

เคมีอินทรีย์ขั้นสูง

รองศาสตราจารย์ ดร.วิลาศ พุ่มพิมล

คู่มือการเรียนการสอนวิชาเคมีอินทรีย์ขั้นสูง



ดวงกมลพับลิชชิ่ง
นำเสนอทั้งสื่อดิจิทัล มีคุณภาพ

เคมีอินทรีย์ขั้นสูง 1

รองศาสตราจารย์ ดร. วิลาศ พุ่มพิมล

คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

คำนำสำนักพิมพ์

หนังสือเคมีอินทรีย์ขั้นสูง 1 เป็นหนังสือที่อาจารย์ผู้สอนได้เขียนขึ้นมาเพื่อนักศึกษาที่เรียนวิชาเคมี และได้ทราบปัญหาความไม่เข้าใจของนักศึกษา แล้วได้มาบรรยายเป็นตัวอักษร เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจง่ายขึ้น อาจารย์คัดกลไกการนำเสนอแบบใหม่ เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายและไม่เบื่อกว่าจะเรียน เนื้อหาครอบคลุมผู้เรียน หรือเพื่อผู้ที่นำไปใช้ในการประกอบอาชีพ หรือนำไปใช้งานเพื่อประโยชน์แก่ตนเอง และผู้ที่อยู่ในสังคม มีการอธิบายความหมายของสูตรต่างๆ และความหมายของสารเคมีไว้อย่างละเอียดถี่ถ้วน

หนังสือเล่มนี้สามารถนำไปประกอบการเรียนการสอนในชั้นปริญญาตรี หรือท่านที่สอนวิชานี้ หากหนังสือเล่มนี้พิมพ์ตกตัวการันต์ไม่ถูกต้อง ช่วยแจ้งสำนักพิมพ์ เพื่อเป็นวิทยาทานต่อไป และขอรับรองในความบกพร่อง จะนำมาแก้ไขปรับปรุงต่อไป

ด้วยความปรารถนาดี
สำนักพิมพ์ดวงกมลพับลิชชิง

คำนำ

การผลิตบัณฑิตสาขาการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีความประสงค์เพื่อเตรียมบุคลากรทางการศึกษา หรือครูวิทยาศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญในศาสตร์การสอน การศึกษาค้นคว้าวิจัยและการบูรณาการองค์ความรู้ 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 ครอบคลุมคำอธิบายรายวิชาโดยเริ่มจากการแนะนำ ให้รู้จักภูมิหลังเคมีอินทรีย์ โครงสร้างและการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยสเปกโทรสโกปีด้านนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ อินฟราเรด และแมสสเปกโตรเมทรี นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงชนิดของปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ พร้อมทั้งบทบาทของกรดและเบสในขณะเกิดปฏิกิริยาไว้ด้วย ในส่วนรายละเอียดของสารอินทรีย์แต่ละชนิด มีการนำเสนอแบบใหม่ โดยใช้กลไกการเกิดปฏิกิริยามาอธิบาย เช่น สารไฮโดรคาร์บอนจำพวกแอลคีนอยู่ในบทการไม่ประจำที่และสังยุค หรือปฏิกิริยาการแทนที่แอโรเมติกด้วยอิเล็กโตรไฟล์ สำหรับสารประกอบคาร์บอนิลและอนุพันธ์ได้นำเสนอทั้งปฏิกิริยาการแทนที่และปฏิกิริยาการเติมไว้ด้วย ในการศึกษาการจัดวางหมู่ต่างๆ ของอะตอม หรือหมู่อะตอมนั้นได้กล่าวถึงในบทสเตอริโอเคมี และในเนื้อหาอีกส่วนหนึ่งยังได้กล่าวถึงสารประกอบโลหะอินทรีย์ไว้ด้วย

เอกสารคำสอนเล่มนี้ผู้เขียนมีความตั้งใจที่จะนำเสนอมิติใหม่ของเคมีอินทรีย์ที่บูรณาการ ทั้งเครื่องมือสำหรับพิสูจน์โครงสร้างที่ทันสมัยมีความเชื่อมโยงกับของปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารชนิดต่างๆ โดยเฉพาะยา วัสดุ และสารสำคัญอื่นๆ ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านไม่มากก็น้อยหากผู้อ่านมีข้อแนะนำอันเป็นประโยชน์ผู้เขียนยินดีน้อมรับเพื่อความสมบูรณ์ต่อไป 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
- ไนไทร์หรือไฮยาไนด์	33
- เอซิลคลอไรด์ หรือ กรดคลอไรด์	33
- แอซีทัล	33

ข้อมูลสารประกอบ	33
-----------------	----

ชื่อระบบ	34
----------	----

- การระบุตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน	35
- ออร์โท เมตา และพารา	36
- ข้อมูลที่มีโครงสร้างซับซ้อน	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
- คาร์บอนไอโซโทป-13 (^{13}C)	48
- การหาค่าประจุจาก HRMS	50

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

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

- ผลของการกำบังและ ไม่กำบังในการรับอนิมิตัว	57
อินฟาเรดสเปกตรัม	60
แถบดูดกลืนพันธะคู่ที่สำคัญในอินฟาเรดสเปกตรัม	67
ผลของไดโพลโมเมนต์ต่อแถบการดูดกลืน	67
การใช้พันธะเดี่ยวบอกรายละเอียดในโมเลกุล	68
การนำแมสสเปกตรัม เอ็นเอ็มอาร์และอินฟาเรดพิสัยน์โครงสร้าง	69
การใช้สมมูลพันธะคู่ช่วยพิสัยน์โครงสร้าง	71
โครงสร้างสารประกอบจากปฏิกิริยาเคมี	73
สรุป	76
คำถามท้ายบท	77
บทที่ 4 โครงสร้างโมเลกุล	79
โครงสร้างอะตอม	79
- สเปกตรัมของอะตอม	80
- สเปกตรัมไฮโดรเจน	81
- การใช้สเปกตรัมยืนยันระดับพลังงานของอิเล็กตรอน	82
- สมการชเรอดิงเงอร์กับเลขควอนตัม	83
- ความสำคัญของเลขควอนตัม	84
อะตอมิกออร์บิทัล	85
- การเรียกชื่อ	85
- เลขควอนตัมสปิน	85
- การสร้างตารางธาตุ	85
- การใช้เส้นเขียนภาพแทนออร์บิทัล	87
- เฟสของออร์บิทัล	91
- การบรรจุอิเล็กตรอนลงในออร์บิทัล	92
โมเลคิวลาร์ออร์บิทัล : คู่อะตอมเอกพันธุ์	94
- การทำลายพันธะ	96
- การสร้างพันธะของธาตุอื่น : ฮีเลียม	96
- การสร้างพันธะระหว่าง 2s และ 2p ออร์บิทัล	97
โมเลคิวลาร์ออร์บิทัล : คู่อะตอมวิวิธพันธุ์	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
- การเขียนกลไกการเกิดไฮยาโนไฮดริน	127
- การเขียนกลไกการเกิดไทโอไฮคลิกอีเทอร์	127
- สรุปแนวทางการเขียนกลไกการเกิดปฏิกิริยา	128
สรุป	128
คำถามท้ายบท	129

บทที่ 6 ปฏิกริยาการเติมนิวคลีโอไฟล์ของหมู่คาร์บอนิล 131

โมเลกุลคาร์บอนิลของหมู่คาร์บอนิล	131
การเตรียมไฮยาโนไฮดริน	133
มุมการเข้าชนแอลดีไฮด์และคีโตนของนิวคลีโอไฟล์	135
ปฏิกิริยาของไฮดราซิดกับแอลดีไฮด์และคีโตน	136
ปฏิกิริยาของโลฮอนินทรีย์กับแอลดีไฮด์และคีโตน	138
ปฏิกิริยาของน้ำกับแอลดีไฮด์และคีโตน	140
เฮมิแอซิทัล : ผลิตภัณฑ์ของแอลกอฮอล์กับแอลดีไฮด์	143
กรดและเบสในปฏิกิริยาสังเคราะห์เฮมิแอซิทัล	145
ปฏิกิริยาของไบซัลไฟต์กับแอลดีไฮด์และคีโตน	146

สรุป	148
คำถามท้ายบท	149
บทที่ 7 การไม่ประจำที่ของอิเล็กทรอนิกส์และสัณยศาสตร์	151
โครงสร้างอิทีน	151
โครงสร้างของเบนซีน	154
นอนโซคลิกพอลิอิน	155
สัณยศาสตร์	157
ระบบแอลลิท	158
- การใช้เอ็นเอ็มอาร์ศึกษาาระบบแอลลิทแคดไอออน	160
- ระบบแอลลิทเรดิคัล	161
- ระบบแอลลิทแอนไอออน	161
ระบบที่คล้ายกับแอลลิท	162
- คาร์บอกซิเลต แอนไอออน	162
- หมูไนโตร	163
- หมูเอไมด์	163
- โครงสร้างหมูเอไมด์	164
- ปฏิกริยาของหมูเอไมด์	165
สัณยศาสตร์ของสารมีพันธะไพ 2 แห่ง	165
- โมเลกุลลาร์ออร์บิทัลของบิวทาไดอิน	165
สเปกตรัมของอัลตราไวโอเลตและแสงที่มองเห็น	167
- สัณยศาสตร์กับการเกิดแรงควัดู	168
- ความเป็นแอโรเมติก	169
- ความร้อนการเกิดไฮโดรเจนชั้นเบนซีนและไฮโดรออกทาเททระอิน	171
- ไพออร์บิทัลของเบนซีน	173
- การเขียนแผนภาพพลังงานของไฮโดรคาร์บอนสัณยศาสตร์	174
- กฎของฮุกเกิล	175
- เฮเทอโรไซคลิกแอโรเมติก	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
- เอมีดิน	201
- กัวนิดีน	201
- อิมิดาโซลีน	202
เบสออกซิเจน	202
สรุป	204
คำถามท้ายบท	204
บทที่ 9 การสร้างพันธะระหว่างคาร์บอนด้วยโลหะอินทรีย์	207
ปฏิกิริยาของโลหะอินทรีย์: สารตั้งต้นหมู่คาร์บอนิล	207
พันธะคาร์บอนกับโลหะของสารประกอบโลหะอินทรีย์	208
การเตรียมโลหะอินทรีย์	209
- กรีนาร์เรเอเจนต์	209
- การเตรียมโลหะอินทรีย์ลิเทียม	211
- โลหะอินทรีย์ทำหน้าที่เป็นเบส	211
- โลหะอินทรีย์ดึงโปรตอนจากแอลไคน์	212

- ออร์โทลิทีเอชันของแอรเมติก	213
- การแลกเปลี่ยน โลหะกับเฮโลเจน	214
- การถ่ายโอนโลหะ	216
การใช้โลหะอินทรีย์สังเคราะห์โมเลกุลสารอินทรีย์	217
- การเตรียมกรดคาร์บอกซิลิกจากคาร์บอนไดออกไซด์	217
- การเตรียมแอลกอฮอล์ปฐมภูมิจากฟอร์มัลดีไฮด์	219
- การเตรียมแอลกอฮอล์ทุติยภูมิและตติยภูมิจากแอลดีไฮด์หรือคีโตน	219
- การเตรียมคีโตนโดยวิธีออกซิไดซ์แอลกอฮอล์	221
กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับโลหะอินทรีย์	222
สรุป	224
คำถามท้ายบท	224
บทที่ 10 ปฏิกิริยาการแทนที่แอรเมติกด้วยอิเล็กโตรไฟล์	227
อินอลและฟินอล	227
เบนซีน : ปฏิกิริยากับอิเล็กโตรไฟล์	229
- การเข้าทำปฏิกิริยาของอิเล็กโตรไฟล์ : เบนซีนและไซโคลเฮกซีน	229
- สารมัธยันตร์ของปฏิกิริยา	230
- ปฏิกิริยาในเตรนชันของเบนซีน	232
- ปฏิกิริยาซัลโฟเนชันของเบนซีน	232
- ปฏิกิริยาไฟรเดิล-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
การแทนที่แอรเมติกมีหมู่ดิงอิเล็กตรอน : ตำแหน่งเมตา	244
- หมู่แทนที่พวกดิงอิเล็กตรอนโดยการเกิดสังยุค	245

แฮโลเจน (F, Cl, I) : บทบาทการให้และรับอิเล็กตรอน	247
ปฏิกิริยาการแทนที่เพียงหมู่เดียว	248
- สารตั้งต้นที่มีหมู่แทนที่ 2 หมู่หรือมากกว่า	250
ปฏิกิริยาที่สำคัญและการเลือกเข้าแทนที่	251
- ซัลโฟเนชัน	251
- ปฏิกิริยาในเตรชันและการควบเอโซ	252
- การสร้างสารเชิงซ้อนของออกซิเจนและไนโตรเจน	253
- ปฏิกิริยาฟรีเซลล์-กราฟต์แอลคิลเลชัน : การใช้ 1° -แอลคิลเฮไลด์	253
- ปฏิกิริยาฟรีเซลล์-กราฟต์แอซิลเลชัน	254
- ปฏิกิริยาการเพิ่มคาร์บอนหนึ่งอะตอมของเบนซีน	255
แนวทางการสังเคราะห์ยาต้านโรคลิวคีเมีย	256
สรุป	258
คำถามท้ายบท	258

บทที่ 11 โปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์	263
ความแตกต่างของคาร์บอนและโปรตอนเอ็นเอ็มอาร์	263
อินทิเกรชัน	264
บริเวณการเกิดสัญญาณเรโซแนนซ์ของโปรตอน	267
โปรตอนของคาร์บอนอิ่มตัว	267
- ค่าเคมีคัลชิฟต์กับค่าสภาพไฟฟ้าลบของหมู่แทนที่	267
- ค่าเคมีคัลชิฟต์ของโปรตอนกับสมบัติทางเคมี	268
- หมู่เมทิลใช้ระบุโครงสร้างโมเลกุล	269
- ค่าเคมีคัลชิฟต์ของหมู่เมทิลีน	270
- ค่าเคมีคัลชิฟต์ของหมู่เมทิน	271
- ข้อแนะนำง่ายๆ เกี่ยวกับค่าเคมีคัลชิฟต์	272
- สรุปค่าเคมีคัลชิฟต์ของโปรตอน	272
- บริเวณการเกิดสัญญาณโปรตอนของแอลคีนและเบนซีน	274
- ผลของกระแสวงแหวนต่อค่าเคมีคัลชิฟต์ของเบนซีน	274
- ผลของหมู่ให้และดึงอิเล็กตรอนต่อค่าเคมีคัลชิฟต์	277
- แอลคีนที่ไร้รอยและขาดแคลนอิเล็กตรอน	278
- การใช้ค่าเคมีคัลชิฟต์โปรตอนของแอลคีนพิจารณาโครงสร้าง	279
บริเวณการเกิดสัญญาณโปรตอนของแอลดีไฮด์	279
- โปรตอนของเฮเทอโรอะตอม	280

- การแลกเปลี่ยนโปรตอนกรดที่เกิดขึ้นใน ^1H -NMR สเปกตรัม	281
การคู่ควบของโปรตอนใน ^1H -NMR สเปกตรัม	282
- การคู่ควบกับโปรตอนข้างเคียง	282
- การคู่ควบผ่านพันธะ	291
ปัจจัยที่มีผลต่อค่าคงที่คู่ควบ	293
ค่าคงที่คู่ควบของโปรตอนที่เกี่ยวข้องกัน	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
การแก้ปัญหการเตรียมคีโตนจากเอสเทอร์	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
- การเกิดเอนทัลปี	339
- สมดุลระหว่างเอนทัลปีและเอนโทรปี	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
- ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนเอนทัลปี	352
ตัวเร่งในปฏิกิริยาการแทนที่หมู่คาร์บอนิล	353
- การใช้เบสอ่อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	354
ปฏิกิริยาการแตกสลายเอนทัลปี	355
ซิส-ทรานส์ไอโซเมอร์ของแอลคีน	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

- ความแตกต่างของแอลดีไฮด์และคีโตนกับอนุพันธกรด	391
- ความแตกต่างของแอลดีไฮด์และคีโตนโดยใช้ $^1\text{H-NMR}$	392
- การใช้ $^{13}\text{C-NMR}$ จำแนกความแตกต่างของกรดและอนุพันธกรด	392
อินฟราเรด : การจำแนกอนุพันธกรด	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
- การคำนวณค่าเคมีคัลชิฟต์ของโปรตอน	407
สรุป	409
คำถามท้ายบท	410
บทที่ 16 สเตอริโอเคมี	415
ภาพในกระจกเงาของสารประกอบ	415
ระนาบสมมาตรกับโมเลกุลไครเรล	416
ศูนย์ไครเรล	417
ไครเรลโมเลกุลในธรรมชาติ	418
การกำหนดโครงสร้างแบบ 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

- ไดแอสเตอร์ไอโอโซเมอร์ที่มีศูนย์ไครัลมากกว่าหนึ่ง	424
สารประกอบมีโซ	427
วิธีศึกษาสเตอริโอเคมีของสารประกอบ	428
- กรดเฟร็ด	429
- สารประกอบไครัลที่ไม่มีศูนย์ไครัล	430
การแยกเอแนนทิโอเมอร์	431
- การใช้เกลือไดแอสเตอร์ไอโอโซเมอร์แยกของผสม	434
- การใช้ไครัลคอลัมน์	435
สรุป	437
คำถามท้ายบท	438
บทที่ 17 ปฏิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ที่คาร์บอนอิ่มตัว	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
ปฏิริยา S_N2	455
- โครงสร้างสารตั้งต้นกับกลไก S_N2	455
- สถานะเปลี่ยนแปลงของกลไก S_N2	456
- สเตอริโอเคมีและการแทนที่	457
- การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและกลไก S_N2	459
- การกีดขวางเนื่องจากขนาดในปฏิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์	463
- ผลของตัวทำละลาย	464
- หมู่ผละออก	465
- การแทนที่แอลกอฮอล์ด้วยนิวคลีโอไฟล์	466
- ปฏิริยามิตซูโนบุ	467
- ทอซิลเลต (TsO)	470

- อีเทอร์ทำหน้าที่เป็นอิเล็กโตรไฟล์	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	ผลิตภัณฑ์เจล โคนหนวด	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 แอลไคน์	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	โคอะแกรมคลื่นที่มีแอมพลิจูดต่างกัน	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	แสดงการเหลื่อมซ้อนของออร์บิทัล	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 สเปกตรัมของกรดแอซีติก	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 สเปกตรัมของทีโอเอสเทอร์	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 ผลของการกำบังและไม่กำบังในการ์บอนอิมตัว	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 $^2J_{HH}$	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	แสดงพลังงานการเกิดปฏิกิริยาในการเปลี่ยนแบบเรซาคณิต	335
13.4	แสดงพลังงานการเปลี่ยนแปลงรีเอเจนต์เป็นผลิตภัณฑ์	335
13.5	แสดงพลังงานการสลายเอสเตอร์ด้วยเบสแก่	338

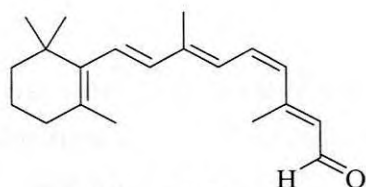
13.6	แสดงพลังงานการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH	341
13.7	แสดงพลังงานก่อกัมมันต์	345
13.8	แสดงพลังงานของการละลายกรดไฮโดรคลอริกในน้ำ	348
13.9	แสดงพลังงานการเกิดปฏิกิริยาของกรดคลอไรด์กับเบสแอลกอฮอล์	349
13.10	แสดงพลังงานการเกิดปฏิกิริยาของกรดคลอไรด์กับแอลกอฮอล์	350
13.11	เปรียบเทียบพลังงานการเกิดปฏิกิริยาของกรดคลอไรด์กับกรดแอนไฮดรายด์	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	$^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของไตรฟลูออโรเอซีติก	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	แสดงระดับพลังงานของโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์	477

สารบัญตาราง

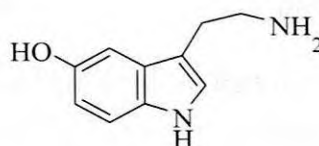
ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โกนหนวดของบริษัทหนึ่ง	9
2.1 แสดงโครงสร้างและจำนวนคาร์บอนของแอลเคน	34
2.2 ชื่อภาษาอังกฤษของโครงสร้างของสารประกอบและตัวทำละลายที่พบบ่อยๆ	40
2.3 อักษรย่อและส่วนโครงสร้างที่ควรรู้	41
3.1 ความอุดมสมบูรณ์ของไอโซโทปคาร์บอน คลอรีน และโบรมีน	49
3.2 ค่ามวลที่แน่นอนของธาตุทั่วไป	50
3.3 ผลของสภาพไฟฟ้าลบต่อค่าเคมีคัลลิจิต	58
3.4 แสดงแถบดูดกลืนและปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อรังสีอินฟราเรด	68
3.5 มวลที่ลดลงและความแข็งแรงของพันธะ	68
3.6 สรุปความถี่และหมู่โครงสร้างที่พบแถบรอยพิมพ์นิ้วมือ	69
7.1 แสดงความถี่ที่ถูดูดกลืนและสีที่ส่งผ่านออกมา	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 ค่าเคมีคัลลิจิตของสารเชิงซ้อนเบนซีนกับ FSO_3H และ SbF_5 ที่ตำแหน่งต่างๆ	231
10.2 ปฏิกริยาหลักของเบนซีน	235
10.3 การเกิดปฏิกิริยาในเตรนชันของเฮโลเบนซีนที่ตำแหน่งต่างๆ	248
10.4 ปฏิกริยาของเบนซีนที่มีคาร์บอน 1 อะตอมเป็นอิเล็กโตรไฟล์	256
11.1 ค่าสภาพไฟฟ้าลบและเคมีคัลลิจิตของอะตอมบางชนิด	268
11.2 ค่าเคมีคัลลิจิตของหมู่เมทิลติดกับหมู่ฟังก์ชันแบบต่างๆ	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 ค่าเคมีคัลลิจิตของหมู่เมทิลเกาะที่อะตอมต่างๆ	404
15.2 ค่าเคมีคัลลิจิตของหมู่เมทิลที่พันธะกับหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆ	405

15.3	ค่าเคมีคลิพิทของ CH_2 พันธะกับหมู่ฟีนิลและหมู่ฟังก์ชันอื่น	406
15.4	ผลของหมู่แทนที่ตำแหน่ง α และ β ต่อค่าเคมีคลิพิทใน $^1\text{H-NMR}$ และ $^{13}\text{C-NMR}$	407
15.5	การบวกเพิ่มค่าเคมีคลิพิทเมื่อโปรตอนพันธะกับหมู่ฟังก์ชันต่างๆ	408-409
17.1	คาร์โบแคตไอออน: คาร์บีนเนียม ไอออนและคาร์โบเนียม ไอออน	444
17.2	คาร์โบแคตไอออน: คาร์บีนเนียม 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	การเปรียบเทียบโครงสร้างสารประกอบเกิดการเกิดกลไกแบบ $\text{S}_\text{N}1$ 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 แม้กระทั่งการหยิบจับสิ่งของก็จะใช้กล้ามเนื้อ ซึ่งจะทำให้ร่างกายเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นพลังงาน นอกจากนี้สมองยังใช้ในการรับรู้เรื่องราวต่างๆ ก็อาศัยสารเซโรโทนิน (serotonin) ซึ่งทำหน้าที่ประสานระหว่างเซลล์สมองเพื่อให้เกิดกระบวนการแปลความหมาย อันจะนำไปสู่การรับรู้ เป็นต้น



11-ซิส-เรตินัล



เซโรโทนิน

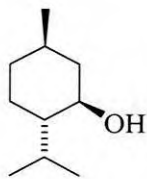
เคมีอินทรีย์เริ่มเข้ามามีบทบาทเมื่อต้นศตวรรษที่ 19 ทำให้นักเคมีอินทรีย์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการอธิบายปรากฏการณ์สำคัญต่างๆ เช่น เคมีของสิ่งมีชีวิต การนำศาสตร์นี้ไปใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เครื่องนุ่งห่ม และยารักษาโรค อย่างไรก็ตามความเจริญของวิทยาการนี้ยังขาดความตระหนักและระมัดระวังจึงทำให้ส่งผลเสียตามมาและเริ่มมีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะของเสียอันตรายจากกระบวนการผลิต

ต่อมาราวศตวรรษที่ 20 นักเคมีได้ร่วมกับนักคณิตศาสตร์ นักฟิสิกส์ และนักชีววิทยาได้ร่วมกันศึกษาพฤติกรรมโมเลกุลสารอินทรีย์ในกระบวนการของสิ่งมีชีวิต อาทิ วิถีชีวิตสังเคราะห์ บทบาทในกระบวนการเมแทบอลิซึม และการกำจัดของเสียออกจากสิ่งมีชีวิต ความพยายามศึกษาเรียนรู้เหล่านี้ยังมุ่งหวังให้เยาวชนยุคต่อมาได้เกิดความเข้าใจและใช้ศาสตร์นี้อย่างระมัดระวังต่อไป

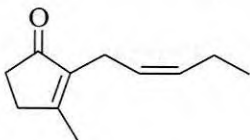
วิวัฒนาการสังเคราะห์โมเลกุลที่มีความก้าวหน้าอยู่ตลอดเวลาทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ อยู่เสมอ เช่น พลาสติก สีย้อมเสื้อผ้า น้ำหอม และยาชนิดใหม่ที่ใช้รักษาโรค เป็นต้น ซึ่งบางคนอาจคิดว่าสารอินทรีย์สังเคราะห์เหล่านี้อาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ อย่างไรก็ตามสิ่งเหล่านี้เกิดจากสมองและสองมือของนักอินทรีย์เคมีที่สร้างสรรค์ ทดลองปฏิกิริยาใหม่ให้เกิดขึ้นอยู่เสมอและเป็นธรรมดาของโลกเมื่อมีเหตุที่น่าจะต้องมีทางแก้ปัญหาอันอาจตามมาได้ ซึ่งมนุษย์จะต้องใช้และเรียนรู้อย่างไม่ประมาทเช่นกัน

สารประกอบอินทรีย์

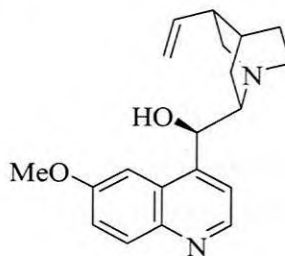
จากที่ทราบแล้วว่านักเคมีอินทรีย์จะสนใจแนวคิดที่เกี่ยวกับเคมีของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะแตกต่างไปจากเคมีในห้องปฏิบัติการทั่วไป ซึ่งต่อมาพัฒนามาเป็นเคมีของธาตุคาร์บอนโดยเฉพาะที่พบในถ่านหิน จากนั้นจะศึกษาสารประกอบของคาร์บอนที่ยึดเกาะกับธาตุอื่นๆ ที่มีอยู่ในสิ่งต่างๆ ทั่วไป สารประกอบอินทรีย์ที่พบเห็นโดยทั่วไปนี้เกิดขึ้นมามากกว่าหลายล้านปีมาแล้ว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



เมนทอล



ซีส-จัสโมน



ควินิน

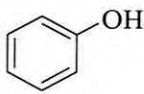
ในศตวรรษที่ 16 มีสารอินทรีย์เป็นที่รู้จักกันมากคือ ควินิน (quinine) ซึ่งสกัดมาจากเปลือกของต้นชิงโคนา (cinchona) พืชนี้เป็นไม้แถบอเมริกาใต้ใช้รักษาอาการไข้มาลาเรีย ในตอนนั้นยังไม่ทราบว่ามีการสร้างทางเคมีเป็นอย่างไร การค้นพบสารเคมีสำคัญที่นำมาเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารอื่นในปัจจุบัน ได้แก่ สารประกอบแอโรแมติกในถ่านหิน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



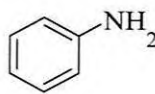
เบนซีน



ไพริดีน



ฟีนอล

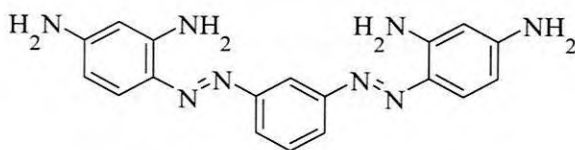


อะนิลีน



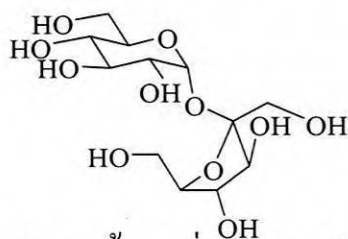
ไทโอฟิน

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

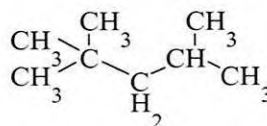


สีย้อม

ในศตวรรษที่ 20 น้ำมันจากถ่านหินเป็นสารสำคัญที่ทำให้รู้จักสารอินทรีย์ซึ่งมีโครงสร้างง่าย ๆ เช่น ไฮโดรคาร์บอน จำพวก มีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นแก๊สธรรมชาติ หรือ โพรเพน ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$) แก๊สดังกล่าวกลายเป็นแก๊สหุงต้มที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจในเวลาต่อมา อย่างไรก็ตามในเวลานั้นนักเคมีได้พยายามค้นหาโมเลกุลชนิดใหม่จากเชื้อรา ปะการัง และแบคทีเรียด้วย ทั้งนี้ผลจากการค้นคว้ามักกล่าวทำให้เกิดสาร 2 กลุ่ม ซึ่งกลุ่มแรก คือ ผลิตภัณฑ์จากโรงงานอุตสาหกรรมจำพวกพลาสติกและสี ส่วนกลุ่มที่ 2 เป็น ยารักษาโรค น้ำหอม และสารเติมแต่งกลิ่น ซึ่งสารเหล่านี้มีผลทางการค้าและทำกำไรให้ผู้ประกอบการมาก กล่าวกันว่า ในขณะนั้นพบสารอินทรีย์มากกว่า 16 ล้านชนิด ซึ่งก็เกินไปได้มากเพราะถ่านหินถึงโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอน เช่น $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{CH}_3$ มีการเพิ่มหน่วยของ $-\text{CH}_2-$ เข้าไป ก็จะได้โมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย ไม่เพียงแต่เฉพาะไฮโดรคาร์บอนเท่านั้น ยังมีโมเลกุลอื่นๆ ที่มีอะตอมวิวิธพันธุ์ (hetero atom) รวมอยู่ด้วย เช่น ผลิตภัณฑ์จาก น้ำมัน ไขมัน พลาสติก วัสดุยืดหยุ่น ของเหลวระเหยได้ แก๊ส นอกจากนี้สารจำพวกน้ำตาล มีราคาถูก พบในธรรมชาติซึ่งมีรูปผลึกสีขาวบริสุทธิ์สามารถสกัดแยกมาจากพืชได้ ในกรณีของสารที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น สารจำพวกฟิวเอล (petrol) เป็นของผสมไฮโดรคาร์บอนซึ่งประกอบด้วยสารที่ไม่มีสี ระเหยง่าย ไวไฟ เช่น ไอโซออกเทน ซึ่งสารประกอบนี้ใช้เป็นตัวกำหนดค่าออกเทนของฟิวเอล

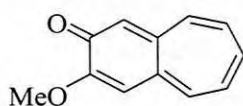


ซูโครส-น้ำตาลที่แยกมาจากอ้อยหรือบีต



ไอโซออกเทน (2,2,5-ไตรเมทิลเพนเทน)

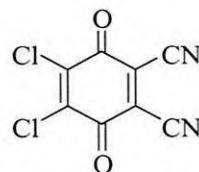
มีการค้นพบสารประกอบที่มีสีโดยเริ่มตั้งแต่สีม่วงจนถึงแดงตามสีของรุ้ง กล่าวคือ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม แดง ซึ่งจะเห็นว่าสารดังกล่าวมีโครงสร้างที่เอื้อต่อการไม่ประจำที่ (delocalisation) ของอิเล็กตรอน ดังแสดง



ให้สีแดง

3'-เมทอกซีเบนโซไซโคลเฮปทาไทรอิน-2'-โอน

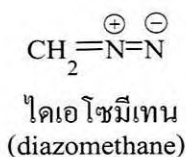
(3'-methoxycycloheptatriene-2'-one)



ให้สีส้ม

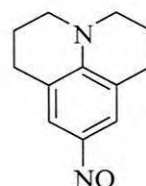
ไดคลอโรไดไซยาโนควิโนน

(dichloro dicyano quinone, DDQ)



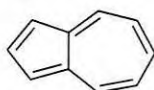
ให้สีเหลือง

ไดเอโซมีเทน
(diazomethane)



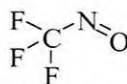
ให้สีเขียว

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



ให้สีฟ้า

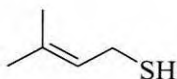
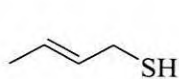
เอซูลีน
(azulene)



ให้สีม่วง

ไนโตรโซไทรฟลูออโรมีเทน
(nitroso trifluoromethane)

นอกจากนั้นสารที่ให้กลิ่นรุนแรง จำพวกไทออล (thiol, -SH) สารนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญในตัวสคังก์ (skunk) ซึ่งเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดเล็กสีดำขาว หวัง และขน มีกลิ่นเหม็น และมีแถบสีขาว รูปตัววีที่ลำตัว

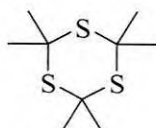


สารประกอบไทออล

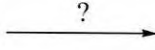


สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดเล็กสีดำ

เมื่อปี ค.ศ. 1889 มีเหตุอันไม่น่าเกิดที่เมืองฟรีบวร์ก (Freiburg) ซึ่งเกิดจากความไม่รับผิดชอบของโรงงานผลิตสารเคมีปล่อยของเสียออกมาซึ่งขาดความตระหนักต่อสิ่งแวดล้อม เช่น สารไทโอแอซีโตน (thioacetone) ซึ่งเป็นสารที่เตรียมมาจากไทรไทโอแอซีโตน (trithioacetone) สารนี้ทำให้เกิดอาการวิงเวียนศีรษะ อาเจียน ดังสมการต่อไปนี้

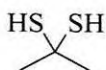


ไทรไทโอแอซีโตน

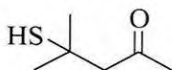


ไทโอแอซีโตน

นอกจากนี้ยังพบว่าในปี ค.ศ. 1967 ซึ่งเป็นความสะเพร่าของพนักงานแห่งสถาบันวิจัยเอสโซ่ (Esso research station) ตั้งอยู่ทางใต้ของเมืองอ็อกฟอร์ด มีความพยายามทดลองเพื่อสลายสารประกอบไทรไทโอแอซีโตน เหตุการณ์ครั้งนี้เกิดจากจุกปิดหม้อกลั่นหลุดออกขณะทดลอง ทำให้พนักงานจำนวนมากกลิ่นเหม็น อาเจียนและเป็นไข้ ความเสียหายยังรวมถึงกลิ่นของสารผลิตภัณฑ์จากการสลายทั้งไพรเพนไดไทออล และ 4-เมทิล-4-ซัลฟานิลเพนเทน-2-โตน แพร่กระจายออกไปไกลถึง 400 เมตร



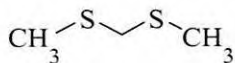
ไพรเพนไดไทออล



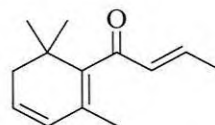
4-เมทิล-4-ซัลฟานิลเพนเทน-2-โตน

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

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

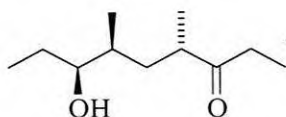


อนุพันธ์ไดไทเอน

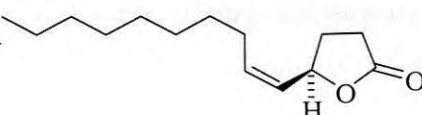


ดามาสซีนอน

มนุษย์ไม่สามารถสร้างกลิ่นอันพึงปรารถนาได้ ถ้าต้องการมีกลิ่นหรือทำความรู้จักเพื่อนใหม่ก็จะใช้เพียงสายตาเท่านั้น ซึ่งผิดกับแมลงที่สามารถผลิตสารที่ระเหยได้ สารนี้จะเป็นสิ่งดึงดูดให้เพศตรงข้ามของมันเข้าใกล้ซึ่งใช้ปริมาณความเข้มข้นน้อยหรือกลิ่นอ่อนๆ เท่านั้น ตัวอย่างเช่น สารเซอรัคคอร์นิน (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



เซอรัคคอร์นิน

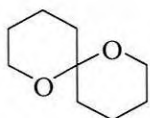


จาโปนิเลอร์



ดิสพาร์เลอร์

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



โอลีน



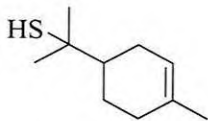
เอแนนทิโอเมอร์ดึงดูดเพศผู้



เอแนนทิโอเมอร์ดึงดูดเพศเมีย

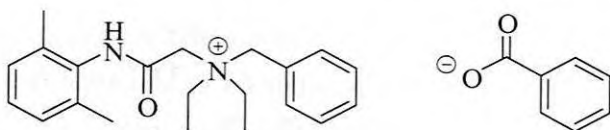
โดยทั่วไปสารที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบมักจะมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์นัก แต่ก็มีสารประกอบจำพวก เช่น ไทออลในองุ่นทำให้มีรสชาติหอมหวลเมื่อนำไปทำเป็นไวน์ สารนี้คาดไม่ถึงว่ามีจำนวน 10⁻⁴ มิลลิกรัมต่อผล องุ่น 1,000 กิโลกรัมเท่านั้น การดื่มไวน์เป็นประจำยังมีสารประกอบที่ทำให้ประโยชน์อีกมาก

ทั้งนี้ขึ้นกับว่าใช้พืชอะไรมาหมัก เพราะพืชแต่ละชนิดมีสารผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติแตกต่างกัน บางชนิดประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระจำนวนมาก



อนุพันธ์ไทออล : กลิ่นหลักในองุ่น

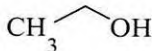
สารกัดกร่อน (bittering agent) จำพวกน้ำยาล้างห้องน้ำที่เรียกชื่อภายใต้การค้าว่า บีเทก (bitex) ผลิตภัณฑ์นี้จะใส่สารดีนาโทเนียมเบนโซเอต (denatonium benzoate) สารนี้เป็นเกลืออินทรีย์ที่มีประจุลบบนออกซิเจน และมีประจุบวกบนไนโตรเจน ซึ่งการทำให้มีประจุดังกล่าวก็เพื่อให้ละลายน้ำได้ดีนั่นเอง



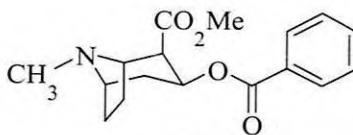
บีเทก

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

ยังมีสารเสพติดที่ทำให้มนุษย์มีความสุขชั่วคราวเท่านั้น สารเหล่านี้เป็นอันตราย แต่ถ้าไม่ได้เสพจะทำให้เจ็บปวด ทรมานทรมาย เช่น เอทานอล โคเคน (cocaine) ดังโครงสร้าง

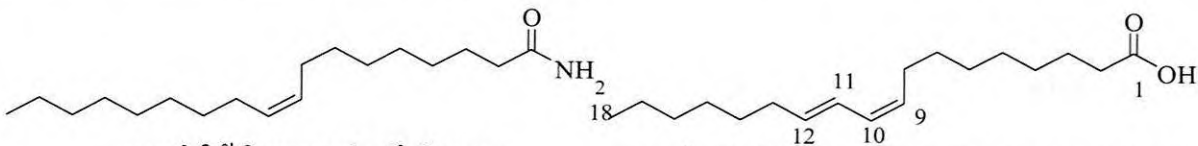


เอทานอล



โคเคน

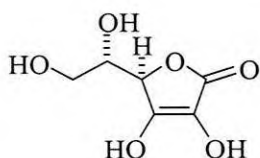
บางคนอาจมีข้อสงสัยว่าทำไมแมวจึงมีอาการง่วงซึมตลอดเวลา และดูเหมือนว่าจะนอนหลับอยู่เสมอ ซึ่งตอนนี้พบว่าเกิดจากสารอนุพันธ์ของกรดไขมันจำพวกเอไมด์ สารนี้สกัดได้จากของเหลวส่วนของสมองร่วมกับไขสันหลัง (cerebrospinal) และยังมีสารคล้ายกันคือ กรดไขมันสังยุค (conjugated Linoleic Acid, CLA) กรดนี้เชื่อว่าเป็นอาหารที่ป้องกันมะเร็งได้



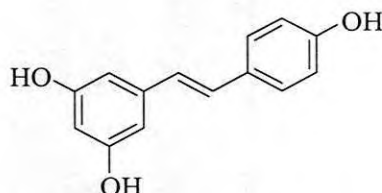
สารทำให้เกิดอาการง่วงซึมในแมว
ซิส-9,10-ออกทาเดคซีโนเอไมด์
(*cis*-9,10-octadecenoamide)

กรดไขมันสังยุค (Conjugated Linoleic Acid, CLA)
กรด ซิส-9-ทรานส์-11-สังยุคไลโนลิก
(*cis*-9-*trans*-11 conjugated linoleic acid)

สำหรับสารอินทรีย์ที่ช่วยป้องกันโรคมียามากมาย แต่จะยกตัวอย่างให้เห็นดังนี้ วิตามินซีช่วยป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน ช่วยจับอนุมูลอิสระ (radical scavenger) ในส่วนของการป้องกันโรคหัวใจ จะมีสารในไวน์แดง สารนี้อยู่ที่เปลือกของเมล็ดองุ่นแดง ถ้าพิจารณาจากโครงสร้างจะเห็นว่ามียวงเบนซีน 2 วงที่อยู่แบบสลับคู่กัน ดังแสดง



วิตามินซี



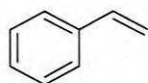
สารบิฟิเนดองุ่น

เคมีอินทรีย์และอุตสาหกรรม

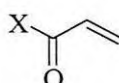
การผลิตวิตามินซีเป็นอุตสาหกรรมที่ยิ่งใหญ่มหาศาล ซึ่งดำเนินการโดยบริษัทของประเทศสวีเดน นอกจากนี้นี้ยังมีบริษัทน้อยใหญ่ที่ผลิตสารอินทรีย์ตั้งแต่ 2-3 กิโลกรัม จนถึง 1,000 กิโลกรัม ต่อปี การผลิตสารอินทรีย์จำนวนมากนี้ส่งผลให้นักศึกษาเคมีอินทรีย์ได้มีงานทำหรือเป็นตลาดแรงงานของผู้ที่เรียนสาขานี้เอง สำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีก็มีการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากน้ำมันดิบมากกว่า 10 ล้านลิตรต่อวัน นอกจากนี้ยังได้สารซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบไปใช้ในโรงงานได้อีก มีตัวเลขยืนยันได้ว่าทั้งบริษัทเอสโซ่และเชลล์มีคนงานรวมกันแล้วมากกว่าหลายพันคน

เอทานอลเป็นตัวอย่างเชื้อเพลิงที่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งผลิตจากปฏิกิริยาของเอทิลีนกับน้ำโดยมีโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าในบางประเทศ เช่น บราซิลผลิตเอทานอลจากการหมักกากอ้อยที่ใช้ทำน้ำตาล การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงได้เป็นจำนวนมาก

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



สไตรีน



อะครีเลต



ไวนิลคลอไรด์

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

ผลิตขึ้นมาผสมกันเพื่อสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เช่น เจลสำหรับโกนหนวด เจลดังกล่าวมีส่วนผสมของสารอินทรีย์มากมาย 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

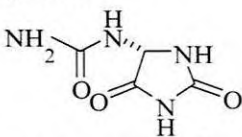
รูปที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์เจลโกนหนวด

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

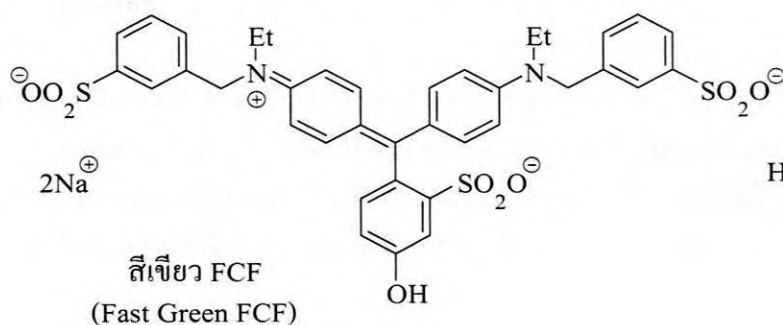
จากตารางที่ 1.1 พบว่า มีสารประกอบผสมกันประมาณ 17 ชนิด แต่ละชนิดทำหน้าที่แตกต่างกัน เช่น น้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย ซึ่งจะละลายสารบางชนิดได้เกือบสมบูรณ์ มีบางชนิดที่ละลายได้บางส่วนจำพวกอิมัลชัน นอกจากนี้ยังมีสารบางชนิดที่สร้างความยืดหยุ่นให้แก่ผิวหนังบริเวณที่มีหนวดขึ้น สารนี้เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส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

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

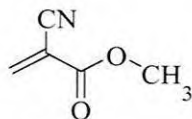
ตารางที่ 1.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โกนหนวดของบริษัทหนึ่ง

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
oleanmide-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		ทำให้แผลจากการโกนหาย
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	สีขัอม-สีเขียว
CI 47005	Quinoline Yellow	สีขัอม-สีเหลือง

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

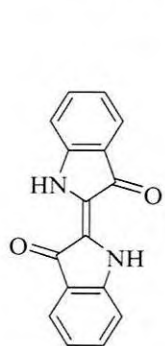


ในทางธุรกิจมีสารอินทรีย์หลายชนิดที่ทำการค้า เช่น สารยึดติด (adhesive) สารฉาบผิวหน้า และซีแลนต์ (sealant) สารเหล่านี้ผลิตโดยบริษัทชิบา-ไกจิ คาวมอนซานโด (Ciba-Geigy Dow Monsanto) และบริษัทลาพอร์ต (Laporte) นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการผลิตกาวพิเศษ (super glue) จากเมทิลไซยาโนอะคริเลต (methylcyanoacrylate) ซึ่งเหนียวติดแน่น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

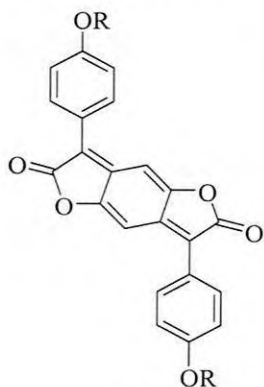


เมทิลไซยาโนอะคริเลต

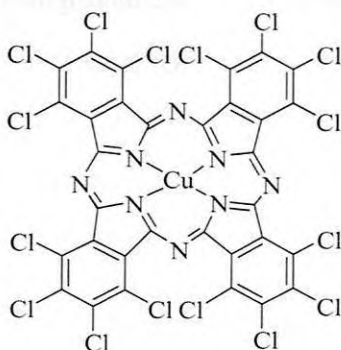
ยังมีตลาดการค้าสีย้อมที่นับว่ามีความสำคัญมาก เนื่องจากอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มจะต้องมีการย้อมและการให้สีสันทัดใจผู้บริโภค บริษัทที่เป็นผู้นำการผลิตสีย้อมที่สำคัญและมีชื่อเสียงได้แก่ ไอซีไอ (ICI) และแอคโซ โนเบล (Akzo Nobel) สำหรับบริษัทไอซีไอ ทำรายได้ในปี 1995 ได้ถึง 2,003,000,000 ปอนด์ ยังมีสีคราม (indigo)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



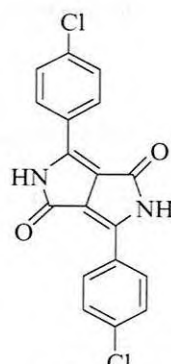
สีคราม



เบนโซไดฟิวราโนน
(ICI's benzodifuranone)

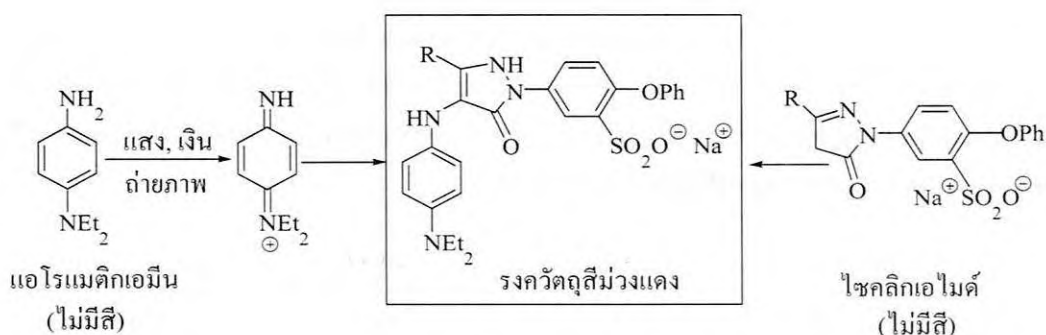


สีเขียว

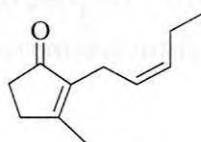


สีส้ม-แดง

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

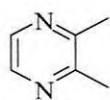


บริษัทในประเทศสหรัฐอเมริกาและสวีเดนได้ผลิตสารแต่งกลิ่น (flavours) และสารให้กลิ่นหอม (fragrance) สารเหล่านี้นำไปใช้ทำน้ำหอม เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งสารดังกล่าวส่วนใหญ่ผลิตมาจากน้ำมันและจากพืช ในกรณีของน้ำหอมมีสารแต่งกลิ่นที่ผสมในเอทานอลและน้ำประมาณ 5-10% จะเห็นได้ว่าการทำอุตสาหกรรมผลิตน้ำหอมที่นอกจากจะใช้เอทานอลจำนวนมากแล้วยังต้องใช้จัสโมนซึ่งผลิตออกมามา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

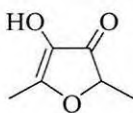


ซิส-จัสโมน

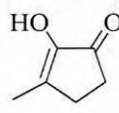
นักเคมีพยายามสังเคราะห์สารที่ให้กลิ่นคล้ายหรือเหมือนกับเนื้อหมรมควัน (smoky bacon) และกลิ่นของช็อกโกแลตด้วยเหมือนกัน กรณีกลิ่นเนื้อจะเป็นสารจำพวกไพราซีนซึ่งผสมในกาแฟและเนื้อมัน และยังสังเคราะห์สารเฟอโรนอล (feronol) เป็นกลิ่นเพิ่มเติมในเนื้อมันขึ้นอีก ในส่วนของสารประกอบโคริโลน (corylone) เป็นคาราเมลที่ให้กลิ่นเนื้อมัน และมอลทอล (maltol) ใช้ผสมในเค้กและขนมปังอบกรอบ ดังโครงสร้าง



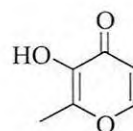
แอลคิลไพราซีน



เฟอโรนอล

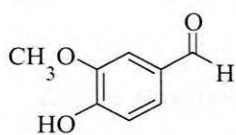


โคริโลน

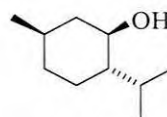


มอลทอล

มีบางสารประกอบให้กลิ่นซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการเตรียมสารประกอบอื่นๆ สารดังกล่าว ได้แก่ **วานิลลิน** (vanillin) นำมาใช้เป็นกลิ่นวานิลลาในไอศกรีม หรือเมนทอล (menthol) ใช้เป็นกลิ่นของน้ำมันสะระแหน่ ดังโครงสร้าง

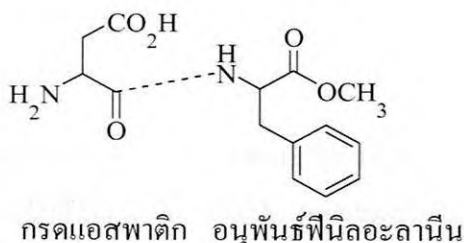
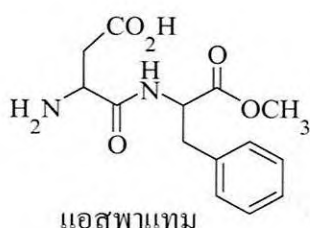


วานิลลิน

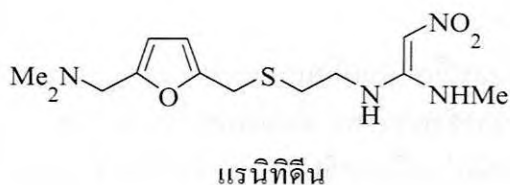


เมนทอล

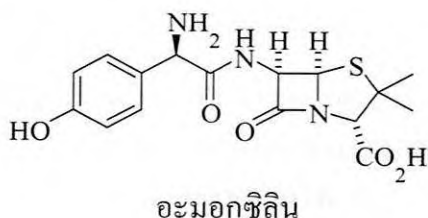
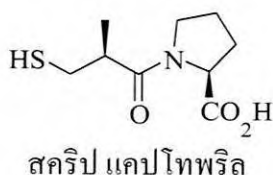
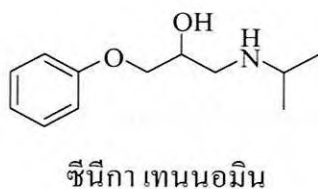
ในแวดวงของเคมีอาหารมีการผลิตสารทดแทนความหวานของน้ำตาลสารประกอบนี้ ได้แก่ ซัคคาริน (saccharin) ซึ่งค้นพบในปี ค.ศ. 1879 และแอสพาแทม (aspartame) ค้นพบในปี ค.ศ. 1965 สารเหล่านี้มีความหวานมากกว่าน้ำตาลถึง 200 เท่า สำหรับโครงสร้างของแอสพาแทมประกอบด้วยกรดอะมิโนแอสพาติกและอนุพันธ์ของฟีนิลอะลานีน ดังแสดง



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

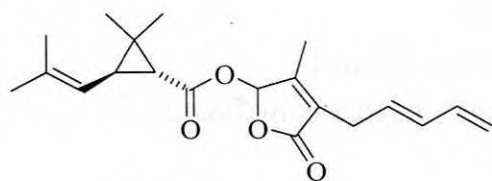


นอกจากนี้ยังมียาที่ช่วยป้องกันการหลั่งสารอะดรีนาลีน (adrenaline) ในหัวใจและช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจคือ เทนโนมิน (tenormin) สำหรับยาแคปโทพริล (scaptopril) ใช้ป้องกันการเกิดโรคความดันโลหิตสูง และยาอะม็อกซิซิลิน (amoxycillin) เป็นยาปฏิชีวนะใช้ในการทำลายเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งโครงสร้างเป็นวงสมาชิก 4 อะตอม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

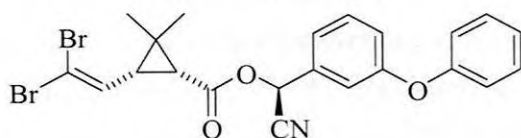


การสร้างอาหารโดยธรรมชาติซึ่งในที่นี้จะหมายถึงพืชผู้ผลิต มักมีปัญหาคัดรูกพืช ทั้งพืชด้วยกันเอง ตลอดจนสัตว์และจุลินทรีย์ เป็นต้น จึงได้มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรใช้ในการกำจัดเชื้อรา วัชพืช

และแมลง ซึ่งมีมูลค่าการผลิตมากกว่า 10,000,000,000 ปอนด์ต่อปี ในส่วนของบริษัท ผู้ผลิตสารเคมีเกษตร มีหลายบริษัท เช่น โรน-โพเลนซ์ (Rhône-Poulenc) ซีนีกา (Zeneca) เบสฟ (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

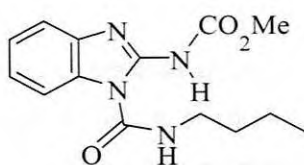


ไพรีทริน

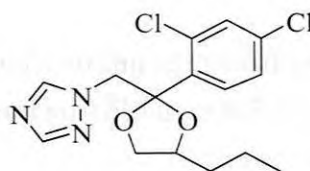


เดคาเมทริน

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



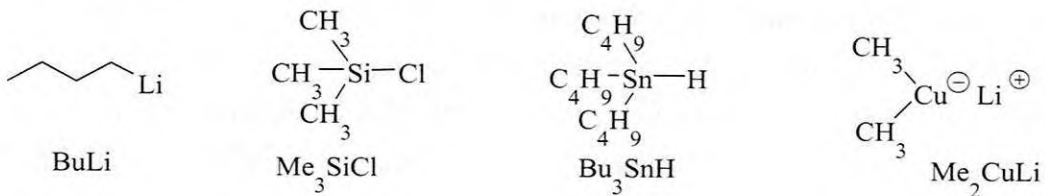
บีโนมิล



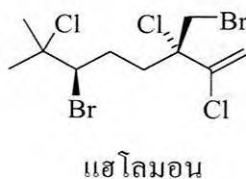
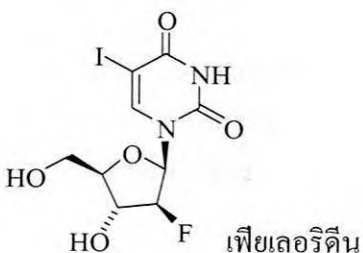
โพรพิโคนาโซล

เคมีอินทรีย์และตารางธาตุ

จะเห็นได้ว่าสารประกอบอินทรีย์มักมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นโครงหลัก (skeleton) โดยส่วนใหญ่จะมีออกซิเจน และไนโตรเจนรวมอยู่ด้วย แต่กระนั้นก็จะพบซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบได้ ต่อมาเริ่มพัฒนาการสังเคราะห์สารอินทรีย์ใหม่ๆ มากขึ้น จึงมีการนำธาตุ ฟลูออรีน โซเดียม คอปเปอร์ คลอรีน และโบรมีน มาใช้ร่วมด้วย สำหรับรีเอเจนต์ในทางเคมีอินทรีย์มีการศึกษาบทบาทของซิลิกอน โบรอน ลิเทียม แอลูมิเนียม ดีบุก คอปเปอร์ และฟอสฟอรัส 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 นอกจากนี้ยังสามารถหาไอเจนต์ที่มีอะตอมของแฮโลเจนได้จากเคมีภัณฑ์ทางการค้าอีกด้วย



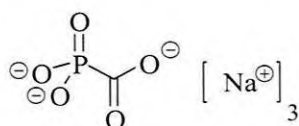
ดังนั้นนิยามของเคมีอินทรีย์เกี่ยวกับธาตุนอกจากหมายถึง คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจนแล้ว ยังคงรวมไปถึง แฮโลเจน และธาตุ พีบล็อก (p-block) เช่น Si S และ P นอกจากนี้ยังมีโลหะ Li Pd Cu และ Hg และอาจมากกว่านี้อีก เมื่อเป็นดังนี้อาจสร้างตารางธาตุสำหรับนักเคมีอินทรีย์ได้ โดยแสดงธาตุที่มีบทบาทสำคัญ ดังนี้

1																		13	14	15	16	17	
H																		B	C	N	O	F	
2																							
Li																			Al	Si	P	S	Cl
Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
K			Ti		Cr					Cu	Zn					Se	Br						
										Pd					Sn		I						
							Os				Hg												

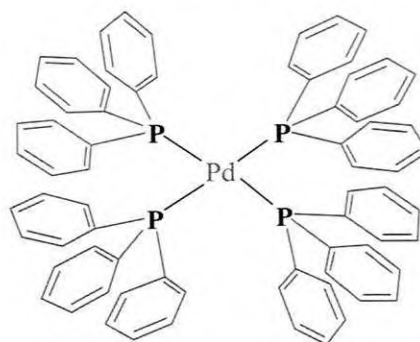
ตารางธาตุของนักเคมีอินทรีย์

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 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากวงเบนซีนทั้ง 12 วงวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมรอบธาตุพัลลาเดียม จากที่ยกตัวอย่างสารทั้ง 2 น่าจะเป็นสารอินทรีย์มากกว่าแต่ทุกคนก็บอกว่ามันเป็นสารอนินทรีย์

นักเคมีให้ความเห็นว่าไม่มีความจำเป็นใดๆ ที่จะต้องหาขอบเขตของสาขาทั้ง 2 เนื่องจากในปัจจุบันสาขาทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวเนื่องบูรณาการกันจนแยกไม่ออก โดยเฉพาะวิชาชีวเคมีกับเคมีอินทรีย์ หรือเคมีอนินทรีย์ ดังนั้นถ้าเป็นเช่นนี้แล้วให้คิดว่าสาขาเหล่านั้นเป็นเคมีเพียงอย่างเดียวเท่านั้น จากที่กล่าวมาทั้งหมดทุกคนควรตระหนักเกี่ยวกับคุณโทษของเคมีอินทรีย์และนำไปใช้ในการสร้างสรรค์แก่มวลมนุษยชาติในเชิงบวก กอปรกับคำนึงถึงผลเสียที่อาจตามมาโดยมีการวางแผนป้องกันอย่างรอบคอบด้วย



ฟอสคาเนต



เทตระคิส-ไทรฟีนิลฟอสฟีนพัลลาเดียม

สรุป

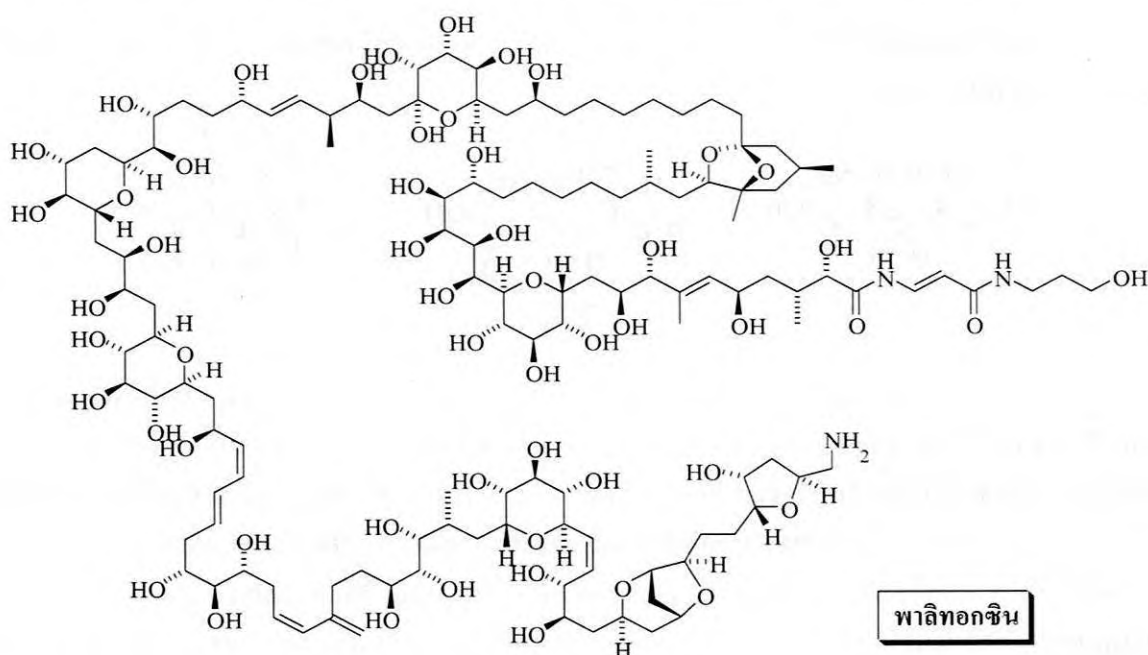
การเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์อสังกัลไกสำคัญของสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะกระบวนการเมแทบอลิซึมที่ต้องอาศัยเอนไซม์เป็นหลัก นอกจากสารนี้จะเกิดจากสิ่งมีชีวิตแล้วการสังเคราะห์เลียนแบบธรรมชาติจึงทำให้ได้สารอินทรีย์มากมายและนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ในกลุ่มของยาโรคาจากพืช จุลินทรีย์ และสัตว์ เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว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

คำถามท้ายบท

1. เกมอินทรีย์หมายถึงอะไร
2. ธาตุหลักในสารประกอบอินทรีย์มีอะไรบ้าง
3. สารอินทรีย์จำพวกฟิโรโมนมีไว้เพื่ออะไร
4. เจลสำหรับทาหลังจากการโกนหนวดมีความพิเศษอย่างไร
5. โครงสร้างของสารประกอบสี่อ้อมมีลักษณะพิเศษอย่างไร ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น
6. สารเติมแต่งกลิ่นในอาหารมีโครงสร้างอย่างไร
7. การสังเคราะห์สารอินทรีย์ในเชิงอุตสาหกรรมมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่
8. การนำธาตุอื่นมาร่วมในการสังเคราะห์สารอินทรีย์มีประโยชน์อย่างไรจงยกตัวอย่าง

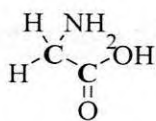
โครงสร้างสารอินทรีย์

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

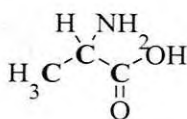


โครงสร้างไฮโดรคาร์บอนและหมู่ฟังก์ชัน

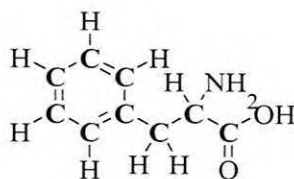
ตามที่ทราบแล้วว่าเคมีอินทรีย์จะศึกษาสารประกอบของธาตุคาร์บอนและสารอินทรีย์เกือบทั้งหมด ที่มีไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบ และการจัดตัวเพื่อยึดเหนี่ยวด้วยพันธะ ทำให้โครงสร้างของโมเลกุลเสถียรได้ ทั้งนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้หากเกิดปฏิกิริยาเคมี เมื่อพิจารณาโครงสร้างของกรดอะมิโน ไกลซีน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



ไกลซีน

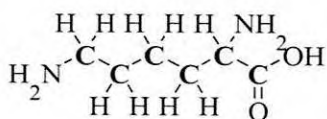


อะลานีน

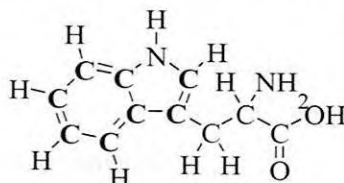


ฟีนิลอะลานีน

ในการทำนองเดียวกัน โครงสร้างของไลซีนมีคาร์บอนต่อกันเป็นโซ่ในขณะที่ทริฟโทเฟน โครงสร้างคาร์บอนเป็นวง การมีโครงสร้างที่แตกต่างกันเช่นนี้สืบมาจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ทั้งสิ้น

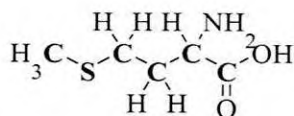


ไลซีน

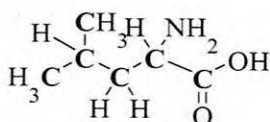


ทริฟโทเฟน

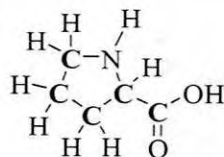
ถ้าพิจารณากรดอะมิโนเมทิโอนีนพบว่า การวางตัวของโครงสร้างคาร์บอนเป็นโซ่เดียว ไลซีนเป็นกิ่งก้าน และพัลลีนโค้งงอเป็นวง ดังแสดง



เมทิโอนีน

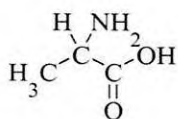


ลิวซีน



พัลลีน

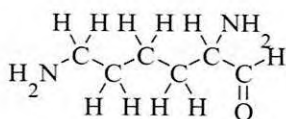
ถึงกระนั้น โมเลกุลของกรดอะมิโนทั้งหมดมีคุณสมบัติเหมือนกันคือ การละลายน้ำและคุณสมบัติความเป็นกรดและเบส (amphoteric) กรดเหล่านี้สามารถเกิดพอลิเมอร์เชเช่นได้สายโซ่โปรตีน และการเกิดปฏิกิริยาได้เช่นนี้ไม่ขึ้นกับการจัดตัวของอะตอมคาร์บอน หรือไฮโดรเจน แต่จะขึ้นกับธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบ เช่น ซัลเฟอร์ ในโดโรเจน 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 :

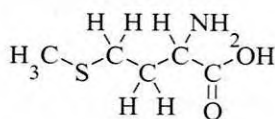
อะมิโน และ คาร์บอกซิลิก



ไลซีน

หมู่ฟังก์ชัน :

อะมิโน 2 หมู่ และ คาร์บอกซิลิก

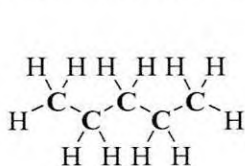


เมทิโอนีน

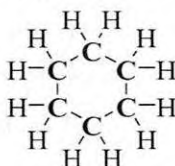
หมู่ฟังก์ชัน :

อะมิโน คาร์บอกซิลิก และซัลไฟด์

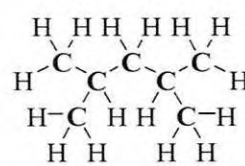
จากที่กล่าวว่าโครงสร้างของคาร์บอนในสารประกอบไม่ค่อยมีความสำคัญนักเพราะคาร์บอนจะทำหน้าที่แตกต่างจากออกซิเจน ไนโตรเจน หรือธาตุอื่นๆ ซึ่งจะสนับสนุนหมู่ฟังก์ชันให้เกิดปฏิกิริยา โครงสร้างข้างล่างแสดงโครงสร้างของคาร์บอนแบบต่างๆ เช่น แบบโซ่ แบบวง และแบบกิ่งก้าน



โซ่



วง

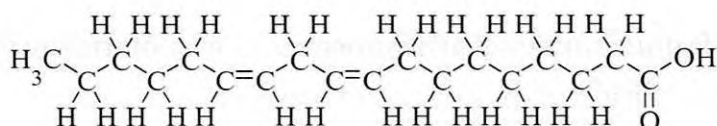


กิ่งก้าน

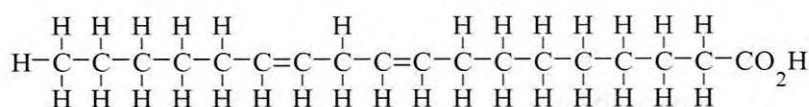
ในการพิสูจน์โครงสร้างสารอินทรีย์นั้นจะต้องทราบโครงสร้างของคาร์บอนด้วย เพราะในการเกิดปฏิกิริยาของสารอินทรีย์ ส่วนของโครงสร้างจะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วย ดังนั้นในบทนี้จะได้นำเสนอหลักการเขียนโครงสร้างของสารอินทรีย์ตลอดจนข้อตกลงที่ต้องเข้าใจร่วมกันเสียก่อนที่จะศึกษาในประเด็นอื่นๆ ต่อไป

การวาดโครงสร้างโมเลกุล

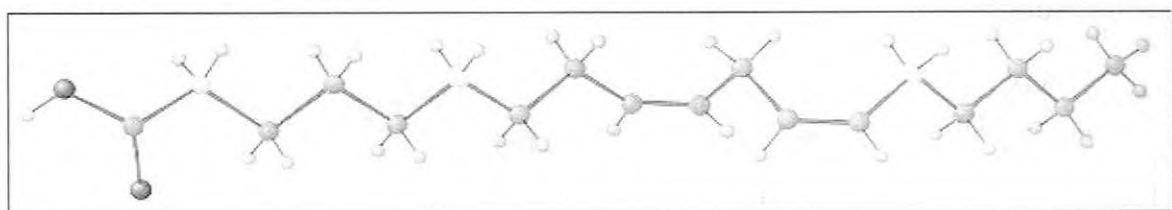
การเขียนโครงสร้างโมเลกุลของกรดไลโนลินิก (linoleic acid) อาจเขียนได้หลายแบบ เช่น



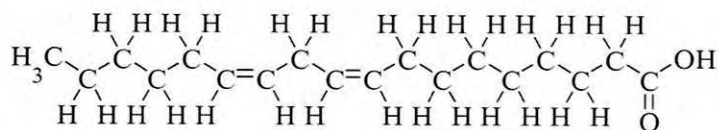
หรือเขียนเป็นสูตรแบบควบแน่น แต่อาจแสดงพันธะ หรือหมู่ฟังก์ชันอื่นร่วมด้วยก็ได้ เช่น $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$ หรืออาจเขียนเป็น



ในสมัยก่อนที่มีคอมพิวเตอร์การวาดโครงจะใช้ 2 โครงสร้างหลักเนื่องจากเส้นตรงทำมุมกัน 90° หรือพิมพ์แบบต่อเนื่องกันไป แต่ในความเป็นจริงแบบการพิสูจน์โครงสร้างทำได้ถึงขนาดมีการใช้รังสีเอกซ์ในผลึกศาสตร์ (X-ray crystallography) จะทำให้การแสดงโครงสร้างเป็นแบบสามมิติในรูปของโออาร์ทีทีพี (ORTEP diagram) ดังแสดง

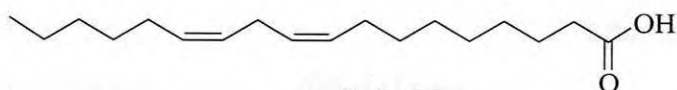


จากภาพโออาร์ ทีอี พี จะเห็นว่าการวางตัวของคาร์บอนไม่เป็นเส้นตรง แต่จะเป็นแบบซิกแซก และอยู่ในลักษณะสามมิติ อย่างไรก็ตามสามารถวาดโครงสร้างให้ใกล้เคียงกับโครงสร้างแบบที่ได้จากรังสีเอกซ์ดังนี้



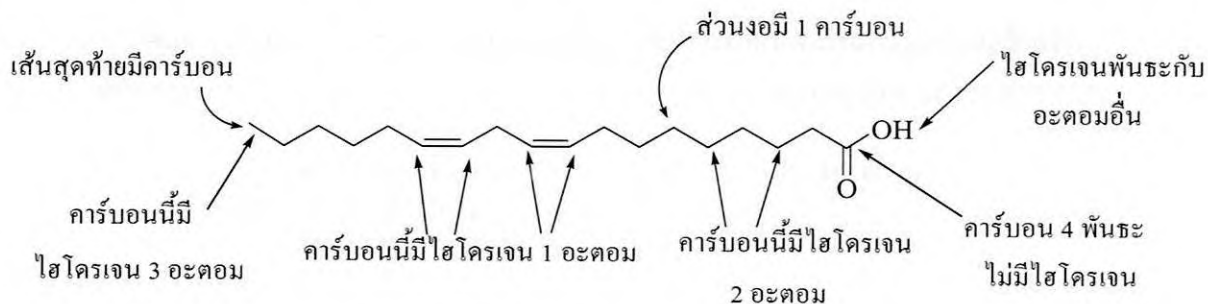
กรดไลโนลินิก

ประเด็นนี้เองทำให้นักเคมีมีแนวคิดที่จะวาดโครงสร้างให้สอดคล้องความเป็นจริงมากที่สุด โดยมีมุมระหว่างพันธะของคาร์บอนอิ่มตัว 109° และคาร์บอนของพันธะคู่ 120° และวางตัวแบบเส้นตรงและแบบซิกแซกในโครงสร้างเดียวกันได้ สืบเนื่องจากโครงสร้างแบบซิกแซกหากต้องการแสดงหมู่ฟังก์ชันของกรดไลโนลินิกที่ง่ายและสะดวกต่อการสื่อความหมายจะได้

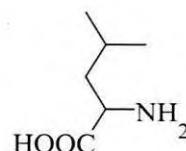
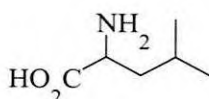
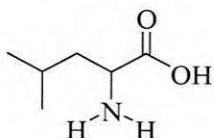
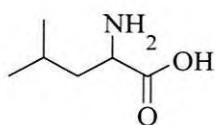


กรดไลโนลินิก

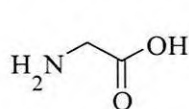
สูตรโครงสร้างนี้นักอินทรีย์เคมีนิยมใช้กันมากและนำไปเขียนกับสารอินทรีย์อื่นในเวลาต่อมา เมื่อพิจารณาจากสูตรที่แสดงหมู่ฟังก์ชันสามารถแปลความหมายได้ดังนี้



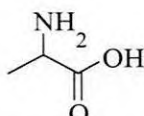
เมื่อนำหลักการดังกล่าวมาใช้วาดโครงสร้างโมเลกุลของกรดอะมิโนจะสื่อความหมายเป็นดังนี้
 1) มุมระหว่างพันธะของคาร์บอนตรงสี่หน้าเท่ากับ 109° 2) ลากเส้นเชื่อมต่อแทนโครงของคาร์บอนทำมุม 120° 3) ระบุหมู่ฟังก์ชันที่เป็นอะตอมวิธพันธุ์ ตัวอย่างข้างล่างแสดงการวาดโครงสร้างของกรดอะมิโนลิวซีนแบบต่างๆ



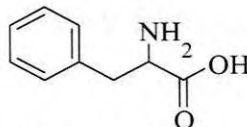
อย่างไรก็ตามที่กล่าวมาเป็นเพียงแนวทางการวาดโครงสร้างเท่านั้น ไม่ใช่กฎเกณฑ์ที่ตายตัว แต่สิ่งที่ต้องเน้นให้เห็นคือความชัดเจนของหมู่ฟังก์ชันและพยายามให้เห็นโครงสร้างคาร์บอนจางๆ เพียงพื้นหลังเท่านั้น ดังนั้นถ้าจะวาดโครงสร้างของกรดอะมิโน 8 ตัว โดยให้หมู่คาร์บอกซิลิกวงตัวให้เด่นชัดไว้ทางขวามือเป็นหลักก็น่าจะทำให้เป็นระเบียบและสื่อความหมายดีขึ้น



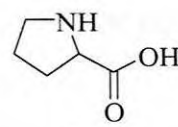
ไกลซีน



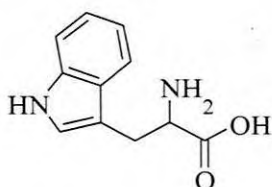
อะลานีน



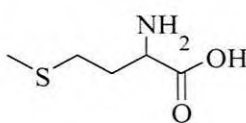
ฟีนิลอะลานีน



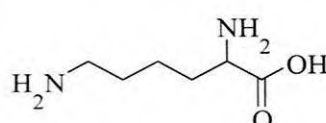
พิวลีน



ทริฟโทเฟน



เมไทโอนีน

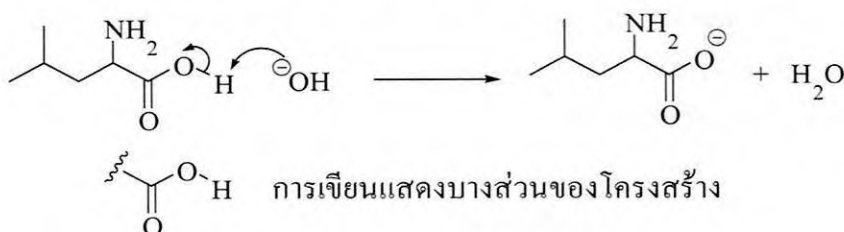


ไลซีน

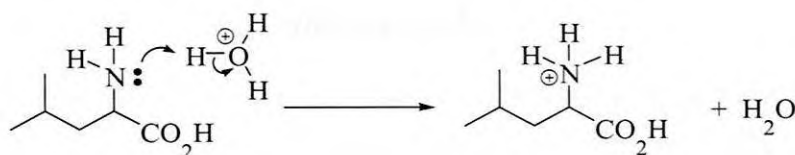
ในการเขียนสูตรโครงสร้างแบบเส้นอาจใช้เครื่องหมายแสดงอิเล็กตรอนคู่บนอะตอมของธาตุของหมู่ฟังก์ชันด้วย การแสดงแบบนี้จะทำให้การเคลื่อนอิเล็กตรอนไปยังสารที่เข้าทำปฏิกิริยาด้วยชัดเจนยิ่งขึ้น ทั้งนี้จะได้กล่าวถึงในโอกาสต่อไป

การปรับโครงสร้างให้เหมาะสม

การแสดงบทบาทความเป็นกรดของลิซีนจำเป็นต้องวาดหมู่คาร์บอกซิลิกให้เห็นพันธะที่จะแตกออกเมื่อมีหมู่ไฮดรอกซิลมาดึง และเมื่อเกิดเป็นหมู่คาร์บอกซิเลตควรเน้นประจุลบด้วยวงกลม ดังแสดง



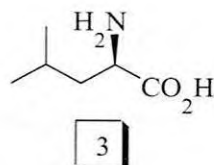
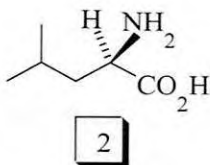
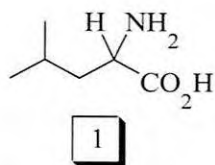
ในทำนองเดียวกันการทำหน้าที่เบสของลิซีนจะต้องเพิ่มอิเล็กตรอนคู่ด้วยเพราะตามทฤษฎีของลิวอิสเบสจะต้องให้อิเล็กตรอน จะเห็นว่าการวาดโครงสร้างเพิ่มเติมก็เพื่อให้เหมาะสมแก่การอธิบายการเปลี่ยนแปลงในสถานการณ์นั้น ดังแสดง



จากสมการข้างบนจะเห็นว่าการวาดหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิลิกเขียนแบบรวบเนื่องจากไม่มีอะตอมใดของหมู่ฟังก์ชันนี้เกิดปฏิกิริยา ส่วนหมู่อะมิโนก็จะเน้นอิเล็กตรอนคู่บนในโตรเจนในการสร้างพันธะกับโปรตอนของกรด นอกจากนี้เมื่อเกิดเป็นแอมโมเนียมไอออนก็ยังคงแสดงพันธะที่แยกกันให้เห็น เพราะอาจเขียนการดึงโปรตอนด้วยเบสอื่นได้อีก

การวาดภาพ 3 มิติบนกระดาษที่มี 2 มิติ

จากโครงสร้างของลิซีนพบว่าคาร์บอนที่เชื่อมต่อกับหมู่อะมิโนและคาร์บอกซิลิกเป็นทรงสี่หน้า ดังนั้นถ้าต้องการให้มีความถูกต้องอย่างสมบูรณ์จะต้องวาดให้เป็นภาพสามมิติ โดยมีข้อตกลงว่าการวาดเส้นธรรมดาแสดงว่าทุกอะตอมอยู่ระนาบเดียวกับกระดาษ ในขณะที่บางอะตอมถูกเชื่อมด้วยลิ้มบาง (pale wedged) จะหมายถึงอะตอมนั้นอยู่ใต้กระดาษและถ้าเป็นลิ้มทึบ (bold wedged) เชื่อมต่ออะตอมจะยื่นออกมาจากกระดาษ สำหรับเครื่องหมายลิ้มทั้ง 2 นำไปใช้ในการเขียนภาพฉายชนิดอื่นได้อีก เช่น ภาพฉายฟิชเชอร์ และภาพ 3 มิติในบางรูปแบบ ดังแสดง



โครงสร้าง 1 ทุกอะตอมอยู่ระนาบเดียวกันหมด สูตรนี้ไม่ให้ความหมายในเชิง 3 มิติแต่อย่างใด ส่วนสูตร 2 ไฮโดรเจนที่เข้าไปในกระดาษและหมู่อะมิโนยื่นออกมานอกกระดาษ สำหรับสูตร 3 ไม่แสดงไฮโดรเจน เนื่องจากต้องการชี้ให้เห็นหมู่ฟังก์ชันของลิซีน

โครงสร้างของไฮโดรคาร์บอน

คาร์บอนเป็นธาตุพิเศษซึ่งมีโครงสร้างได้หลากหลาย เนื่องจากคาร์บอนสร้างพันธะที่แข็งแรงกับตัวมันเองและธาตุอื่นในตารางธาตุ การจัดตัวของคาร์บอนมีทั้งแบบโซ่ แบบวง แบบกิ่งก้าน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การเกิดไอโซเมอร์ซึมในแต่ละโครงสร้าง

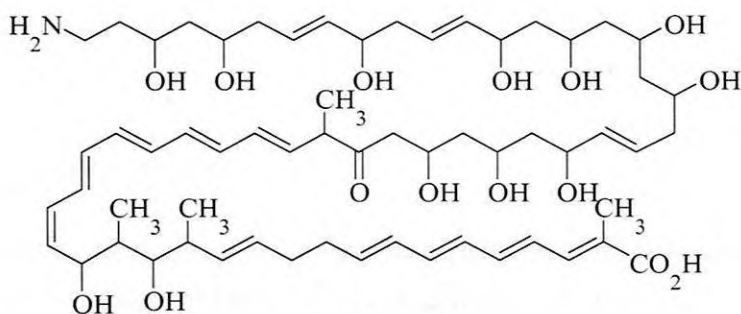
1. โซ่

โครงสร้างที่ง่ายที่สุดของไฮโดรคาร์บอนจะเรียงตัวแบบโซ่อะตอม เช่น โครงสร้างของกรดไขมันจะเป็นโซ่แบบซิกแซก หรือพอลิเมอร์ของพอลิทีน (polythene) แสดงด้วยโครงสร้างข้างล่าง



โครงสร้างของพอลิทีน

ในปี 1995 พบสารลิเนียร์มายซิน (linearmycin) ซึ่งเป็นยาปฏิชีวนะที่แยกมาจากเชื้อรา มีโครงสร้างเป็นแบบโซ่ซิกแซกยาวมาก จะต้องเขียนให้โค้งงอถึง 2 ครั้ง ดังแสดง



ลิเนียร์มายซิน

2. ชื่อโซ่คาร์บอน

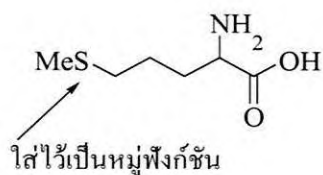
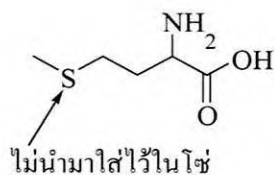
การเรียกชื่อโซ่คาร์บอนจะระบุจำนวนคาร์บอนในโซ่ที่ยาวที่สุดนั้นด้วยคำนำหน้า *meth eth prop...* เป็นต้น กรณีหมู่เกาะที่เป็นแอลเคนจะเรียก แอลคิล (alkyl) เช่น เมทิล (methyl) เอทิล (ethyl)... ทั้งนี้ อาจมีชื่อย่อไว้เรียกจนเป็นที่คุ้นเคย ดังแสดง

จำนวนคาร์บอนในโซ่	ชื่อหมู่	สูตร	อักษรย่อ	ชื่อแอลเคน
1	<i>methyl</i>	$-CH_3$	<i>Me</i>	มีเทน (methane)
2	<i>ethyl</i>	$-CH_2CH_3$	<i>Et</i>	อีเทน (ethane)
3	<i>propyl</i>	$-CH_2CH_2CH_3$	<i>Pr</i>	โพรเพน (propane)
4	<i>butyl</i>	$-(CH_2)_3CH_3$	<i>Bu</i>	บิวเทน (butane)
5	<i>pentyl</i>	$-(CH_2)_4CH_3$	—†	เพนเทน (pentane)
6	<i>hexyl</i>	$-(CH_2)_5CH_3$	—†	เฮกเซน (hexane)
7	<i>heptyl</i>	$-(CH_2)_6CH_3$	—†	เฮปเทน (heptane)
8	<i>octyl</i>	$-(CH_2)_7CH_3$	—†	ออกเทน (octane)
9	<i>nonyl</i>	$-(CH_2)_8CH_3$	—†	โนเนน (nonane)
10	<i>decyl</i>	$-(CH_2)_9CH_3$	—†	เดเคน (decane)

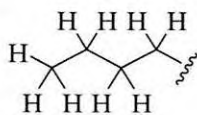
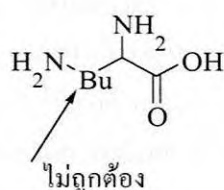
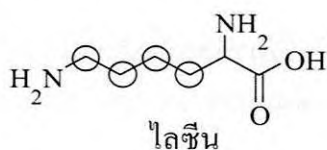
† ไม่มีชื่อย่อ

3. ธาตุอินทรีย์

การเขียนโครงของคาร์บอนจะกระทำอย่างเหมาะสมโดยให้คาร์บอนเป็นตัวแทนของสูตร โครงสร้างโดยแท้จริงและจึงจะเรียกว่า **ธาตุอินทรีย์** กล่าวคือ กรณีกรดเมทิลไอโอดีนจะไม่เขียนธาตุซัลเฟอร์ ไว้ในโซ่แต่จะเขียนเป็นส่วนหนึ่งของหมู่ฟังก์ชัน ดังนั้น โครงสร้างของกรดนี้จึงแสดงไว้เฉพาะธาตุคาร์บอน เท่านั้น นอกจากนี้การเขียนโซ่คาร์บอนยังใช้รูปแบบเส้นซิกแซกตามลักษณะของ sp^3 ไฮบริไดเซชันของ คาร์บอน

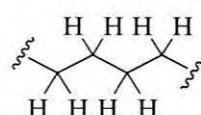


สำหรับสูตรโครงสร้างของเททระเอทิลเลด (tetraethyllead) นิยมเขียนโดยใช้ PbEt_4 หรือ Et_4Pb มากกว่าการเขียนที่แสดงคาร์บอนแบบเส้น ในการเขียนย่อธาตุคาร์บอนจะไม่นำหน่วยของคาร์บอนในโซ่มาย่อ เช่น กรณียของลิวซีนหมู่เมทิลีน $(\text{CH}_2)_4$ หมู่จะไม่ใช่ $-\text{Bu}$



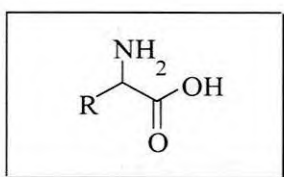
Butyl

ไม่สามารถแทนด้วย



ไม่ใช่ Butyl

สูตรโครงสร้างใดๆ ก็ตามอาจใช้ตัวอักษร R แทนได้ทุกหมู่ เมื่อหมู่นั้นเปลี่ยนไปจะได้อะตอมประกอบตัวอื่น เช่น โครงสร้างทั่วไปของกรดอะมิโน ถ้า R เป็นไฮโดรเจนสารประกอบนี้จะเป็นไกลซีน แต่ถ้าเป็นหมู่เมทิลสารนี้คืออะลานีน เป็นต้น

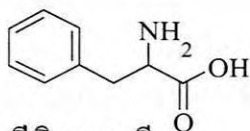


4. วงคาร์บอน

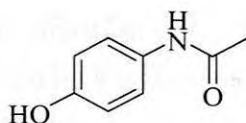
สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นวงมักพบทั่วไป กรณีของวงเบนซีนที่เกิดจากจินตนาการความฝันของเคกูเล (Kekule) ที่เห็นงู 6 ตัว ขดเป็นวงโดยเอาหัวต่อหาง นอกจากนั้นวงเบนซีนยังเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลอินทรีย์หลายชนิด ดังแสดง



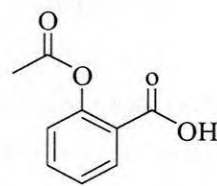
เบนซีน



ฟีนิลอะลานีน



พาราเซตามอล

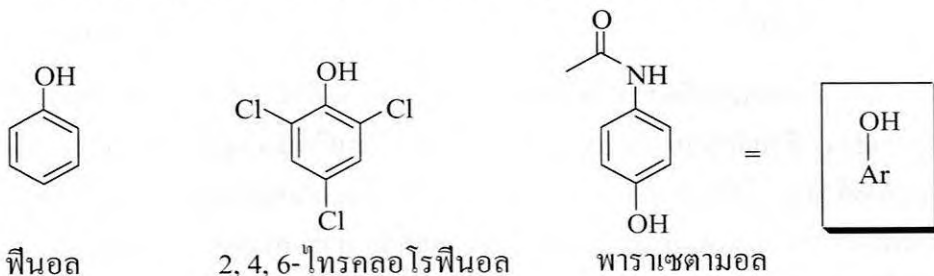


แอสไพริน

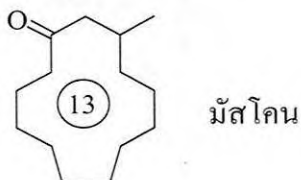
กรณีคาร์บอนของวงเบนซีนสร้างพันธะกับอะตอมอื่นเรียกววงเบนซีนนั้นว่า หมู่ฟีนิล (phenyl group) หรือ Ph หรือใช้เครื่องหมายเซตว่างก็ได้



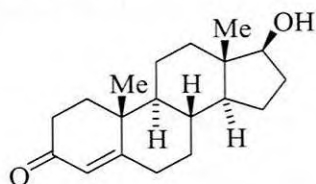
ถ้าหมู่ฟีนิลถูกแทนที่ด้วยหมู่อื่นมากกว่า 2 หมู่ขึ้นไป จะใช้ Ar (ary) แทน



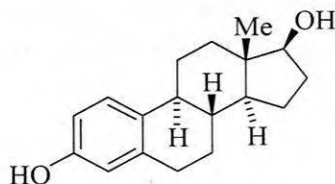
มาสโคน (muskone) มีโครงสร้างเป็นวงเตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ มาสโคนมีกลิ่นฉุนแสบจมูก ใช้เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับกลิ่นของน้ำหอม (musk fragrance) ในธรรมชาติได้สารนี้มาจากกวาง (musk deer) เป็นวงที่มีสมาชิก 13 อะตอม



ฮอร์โมนสเตอรอยด์ประกอบด้วยวงคาร์บอน 4 วง หลอมติดกัน สำหรับฮอร์โมนเพศของมนุษย์ เช่น เทสโทสเตอโรน (testosterone) และออสตราไดออล (oestradiol) ทำหน้าที่ในการกำหนดคุณลักษณะของเพศหญิงหรือชาย

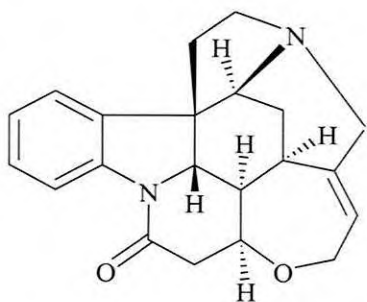


เทสโทสเตอโรน

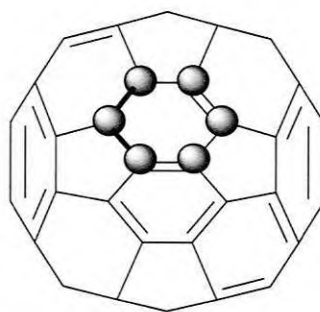


ออสตราไดออล

มีวงคาร์บอนที่ซับซ้อนมากเช่น สตริกนิน เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติกลุ่มแอลคาลอยด์ที่เป็นพิษ หรืออีกสารหนึ่งเป็นวงคาร์บอนที่สวยงามคือ ฟูลเลอรีน (Buckminsterfullerene) ประกอบด้วยคาร์บอน 60 คาร์บอน ยึดเหนี่ยวกันคล้ายฟุตบอลไม่มีอะตอมของไฮโดรเจนอยู่เลย โครงสร้างที่วุ่นๆนี้ปัจจุบันพบว่ามีขนาดระดับนาโน นำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย

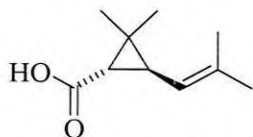


สตริกนิน

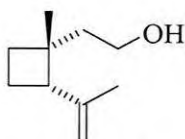


ฟูลเลอรีน

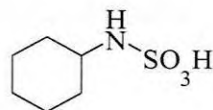
วงของคาร์บอนจะเรียกว่า ไซโคล (cyclo) นำหน้าแล้วตามด้วยชื่อของไฮโดรคาร์บอนหลักและคำลงท้ายด้วย (suffix) ด้วยอักษรย่อที่แสดงหมู่ฟังก์ชันสารอินทรีย์นั้น เช่น กรดไคแซนทีมิก (chrysanthemic acid) ลงท้ายด้วย ic หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ไพรีทริน เป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติใช้เป็นยาฆ่าแมลงจากโครงสร้างพบว่ามีไซโคลโพรเพน (cyclopropane) อยู่ด้วย สารแกรนดิซอล (grandisol) เป็นฟีโรโมนของแมลงตัวผู้ที่ใช้ดึงดูดแมลงตัวเมีย สารประกอบนี้มีวงไซโคลบิวเทน (cyclobutane) เป็นส่วนประกอบ นอกจากนี้ยังมีสารไซคลาเมต (cyclamate) ใช้แทนความหวานหรือที่เรียกว่าน้ำตาลเทียมจะมีวงไซโคลเฮกเซน (cyclohexane) ในโครงสร้าง ดังแสดง



กรดไคแซนทีมิก



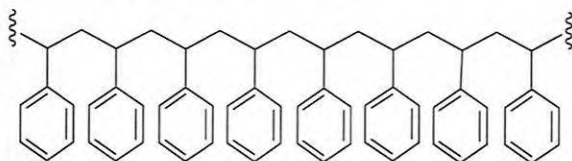
แกรนดิซอล



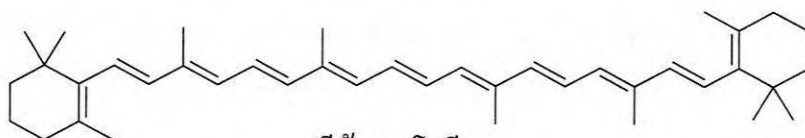
ไซคลาเมต

5. กิ่งก้าน

โครงสร้างของไฮโดรคาร์บอนไม่เพียงแต่เป็นวงเดี่ยวเสมอไป แต่ยังเป็นกิ่งก้านได้ด้วยและกิ่งก้านนั้นอาจมีวงเกาะที่โซ่สั้นรวมกันเป็นโมเลกุล เช่น สารพอลิทอกซิน นอกจากนี้ยังมีสารพอลิเมอร์จำพวกพอลิสไตรีน (polystyrene) ที่มีไฮโดรคาร์บอนยาวและมีกิ่งเป็นวงเบนซีนหรือโมเลกุลที่คู่กันคั่นกันดี เช่น บีต้า-แคโรทีนซึ่งเป็นสารที่ให้สีส้มในแครอท เป็นต้น



พอลิสไตรีน

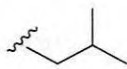


บีต้า-แคโรทีน

บางครั้งกึ่งกำกวมก็เป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้ เช่น เบสแก่ จำพวกลิเทียมไดไอโซโพรพิลเอไมด์ (lithiumdiisopropylamide, LDA) ประกอบด้วยหน่วยของไอโซโพรพิล (isopropyl หรือ *i*-propyl) $(CH_3)_2CH-$ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม ไอโซโพรพิลอาจจัดตัวเป็นเส้นตรงได้ เช่น $CH_3CH_2CH_2-$ ก็เรียกหมู่แอลคิลนี้ว่า นอร์มอล-โพรพิล (*n*-propyl) จะเห็นว่าโพรพิลมีคาร์บอน 3 อะตอม และไฮโดรเจน 7 อะตอม สามารถแสดงโครงสร้างได้ 2 แบบ เรียกสารนี้ว่าเป็น ไอโซเมอร์ กัน และพบว่าสารที่เป็น ไอโซเมอร์อาจมีหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกันก็ได้ เช่น สารที่มีสูตรโมเลกุล C_4H_8O



กรณีไอโซบิวทิล (isobutyl, *i*-Bu) จะมีหมู่ CH_2 ต่อจากไอโซโพรพิล (*i*-Pr CH_2-) พบว่าหมู่ ไอโซบิวทิลเป็นโครงสร้างที่สำคัญในตัวรีดิวซ์ที่ชื่อว่า ไดไอโซบิวทิลอลูมิเนียมไฮไดรด์ (diisobutylaluminumhydride) หรือใช้ตัวย่อ DIBAL

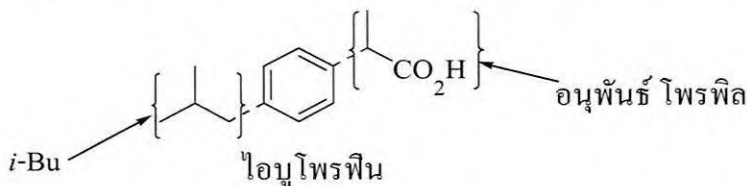


ไอโซบิวทิล

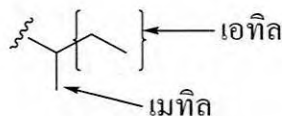


ไดไอโซบิวทิลอลูมิเนียมไฮไดรด์

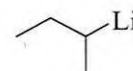
สารนูโรเฟน (nurofen) หรือไอบูโพรเฟน (ibuprofen) เป็นยาระงับปวด (painkiller) ซึ่งถ้าพิจารณาแล้วเกิดจากหมู่ไอโซบิวทิล (*i*-Bu) และโพรพิล (propyl) รวมเข้าด้วยกัน ส่วน fen มาจากหมู่ฟีนิล



นอกจากนี้ยังมีคำว่าบิวทิลทุติยภูมิ (*sec*-butyl) หรือ *s*-Bu ซึ่งหมายถึงคาร์บอนที่มีหมู่ เอทิล และเมทิลเกาะที่คาร์บอนตัวเดียวกัน ตัวอย่างของ *s*-Bu พบใน *เอส*-บิวทิลลิเทียม (*s*-BuLi) ซึ่งเป็นรีเอเจนต์ จำพวกโลหะอินทรีย์ สำหรับใช้ในการเตรียมสารประกอบอินทรีย์ที่ต้องการสร้างพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน ดังแสดง



sec-butyl group หรือ *s*-Bu



s-BuLi

ส่วนคำว่า บิวทิลตติยภูมิ (*tert*-butyl) หรือ *t*-butyl จะมีหมู่เมทิลหรือแอลคิลเกาะที่คาร์บอนตัวเดียวกัน 3 หมู่ พบหมู่ *t*-butyl นี้ในบิวทิลไฮดรอกซีทอลูอิน (butylated hydroxy toluene, BHT) ซึ่งเป็นการเติมแต่งอาหารเพื่อต้านอนุมูลอิสระ ดังแสดง