เลอร์ (disparlure) ก็สามารถดึงดูดเพศตรงข้ามได้ถึงแม้จะมีปริมาณน้อยเพียง 2×10^{-2} กรัมก็ตาม



เซอริกอร์นิน

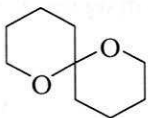


จาโปนิเลอร์

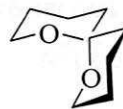


ดิสพาร์เลอร์

จากการศึกษาค้นคว้าต่อไปพบว่า แมลงมะกอก (olive fly) ทั้งตัวผู้และตัวเมียสามารถสร้างฟีโรโมนที่มีชื่อ โอลีน (olean) ได้ ซึ่งสามารถดึงดูดทั้งเพศผู้และเพศเมีย และยังเป็นที่น่าแปลกไปกว่าคู่เอแนนทิโอเมอร์หนึ่งจะดึงดูดเพศของแมลงแตกต่างกัน ดังแสดง



โอลีน



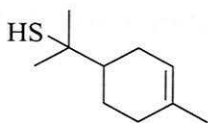
เอแนนทิโอเมอร์ดึงดูดเพศผู้



เอแนนทิโอเมอร์ดึงดูดเพศเมีย

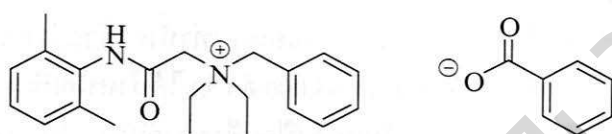
โดยทั่วไปสารที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบมักจะมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์นัก แต่ก็มีสารประกอบจำพวก เช่น ไทออลในองุ่นทำให้มีรสชาติหอมหวลเมื่อนำไปทำเป็นไวน์ สารนี้คาดไม่ถึงว่ามีจำนวน 10⁻⁴ มิลลิกรัมต่อผล องุ่น 1,000 กิโลกรัมเท่านั้น การดื่มไวน์เป็นประจำยังมีสารประกอบที่ทำให้ประโยชน์อีกมาก

ทั้งนี้ขึ้นกับว่าใช้พืชอะไรมาหมัก เพราะพืชแต่ละชนิดมีสารผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติแตกต่างกัน บางชนิดประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระจำนวนมาก



อนุพันธ์ไทออล : กลิ่นหลักในองุ่น

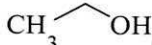
สารกัศกร่อน (bittering agent) จำพวกน้ำยาล้างห้องน้ำที่เรียกชื่อภายใต้การค้าว่า บีเทก (bitex) ผลิตภัณฑ์นี้จะใส่สารดีนาโทเนียมเบนโซเอต (denatonium benzoate) สารนี้เป็นเกลืออินทรีย์ที่มีประจุลบบนออกซิเจน และมีประจุบวกบนไนโตรเจน ซึ่งการทำให้มีประจุดังกล่าวก็เพื่อให้ละลายน้ำได้ดีนั่นเอง



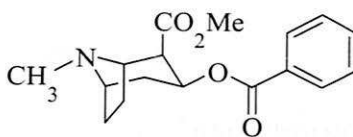
บีเทก

เบนซิลไดเอทิล[(2,6-ไซลิลคาร์บาโมอิล)เมทิล]แอมโมเนียมเบนโซเอต
(benzyl-diethyl[(2,6-xylyl-carbamoyl)methyl] ammonium benzoate)

ยังมีสารเสพติดที่ทำให้มนุษย์มีความสุขชั่วคราวเท่านั้น สารเหล่านี้เป็นอันตราย แต่ถ้าไม่ได้เสพจะทำให้เจ็บปวด ทรมานทรมาน เช่น เอทานอล โคเคน (cocaine) ดังโครงสร้าง

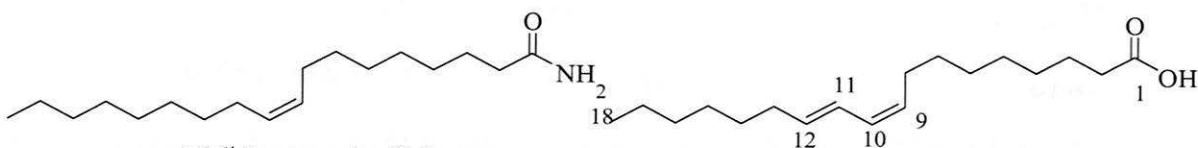


เอทานอล



โคเคน

บางคนอาจมีข้อสงสัยว่าทำไมแมวจึงมีอาการง่วงซึมตลอดเวลา และดูเหมือนว่าจะนอนหลับอยู่เสมอ ซึ่งตอนนี้พบว่าเกิดจากสารอนุพันธ์ของกรดไขมันจำพวกเอไมด์ สารนี้สกัดได้จากของเหลวส่วนของสมองร่วมกับไขสันหลัง (cerebrospinal) และยังมีสารคล้ายกันคือ กรดไขมันสังยุค (conjugated Linoleic Acid, CLA) กรดนี้เชื่อว่าเป็นอาหารที่ป้องกันมะเร็งได้



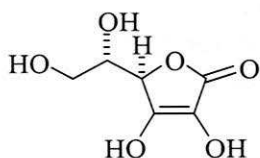
สารทำให้เกิดอาการง่วงซึมในแมว

ซิส-9,10-ออกทาเดคซีโนเอไมด์
(cis-9,10-octadecenoamide)

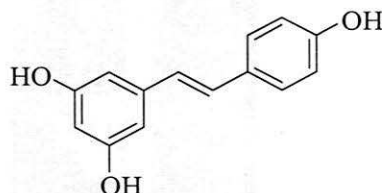
กรดไขมันสังยุค (Conjugated Linoleic Acid, CLA)

กรด ซิส-9-ทรานส์-11-สังยุคไลโนลิก
(cis-9-trans-11 conjugated linoleic acid)

สำหรับสารอินทรีย์ที่ช่วยป้องกันโรคมีมากมาย แต่จะยกตัวอย่างให้เห็นดังนี้ วิตามินซีช่วยป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน ช่วยจับอนุมูลอิสระ (radical scavenger) ในส่วนของการป้องกันโรคหัวใจ จะมีสารในไวน์แดง สารนี้อยู่ที่เปลือกของเมล็ดองุ่นแดง ถ้าพิจารณาจากโครงสร้างจะเห็นว่ามีส่วน 2 วงที่อยู่แบบสลับกัน ดังแสดง



วิตามินซี



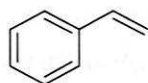
สารบนผิวเมล็ดองุ่น

เคมีอินทรีย์และอุตสาหกรรม

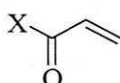
การผลิตวิตามินซีเป็นอุตสาหกรรมที่ยิ่งใหญ่มหาศาล ซึ่งดำเนินการโดยบริษัทของประเทศสวีเดนและแลนด์ นอกจากนี้ยังมีบริษัทน้อยใหญ่ที่ผลิตสารอินทรีย์ตั้งแต่ 2-3 กิโลกรัม จนถึง 1,000 กิโลกรัม ต่อปี การผลิตสารอินทรีย์จำนวนมากนี้ส่งผลให้นักศึกษาเคมีอินทรีย์ได้มีงานทำหรือเป็นตลาดแรงงานของผู้ที่เรียนสาขานี้แน่นอน สำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีก็มีการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากน้ำมันดิบมากกว่า 10 ล้านลิตรต่อวัน นอกจากนี้ยังได้สารซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบไปใช้ในโรงงานได้อีก มีตัวเลขยืนยันได้ว่าทั้งบริษัทเอสโซ่และเชลล์มีโรงงานรวมกันแล้วมากกว่าหลายพันคน

เอทานอลเป็นตัวอย่างเชื้อเพลิงที่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งผลิตจากปฏิกิริยาของเอทิลีนกับน้ำโดยมีโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าในบางประเทศ เช่น บราซิลผลิตเอทานอลจากการหมักกากอ้อยที่ใช้ทำน้ำตาล การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงได้เป็นจำนวนมาก

ทั้งพลาสติกและพอลิเมอร์ผลิตจากโรงงานปิโตรเคมีโดยใช้สไตรีน (styrene) อะคริเลต (acrylate) และไวนิลคลอไรด์ (vinyl chloride) เป็นมอนอเมอร์ พอลิเมอร์ ดังกล่าวนี้นำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้อย่างแพร่หลาย เช่น เครื่องใช้ในบ้าน เฟอร์นิเจอร์ เส้นใยเสื้อผ้า ล้อรถยนต์ เป็นต้น ทั้งนี้ในแต่ละปีได้มีการผลิตพลาสติกและพอลิเมอร์มากกว่า 20 ล้านตันต่อปี



สไตรีน



อะคริเลต



ไวนิลคลอไรด์

ในการผลิตสารซักล้างจำพวกผงซักฟอกมีบริษัทยูนิลีเวอร์ (Unilever) ของบริเตนและแกมเบิล (Gamble) ของสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ดำเนินการ ซึ่งมีการผลิตสบู่ สารทำความสะอาด สารฟอกขาว สารที่ทำให้เป็นเงาวาว นอกจากนี้ยังมีการผลิตกลิ่นมะนาวและกลิ่นลาเวนเดอร์ออกมาด้วย ได้มีการนำสารที่

ผลิตขึ้นมาผสมกันเพื่อสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เช่น เจลสำหรับโกนหนวด เจلدังกล่าวมีส่วนผสมของสารอินทรีย์มากมาย ดังแสดง



Ingredients

aqua, palmitic acid,
triethanolamine,
glycereth-26, isopentane,
oleamide-DEA, oleth-2,
stearic acid, isobutane,
PEG-14M, parfum,
allantoin,
hydroxyethyl-cellulose,
hydroxypropyl-cellulose,
PEG-150 distearate,
CI 42053, CI 47005

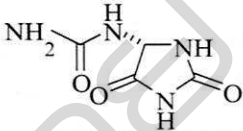
รูปที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์เจลโกนหนวด

ที่มา (Clayden, Greeves, Warren & Wothers, 2006, p.6)

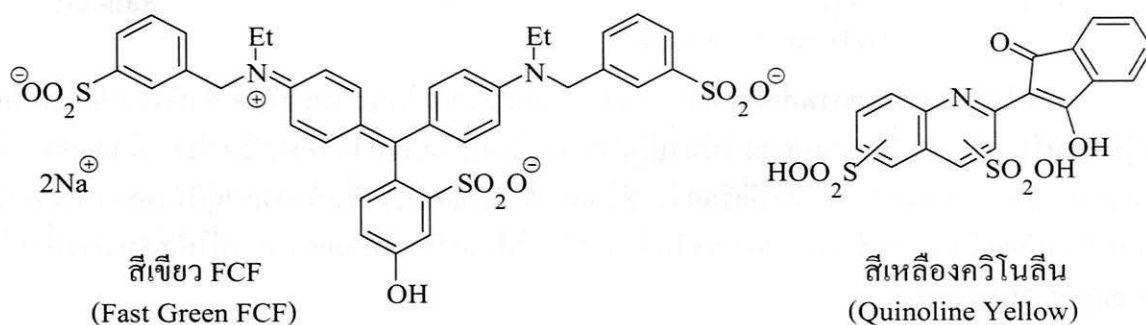
จากตารางที่ 1.1 พบว่า มีสารประกอบผสมกันประมาณ 17 ชนิด แต่ละชนิดทำหน้าที่แตกต่างกัน เช่น น้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย ซึ่งจะละลายสารบางชนิดได้เกือบสมบูรณ์ มีบางชนิดที่ละลายได้บางส่วนจำพวกอิมัลชัน นอกจากนี้ยังมีสารบางชนิดที่สร้างความยืดหยุ่นให้แก่ผิวหนังบริเวณที่มีหนวดขึ้น สารนี้เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส ในส่วนของสารลดแรงตึงผิวที่ปลายโซ่คาร์บอนเป็นแอลกอฮอล์ และเอสเทอร์ สารเหล่านี้จะทำให้เกิดฟองขึ้นขณะเทเจลออกมา ยิ่งไปกว่านั้นยังมีสารในกลุ่มของแลกแทม-เอไมด์ ช่วยรักษาแผลที่อาจเกิดจากการโกนได้ด้วย สารนี้เป็นตัวฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ที่จะทำให้แผลนั้นติดเชื้อ ยังมีสารทำหน้าที่ผลักดันให้การโกนหนวดเกิดได้เร็วขึ้น ทั้งนี้จะเป็นตัวผลักดันให้หนวดถูกตัดขาดได้เร็วขึ้น

โดยสรุปทั้งกรดเบส สารลดแรงตึงผิว และตัวกระทำอิมัลชันที่ผสมอยู่ในกระป๋องของเจลโกนหนวดจะถูกดันออกมาเมื่อต้องการใช้ สารเหล่านี้จะทำให้รู้สึกดี มีกลิ่นหอม สารสีเขียวอ่อนจะทำหน้าที่ฆ่าเชื้อโรค อาจกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์เจลโกนหนวดเป็นสารหล่อลื่นที่เหนือชั้น (superior lubricant) ให้ความสะดวกสบายแก่ผิวพรรณ ช่วยป้องกันบาดแผลขณะโกนหนวด จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่านักเคมีพยายามนำสารประกอบมาใช้อำนวยความสะดวกสบายให้แก่ชาวโลกอย่างอนอกอนันต์ แล้วสารเหล่านี้จะสร้างปัญหาให้แก่สิ่งแวดล้อมต่อไปในอนาคตก็เป็นได้

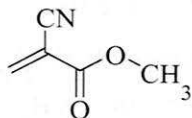
ตารางที่ 1.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โกนหนวดของบริษัทหนึ่ง

ส่วนผสม	ความหมายทางเคมี	วัตถุประสงค์ที่ใช้
aqua	น้ำ	เป็นตัวทำละลาย
palmitic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CO}_2\text{H}$	เป็นกรดและตัวกระทำอิมัลชัน
triethanolamine	$\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$	เป็นเบส
glycereth-26	$\text{glycery}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_{26}\text{OH}$	เป็นสารลดแรงตึงผิว
isopentane	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_3$	เป็นตัวผลักดัน
oleanamide-DEA	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CONEt}_2$	—
oleth-2	$\text{Oleyl}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_2\text{CO}_2\text{H}$	เป็นสารลดแรงตึงผิว
stearic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CO}_2\text{H}$	เป็นกรดและตัวกระทำอิมัลชัน
isobutane	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_3$	เป็นตัวผลักดัน
PEG-14M	polyoxyethylene glycol ester	เป็นสารลดแรงตึงผิว
parfum	parfume	—
allantoin		ทำให้ผลจากการโกนหนวด
hydroxyethyl-cellulose	เส้นใยเซลลูโลสที่มีหมู่ $-\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	ทำให้ร่างกายยืดหยุ่น
hydroxypropyl-cellulose	เส้นใยเซลลูโลสที่มีหมู่ $-\text{OCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	ทำให้ร่างกายยืดหยุ่น
PEG-150 distearate	polyoxyethylene glycol diester	เป็นสารลดแรงตึงผิว
CI 42053	Fast Green FCF	สีข้อม-สีเขียว
CI 47005	Quinoline Yellow	สีข้อม-สีเหลือง

ที่มา (Clayden, Greeves, Warren & Wothers, 2006, p.7)

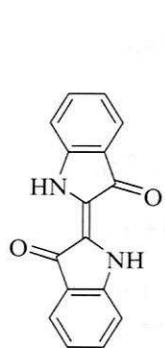


ในทางธุรกิจมีสารอินทรีย์หลายชนิดที่ทำการค้า เช่น สารยึดติด (adhesive) สารฉาบผิวหน้า และซีแลนต์ (sealant) สารเหล่านี้ผลิตโดยบริษัทชิบา-ไกจิ คาวมอนซานโด (Ciba-Geigy Dow Monsanto) และบริษัทลาพอร์ต (Laporte) นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการผลิตกาวพิเศษ (super glue) จากเมทิลไซยาโนอะคริเลต (methylcyanoacrylate) ซึ่งเหนียวติดแน่น แม้แต่การก่อสร้างเครื่องบินยังใช้กาวชนิดนี้ยึดติดชิ้นส่วนต่างๆ ที่เป็นพลาสติก

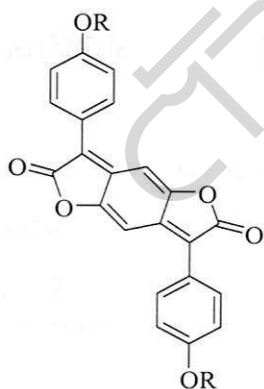


เมทิลไซยาโนอะคริเลต

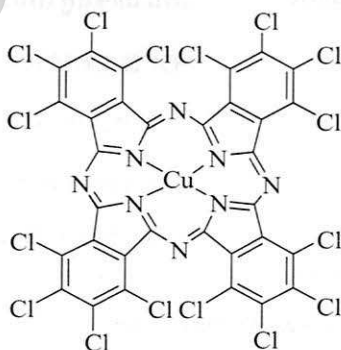
ยังมีตลาดการค้าสีย้อมที่นับว่ามีความสำคัญมาก เนื่องจากอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มจะต้องมีการย้อมและการให้สีสันทัดใจผู้บริโภครวมถึงบริษัทที่เป็นผู้นำการผลิตสีย้อมที่สำคัญและมีชื่อเสียง ได้แก่ ไอซีไอ (ICI) และแอคโซ โนเบล (Akzo Nobel) สำหรับบริษัทไอซีไอ ทำรายได้ในปี 1995 ได้ถึง 2,003,000,000 ปอนด์ ยังมีสีคราม (indigo) ซึ่งสกัดมาจากพืชชนิดหนึ่งถือเป็นสีย้อมเก่าแก่ที่นิยมใช้ แต่ในปัจจุบันสังเคราะห์ได้แล้วและได้นำมาย้อมสีของผ้าฝ้ายหรือกางเกงยีนที่นิยมกัน ยังมีสีย้อมในกลุ่มของพอลิเอสเทอร์ที่บริษัทไอซีไอผลิตออกมา ให้สีแดงที่สวยงามชื่อว่า ไอซีไอ เบนโซไดฟิราโนน (ICI's benzodifuranones) สำหรับการย้อมพลาสติกจะใช้สีเขียว ซึ่งเตรียมมาจากสารประกอบเชิงซ้อนของพทาโลไซยานีน (phthalocyanine) ของโลหะทองแดงหรือเหล็ก นอกจากนี้บริษัทชิบา-ไกจิ ยังผลิตสีย้อมสีส้ม-แดง มีชื่อทางการค้าว่า Red 254 หรือดีพีพี DPP (1,4-diketopyrrolo[3,4-c]pyrroles) ดังโครงสร้าง



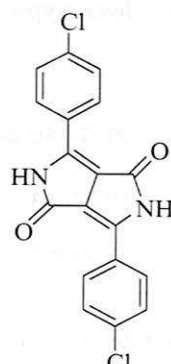
สีคราม



เบนโซไดฟิราโนน
(ICI's benzodifuranone)

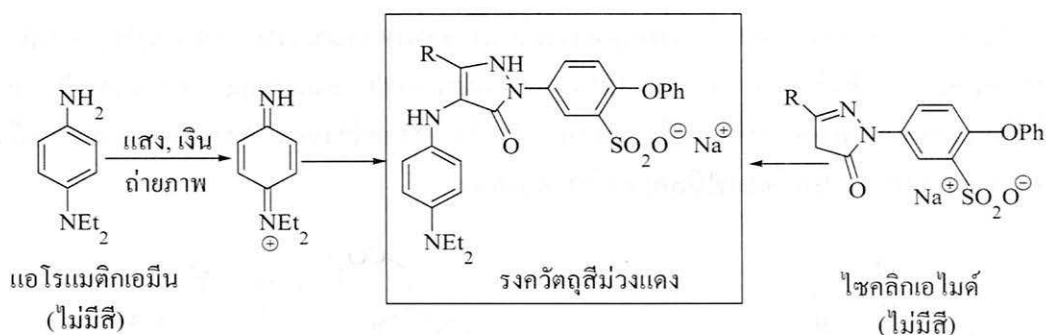


สีเขียว

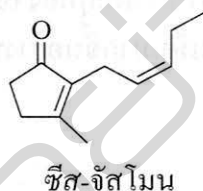


สีส้ม-แดง

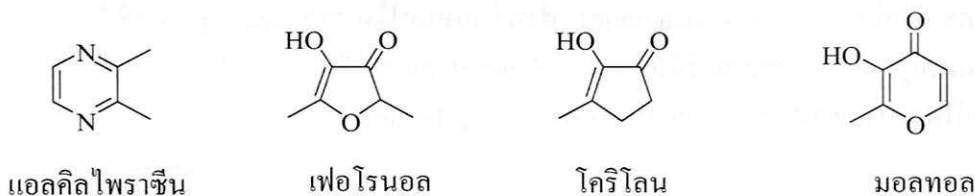
เทคโนโลยีการถ่ายภาพสีเกิดจากการใช้สารอินทรีย์ของโลหะเงินเฮไลด์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงบนวุ้นอินทรีย์ โดยในขั้นแรกแสงจะไปทำปฏิกิริยากับเงินเฮไลด์จนได้โลหะเงินซึ่งจะเกิดภาพขาวดำขึ้นมาก่อน ต่อมาจะเกิดภาพสีขึ้นมาที่เรียกว่า สีโกดัก (kodachrome) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาคู่ควบระหว่างสารแอโรแมติกเอมีน (ไม่มีสี) กับไซคลิกเอไมด์ (ไม่มีสี) ให้รังควัตถุสีม่วงแดง สารที่ให้สีดังกล่าวนี้จะได้รูปถ่ายทุกสีตามต้องการ



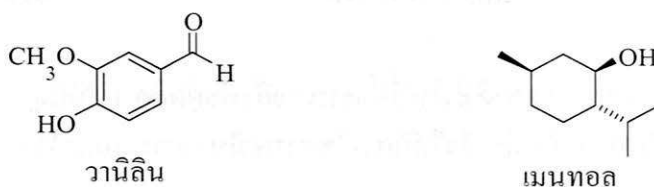
บริษัทในประเทศสหรัฐอเมริกาและสวีเดนได้ผลิตสารแต่งกลิ่น (flavours) และสารให้กลิ่นหอม (fragrance) สารเหล่านี้นำไปใช้ทำน้ำหอม เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งสารดังกล่าวส่วนใหญ่ผลิตมาจากน้ำมันและจากพืช ในกรณีของน้ำหอมมีสารแต่งกลิ่นที่ผสมในเอทานอลและน้ำประมาณ 5-10% จะเห็นได้ว่าการทำอุตสาหกรรมผลิตน้ำหอมที่นอกจากจะใช้เอทานอลจำนวนมากแล้วยังต้องใช้จัสโมนซึ่งผลิตออกมามากกว่า 10,000 ตันต่อปี และที่สำคัญกว่านั้นในจัสโมนจะมี ชีส-จัสโมน เป็นสารประกอบหลักที่มีราคาแพงมากใช้เป็นดัชนีชี้วัดราคาน้ำหอมด้วย



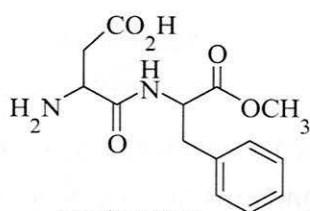
นักเคมีพยายามสังเคราะห์สารที่ให้กลิ่นคล้ายหรือเหมือนกับเนื้อหมูรมควัน (smoky bacon) และกลิ่นของช็อกโกแลตด้วยเหมือนกัน กรณีกลิ่นเนื้อจะเป็นสารจำพวกไพราซีนซึ่งผสมในกาแฟและเนื้อมัน และยังสังเคราะห์สารเฟอรอนอล (feronol) เป็นกลิ่นเพิ่มเติมในเนื้อมันขึ้นอีก ในส่วนของสารประกอบโคริโลน (corylone) เป็นคาราเมลที่ให้กลิ่นเนื้อมันอย่าง และมอลทอล (maltol) ใช้ผสมในเค้กและขนมปังอบกรอบ ดังโครงสร้าง



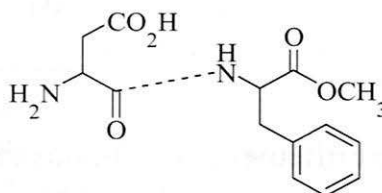
มีบางสารประกอบให้กลิ่นซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการเตรียมสารประกอบอื่นๆ สารดังกล่าว ได้แก่ วานิลิน (vanillin) นำมาใช้เป็นกลิ่นวานิลลาในไอศกรีม หรือเมนทอล (menthol) ใช้เป็นกลิ่นของน้ำมันสะระแหน่ ดังโครงสร้าง



ในแวดวงของเคมีอาหารมีการผลิตสารทดแทนความหวานของน้ำตาลสารประกอบนี้ ได้แก่ ซัคคาริน (saccharin) ซึ่งค้นพบในปี ค.ศ. 1879 และแอสพาเทม (aspartame) ค้นพบในปี ค.ศ. 1965 สารเหล่านี้มีความหวานมากกว่าน้ำตาลถึง 200 เท่า สำหรับโครงสร้างของแอสพาเทมประกอบด้วยกรดอะมิโนแอสพาดิกและอนุพันธ์ของฟีนิลอะลานีน ดังแสดง

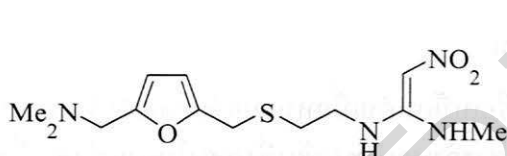


แอสพาเทม



กรดแอสพาดิก อนุพันธ์ฟีนิลอะลานีน

ยังมีธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับเภสัชภัณฑ์พบว่า ในแต่ละบริษัทผลิตยาโรครักษาโรคมามากกว่าหลายขนาน สามารถใช้รักษาโรคเฉพาะอย่าง ได้แก่ แรนิทีดิน (ranitidine) มีมูลค่าการจำหน่ายมากกว่า 1,000,000,000 ปอนด์ต่อปี ยาที่ใช้สำหรับรักษาแผลพุพอง (ulcer) ส่วนไวอะกรา (viagra) เป็นยาที่ใช้เสริมสมรรถภาพทางเพศชาย ซึ่งมีการผลิตเพิ่มมากขึ้นอย่างน่าตกใจและมียอดขายให้แก่ลูกค้ามากกว่า 3 ล้านคนในปี ค.ศ. 1998

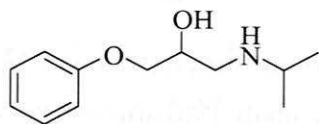


แรนิทีดิน

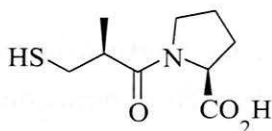


ไวอะกรา

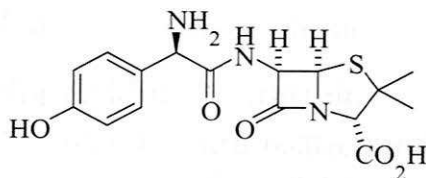
นอกจากนี้ยังมียาที่ช่วยป้องกันการหลั่งสารอะดรีนาลีน (adrenaline) ในหัวใจและช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจคือ เทนโนมิน (tenormin) สำหรับยาแคปโทพริล (scaptopril) ใช้ป้องกันการเกิดโรคความดันโลหิตสูง และยาอะม็อกซิซิลิน (amoxycillin) เป็นยาปฏิชีวนะใช้ในการทำลายเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งโครงสร้างเป็นวงสมาชิก 4 อะตอม ของบีตา-แลกแทม (β -lactam)



ซีนีกา เทนโนมิน



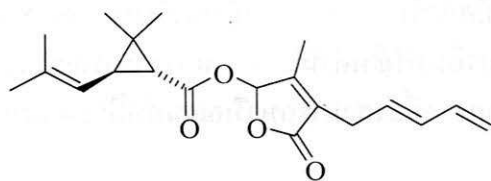
สคริป แคปโทพริล



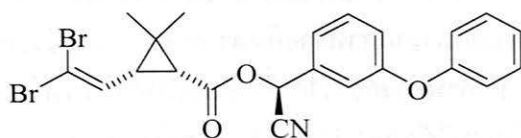
อะม็อกซิซิลิน

การสร้างอาหารโดยธรรมชาติซึ่งในที่นี้จะหมายถึงพืชผู้ผลิต มักมีปัญหาคัดรूपพืช ทั้งพืชด้วยกันเอง ตลอดจนสัตว์และจุลินทรีย์ เป็นต้น จึงได้มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรใช้ในการกำจัดเชื้อรา วัชพืช

และแมลง ซึ่งมีมูลค่าการผลิตมากกว่า 10,000,000,000 ปอนด์ต่อปี ในส่วนของบริษัท ผู้ผลิตสารเคมีเกษตร มีหลายบริษัท เช่น โรน-โพเลนซ์ (Rhone-Poulenc) ซีเนกา (Zeneca) เบสฟี่ (BASF) สเชอริง-พลัก (Schering Plough) และดาว (Dow) บริษัทเหล่านี้มีการสังเคราะห์สารกำจัดแมลงศัตรูพืชและใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น เดคาเมทริน (decamethrin) สารนี้สังเคราะห์เลียนแบบมาจากไพรีทริน (pyrethrin) ซึ่งเป็นสารองค์ประกอบในพืชจำพวกเบญจมาศ เดคาเมทรินทนต่อแสงไม่สลายตัวง่ายมีค่าความปลอดภัยต่อมนุษย์มากกว่า 10,000 เท่า หรือใช้เพียง 10 กรัม ต่อพื้นที่ 10,000 ตารางเมตร หรือ 2.47 เอเคอร์ ก็ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

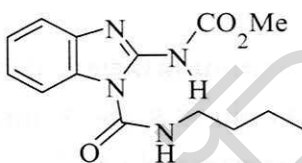


ไพรีทริน

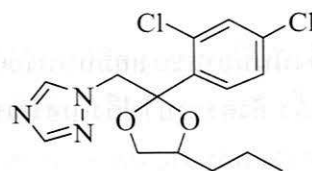


เดคาเมทริน

ได้มีการพัฒนาสารกำจัดเชื้อราโดยการสังเคราะห์บีโนมิล (benomyl) และโพรพิโคนาโซล (propiconazole) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไตรเอโซล (triazole) เป็นสารประกอบวงมีสมาชิก 5 อะตอม ภายในวงประกอบด้วยไนโตรเจน 3 อะตอม สารนี้จะไปยับยั้งเอนไซม์ในเชื้อรา แต่จะไม่เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์แต่อย่างใด



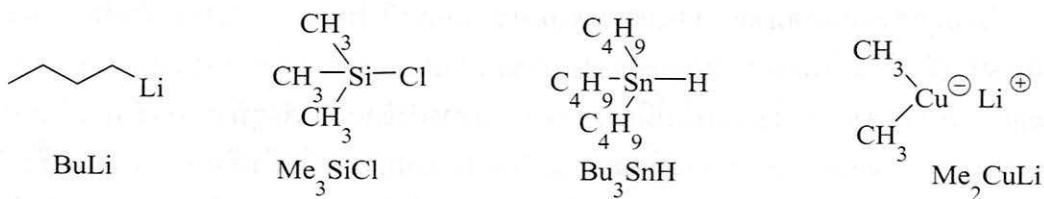
บีโนมิล



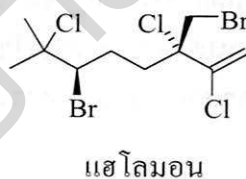
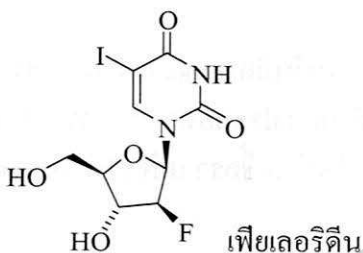
โพรพิโคนาโซล

เคมีอินทรีย์และตารางธาตุ

จะเห็นได้ว่าสารประกอบอินทรีย์มักมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นโครงหลัก (skeleton) โดยส่วนใหญ่จะมีออกซิเจน และไนโตรเจนรวมอยู่ด้วย แต่กระนั้นก็จะพบซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบได้ ต่อมาเริ่มพัฒนาการสังเคราะห์สารอินทรีย์ใหม่ๆ มากขึ้น จึงมีการนำธาตุ ฟลูออรีน โซเดียม คอปเปอร์ คลอรีน และโบรมีน มาใช้ร่วมด้วย สำหรับรีเอเจนต์ในทางเคมีอินทรีย์มีการศึกษาบทบาทของซิลิกอน โบรอน ลิเทียม แสโลเจน ดีบุก คอปเปอร์ และฟัลลาเดียม โดยนำธาตุดังกล่าวไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อน หรือการนำไปเป็นตัวกลางก็เพื่อให้ได้ผลผลิตร้อยละมากขึ้น ตัวอย่างรีเอเจนต์ที่นิยมใช้ เช่น บิวทิลลิเทียม (butyllithium, BuLi) ไตรเมทิลซิลิลคลอไรด์ (trimethylsilyl chloride, Me₃SiCl) ไทริบิวทิลทินไฮไดรด์ (tributyltinhydride, Bu₃SnH) และไดเมทิลคอปเปอร์ลิเทียม (dimethylcopperlithium, Me₂CuLi) ดังแสดง



สำหรับธาตุแฮโลเจนพบว่าเป็นธาตุองค์ประกอบในตัวยาที่ใช้ต่อต้านไวรัส เอชไอวี หรือเอดส์ เช่น เฟียเลอริดีน (fialuridine) ซึ่งมีธาตุฟลูออรีนและไอโอดีนอยู่ด้วย ในส่วนของผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เช่น สารแฮโลมอน (halomon) ที่ใช้ต้านเนื้องอก (antitumour) ก็มีคลอรีนและโบรมีนเป็นองค์ประกอบ สารนี้สกัดแยกมาจากสาหร่ายสีแดง อะตอมอื่นที่ประกอบอยู่ในสารอินทรีย์เหล่านี้มีรายงานว่าสามารถเพิ่มฤทธิ์ทางชีวภาพบางอย่างได้เมื่อเทียบกับสารอินทรีย์ธรรมดา นอกจากนี้ยังสามารถหาไอออนด์ที่มีอะตอมของแฮโลเจนได้จากเคมีภัณฑ์ทางการค้าอีกด้วย



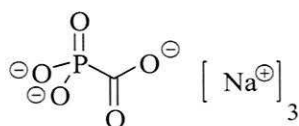
ดังนั้นนิยามของเคมีอินทรีย์เกี่ยวกับธาตุนอกจากหมายถึง คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจนแล้ว ยังคงรวมไปถึง แฮโลเจน และธาตุ พีบล็อก (p-block) เช่น Si S และ P นอกจากนี้ยังมีโลหะ Li Pd Cu และ Hg และอาจมากกว่านี้อีก เมื่อเป็นดังนี้อาจสร้างตารางธาตุสำหรับนักเคมีอินทรีย์ได้ โดยแสดงธาตุที่มีบทบาทสำคัญ ดังนี้

1													13	14	15	16	17
H													B	C	N	O	F
Li													Al	Si	P	S	Cl
Na	Mg															Se	Br
K			Ti		Cr					Cu	Zn						I
										Pd				Sn			
								Os			Hg						

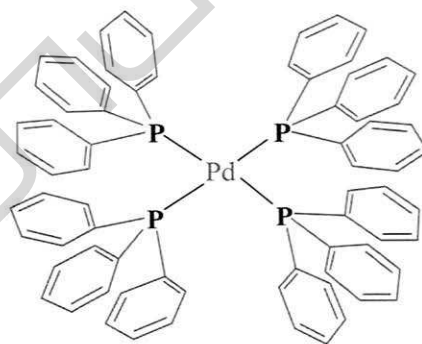
ตารางธาตุของนักเคมีอินทรีย์

มักมีคำถามอยู่เสมอว่าการแบ่งขอบเขตระหว่างเคมีอินทรีย์และเคมีอนินทรีย์ทำได้อย่างไร ถ้าพิจารณาจากสารต้านไวรัสชื่อ ฟอสคาเนต (foscarnet) สารนี้มีสูตรโมเลกุล CPO_5Na_3 ไม่มีพันธะ C—H ซึ่งสารนี้เป็นสารอินทรีย์หรือไม่ หรือสาร เทตระคิส-ไทรฟีนิลฟอสฟีน พัลลาเดียม (tetrakis triphenylphosphine palladium) ซึ่งมีพันธะระหว่าง C—P และ P—Pd เท่านั้น ที่เป็น เช่นนี้เนื่องจากวงเบนซีนทั้ง 12 วงวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมรอบธาตุพัลลาเดียม จากที่ยกตัวอย่างสารทั้ง 2 น่าจะเป็นสารอินทรีย์มากกว่าแต่ทุกคนก็บอกว่ามันเป็นสารอนินทรีย์

นักเคมีให้ความเห็นว่าไม่มีความจำเป็นใดๆ ที่จะต้องหาขอบเขตของสาขาทั้ง 2 เนื่องจากในปัจจุบันสาขาทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวเนื่องบูรณาการกันจนแยกไม่ออก โดยเฉพาะวิชาชีวเคมีกับเคมีอินทรีย์ หรือเคมีอนินทรีย์ ดังนั้นถ้าเป็นเช่นนี้แล้วให้คิดว่าสาขาเหล่านั้นเป็นเคมีเพียงอย่างเดียวเท่านั้น จากที่กล่าวมาทั้งหมดทุกคนควรตระหนักเกี่ยวกับคุณโทษของเคมีอินทรีย์และนำไปใช้ในการสร้างสรรค์แก่มวลมนุษยชาติในเชิงบวก กอปรกับคำนึงถึงผลเสียที่อาจตามมาโดยมีการวางแผนป้องกันอย่างรอบคอบด้วย



ฟอสคาเนต



เทตระคิส-ไทรฟีนิลฟอสฟีนพัลลาเดียม

สรุป

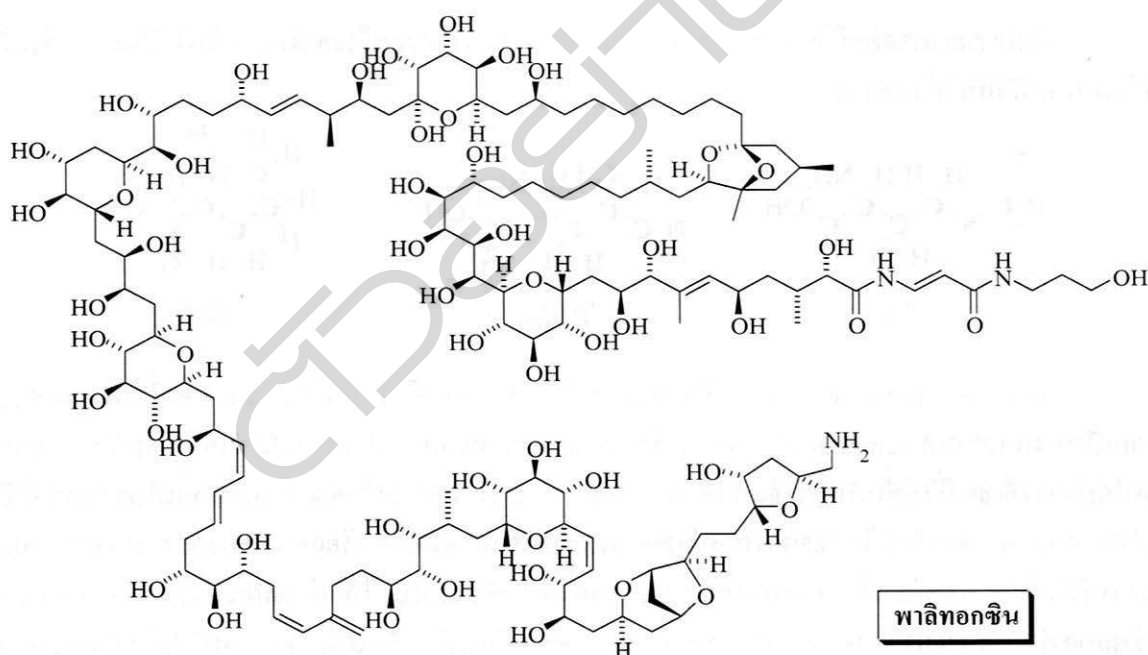
การเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์อสังกตโคสำคัญของสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะกระบวนการเมแทบอลิซึมที่ต้องอาศัยเอนไซม์เป็นหลัก นอกจากสารนี้จะเกิดจากสิ่งมีชีวิตแล้วการสังเคราะห์เลียนแบบธรรมชาติจึงทำให้ได้สารอินทรีย์มากมายและนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ในกลุ่มของยาโรคาจากพืช จุลินทรีย์ และสัตว์ เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว มีการใช้สืบเนื่องมายาวนาน นอกจากนี้การย้อมสีผ้าก็ใช้สารอินทรีย์ตั้งแต่สีม่วงจนถึงสีแดง ทั้งที่มาจากธรรมชาติและสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอุตสาหกรรม โครงสร้างของสีย้อมเกิดปรากฏการณ์ไม่ประจำที่ของอิเล็กตรอน จึงทำให้เกิดการดูดกลืนแสงและการสะท้อนสีต่างๆ ออกมาได้ ในทางอุตสาหกรรมมีการผลิตสารอินทรีย์ตั้งแต่โครงสร้างเล็กไปจนถึงโครงสร้างใหญ่เริ่มตั้งแต่วิตามินซี เอทานอล พลาสติก สารซักล้าง สารลดแรงตึงผิว สารแต่งกลิ่นในอาหาร ยาโรคาจากพืช เป็นต้น จนทำให้เป็นสิ่งจำเป็นแก่มวลมนุษยชาติในเวลาต่อมา ทั้งนี้จะเห็นว่ามีธาตุที่เข้ามาเกี่ยวข้องมากกว่าคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน จึงเป็นสิ่งที่ค่อนข้างยากในการแบ่งแยกระหว่างขอบเขตของเคมีอินทรีย์กับเคมีอนินทรีย์ออกจากกัน

คำถามท้ายบท

1. เกมอินทรีหมายถึงอะไร
2. ชาติหลักในสารประกอบอินทรีมีอะไรบ้าง
3. สารอินทรีจำพวกฟิโรโมนมีไว้เพื่ออะไร
4. เจลสำหรับทาหลังจากการโกนหนวดมีความพิเศษอย่างไร
5. โครงสร้างของสารประกอบสีย้อมมีลักษณะพิเศษอย่างไร ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น
6. สารเติมแต่งกลิ่นในอาหารมีโครงสร้างอย่างไร
7. การสังเคราะห์สารอินทรีในเชิงอุตสาหกรรมมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่
8. การนำธาตุอื่นมาร่วมในการสังเคราะห์สารอินทรีมีประโยชน์อย่างไรจงยกตัวอย่าง

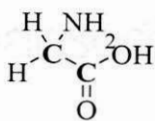
โครงสร้างสารอินทรีย์

ในตารางธาตุมีธาตุมากกว่า 100 ชนิด อย่างไรก็ตามสารประกอบอินทรีย์บางสารก็มีธาตุมากกว่า 100 อะตอมได้เหมือนกัน เช่น สารพาลิทอกซิน (palytoxin) ซึ่งแยกมาจากสาหร่ายทะเลในปี ค.ศ. 1971 ใช้เป็นสารป้องกันมะเร็ง พาลิทอกซินประกอบด้วยคาร์บอน 129 อะตอม ไฮโดรเจน 221 อะตอม ออกซิเจน 54 อะตอม และไนโตรเจน 3 อะตอม เมื่อพิจารณาโครงสร้างจะเห็นว่ามีความสลับซับซ้อนมาก ทั้งนี้เป็นเพราะสร้างโดยธรรมชาติผ่านกระบวนการวิถีชีวสังเคราะห์ที่แยบยล อย่างไรก็ตาม ในการบอกโครงสร้างได้อย่างชัดเจนตามที่แสดงนั้น จะต้องใช้วิธีการทางสเปกโทรสโกปีหลายเทคนิคประกอบกัน

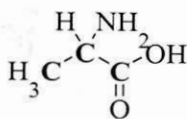


โครงสร้างไฮโดรคาร์บอนและหมู่ฟังก์ชัน

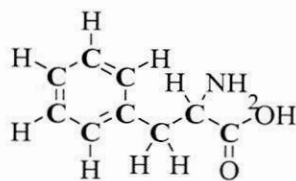
ตามที่ทราบแล้วว่าเคมีอินทรีย์จะศึกษาสารประกอบของธาตุคาร์บอนและสารอินทรีย์เกือบทั้งหมด ที่มีไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบ และการจัดตัวเพื่อยึดเหนี่ยวด้วยพันธะ ทำให้โครงสร้างของโมเลกุลเสถียรได้ ทั้งนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้หากเกิดปฏิกิริยาเคมี เมื่อพิจารณาโครงสร้างของกรดอะมิโน ไกลซีน กัวนีน และฟีนิลอะลานีน จะเห็นว่ามีโครงสร้างของธาตุคาร์บอนแตกต่างกัน กล่าวคือ ไกลซีนมีคาร์บอน 2 อะตอม กัวนีน มีคาร์บอน 3 อะตอม และฟีนิลอะลานีน มีคาร์บอน 9 อะตอม ดังแสดง



ไกลซีน

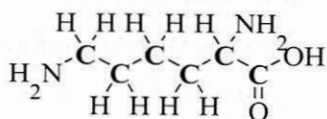


อะลานีน

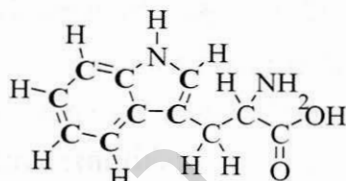


ฟีนิลอะลานีน

ในทำนองเดียวกันโครงสร้างของไลซีนมีคาร์บอนต่อกันเป็นโซ่ในขณะที่ทริฟโทเฟน โครงสร้างคาร์บอนเป็นวง การมีโครงสร้างที่แตกต่างกันเช่นนี้ล้วนมาจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ทั้งสิ้น

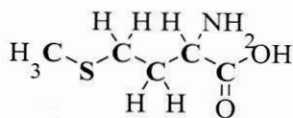


ไลซีน

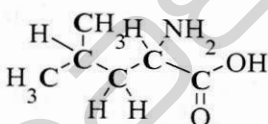


ทริฟโทเฟน

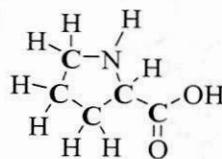
ถ้าพิจารณากรดอะมิโนเมทิโอนีนพบว่าการวางตัวของโครงสร้างคาร์บอนเป็นโซ่เดี่ยว ลิวซีนเป็นกิ่งก้าน และพัลลีนโค้งงอเป็นวง ดังแสดง



เมทิโอนีน

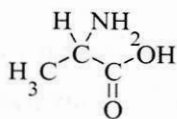


ลิวซีน



พัลลีน

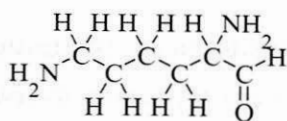
ถึงกระนั้นโมเลกุลของกรดอะมิโนทั้งหมดมีคุณสมบัติเหมือนกันคือ การละลายน้ำและคุณสมบัติความเป็นกรดและเบส (amphoteric) กรดเหล่านี้สามารถเกิดพอลิเมอร์ได้สายโซ่โปรตีน และการเกิดปฏิกิริยาได้เช่นนี้ไม่ขึ้นกับการจัดตัวของอะตอมคาร์บอน หรือไฮโดรเจน แต่จะขึ้นกับธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบเช่น ซัลเฟอร์ ไนโตรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส และซิลิกอน เรียกส่วนของอะตอมองค์ประกอบนี้ว่า **หมู่ฟังก์ชัน** กรดอะมิโนทุกชนิดประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ ได้แก่ หมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) และหมู่คาร์บอกซิลิก ($-\text{COOH}$) นอกจากนี้กรดอะมิโนบางชนิดมีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 2 หมู่ก็ได้ เช่น อะลานีน ไลซีน และเมทิโอนีน



อะลานีน

หมู่ฟังก์ชัน :

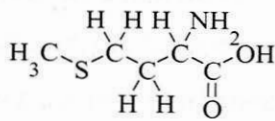
อะมิโน และ คาร์บอกซิลิก



ไลซีน

หมู่ฟังก์ชัน :

อะมิโน 2 หมู่ และ คาร์บอกซิลิก



เมทิโอนีน

หมู่ฟังก์ชัน :

อะมิโน คาร์บอกซิลิก และซัลไฟด์

สารบัญชั้หน้า	309	แฉั้หน้า	372
ห		แอลลล	158
หุ้ผละออก	124	แอลลล แคตไอออน	158
อ		ไอโซอเล็ทรอนลค์	108
อะดอมวลลลล	118	อ	
ลนทลลลล	264	ลลลลล	143
อเล็ทลลลล	114	ลลลลลลล	108

ฉบับที่ ๔๘๗



ประวัติผู้เขียน

รองศาสตราจารย์ ดร.วิลาศ พุ่มพิมล

การศึกษา

กศ.บ. (เคมี) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน
คม. (การสอนวิทยาศาสตร์) เน้นเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปร.ด. (อินทรีย์เคมี) มหาวิทยาลัยมหิดล

ประสบการณ์การทำงาน

หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ระดับปริญญาโท
หัวหน้าศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ผลงานวิชาการ

เคมีอินทรีย์ 1
เคมีอินทรีย์ 2
เคมีอินทรีย์ขั้นสูง 1
เคมีอินทรีย์ขั้นสูง 2
งานวิจัยทางด้านเคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติและ การออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ตีพิมพ์วารสารต่างประเทศ
มากกว่า 25 เรื่อง

ปัจจุบัน

รองศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

เคมีอินทรีย์ขั้นสูง เล่ม 1

ให้ผู้เรียนสามารถถ่ายทอดความรู้ที่ได้ไปยังสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวโดยเริ่มจากการแนะนำให้รู้จักภูมิหลังเคมีอินทรีย์ โครงสร้างและการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยสเปกโทรสโกปีด้าน นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ อินฟราเรด และแมสสเปกโตรเมทรี นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงชนิดของปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์พร้อมทั้ง บทบาทของกรดและเบสในขณะเกิดปฏิกิริยาไว้ด้วย ในส่วนรายละเอียดของสารอินทรีย์แต่ละชนิด มีการนำเสนอแบบใหม่ โดยใช้ กลไกการเกิดปฏิกิริยามาอธิบาย และเนื้อหาอีกส่วนหนึ่งยังได้กล่าว ถึงสารประกอบโลหะอินทรีย์ไว้ด้วย

ผู้เขียนมีความตั้งใจจะนำเสนอมิติใหม่ของเคมีอินทรีย์ที่ บูรณาการทั้งเครื่องมือสำหรับพิสูจน์โครงสร้างที่ทันสมัยมีความ เชื่อมโยงกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะยา รักษาโรคและสารสำคัญอื่นๆ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านและ ส่วนรวมต่อไป

