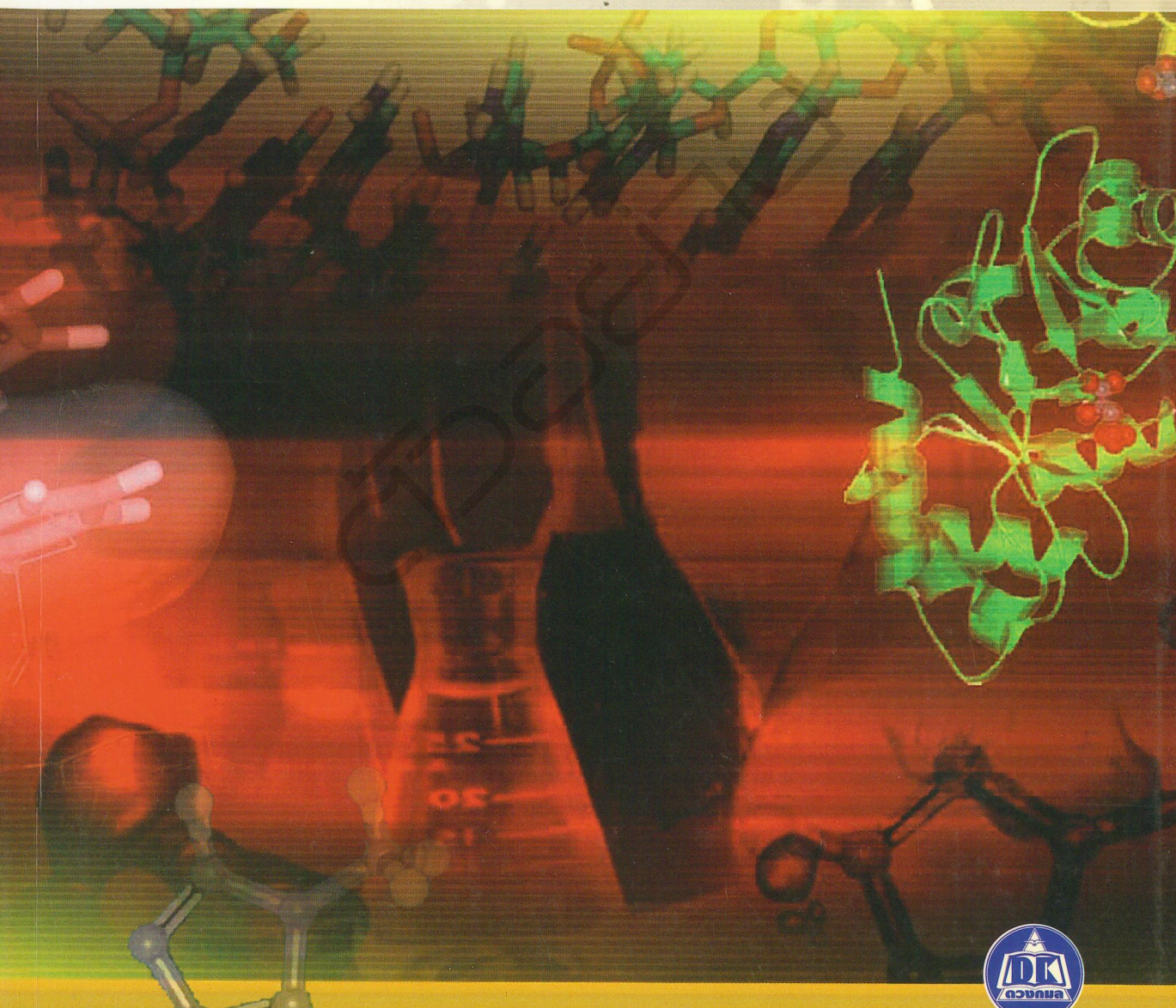


เคมีอินทรีย์ขั้นต้น 2

รองศาสตราจารย์ ดร.วิลาศ พุ่มพิมล



คู่มือการเรียนการสอนวิชาเคมีอินทรีย์เบื้องต้น

ดวงกมลพับลิชชิ่ง
นำเสนอหนังสือดี มีคุณค่า

เคมีอินทรีย์ขั้นต้น 2

รองศาสตราจารย์ ดร. วิลาศ พุ่มพิมล

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง



เคมีอินทรีย์ขั้นต้น 2

ดวงกมลพับลิชชีง

รองศาสตราจารย์ ดร. วิลาศ พุ่มพิมล

นำเสนอหนังสือดี มีคุณค่า

พิมพ์ครั้งที่ 1 ดวงกมลพับลิชชีง, มกราคม 2555

ราคา 195 บาท

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537

การนำส่วนหนึ่งส่วนใด เพื่อตีพิมพ์ ทำซ้ำ ดัดแปลง คัดลอกหรือประโยชน์
อันหนึ่งอันใดเป็นพิเศษ ต้องได้รับอนุญาตจากสำนักพิมพ์ ดวงกมลพับลิชชีง

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

รองศาสตราจารย์ ดร. วิลาศ พุ่มพิมล.

เคมีอินทรีย์ขั้นต้น 2. --กรุงเทพฯ : ดวงกมลพับลิชชีง, 2554.

224 หน้า.

1. เคมีอินทรีย์ 2. สารประกอบ I. ชื่อเรื่อง.

547

ISBN 978-616-511-117-1

จัดพิมพ์โดย

สำนักพิมพ์ ดวงกมลพับลิชชีง

96 ซอยพหลโยธิน 32 แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0-2942-9270-2 โทรสาร 0-2942-9273

E-mail : dkbangkok2@gmail.com

จัดจำหน่ายโดย



D.K. BOOK DISTRIBUTOR CO., LTD.

96 ซอยพหลโยธิน 32 แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0-2942-9270-2 โทรสาร 0-2942-9273

E-mail : dkbangkok2@gmail.com

ดวงกมลเชียงใหม่ : 79/1 ถ.เทศบาล ต.ช้างคลาน อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100

โทรศัพท์ 0-5320-6995-9 โทรสาร. 0-5328-4637

ดวงกมลลำปาง : 69/1 ถ.สนามบิน ต.หัวเวียง อ.เมือง จ.ลำปาง 52000

โทรศัพท์ 0-5435-1395-8 โทรสาร. 0-5435-1399

ดวงกมลเชียงราย : 324/2 ถ.หุบเปอร์ไฮเวย์ ต.รอบเวียง อ.เมือง จ.เชียงราย 57000

โทรศัพท์ 0-5371-9333-6 โทรสาร. 0-5371-9337-8

ดวงกมลขอนแก่น : 552/1 ตรกขามห้างแพร่ ถ.หน้าเมือง ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

พิมพ์ที่

ออฟเซ็ทพลัส จำกัด

95/39 หมู่ 8 ซ.สุขสวัสดิ์ 84 ถ.สุขสวัสดิ์ ต.ในคลองปลาทอ อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ 10290

โทรศัพท์ 0-2461-2161-4 โทรสาร 0-2461-2166

บรรณาธิการบริหาร : จริยา สกุลสุทรวงศ์ / บรรณาธิการที่ปรึกษา : ผศ.ดร.พัชนี ณะเสนา Joseph S.G. /

บรรณาธิการฝ่ายวิชาการ : สุชัย สกุลสุทรวงศ์ ผศ.ดร.พนมพร จันทรปัญญา มณฑนา เกียรติพงศ์ /

บรรณาธิการฝ่ายต่างประเทศ : ผศ.ดร.เพ็ชร ฐปะวิเชตร์ / ฝ่ายต่างประเทศ : รศ.วดี ชาตอุทิศ

BT Skulsuthavong Thomas L. Becker / บรรณาธิการฝ่ายศิลป์ : J. Theresa /

ฝ่ายกฎหมาย : สุรติ เศรษฐอริธาน / ฝ่ายบัญชี : กรรณิการ์ ยะโส / กองบรรณาธิการ : เมธิสา สกุลสุทรวงศ์

จันทร์เพ็ญ ยะโส ฤทธาภิรมย์ ธีรธรรมิ มาตามตยกุล สุกัลยา เจริญเตีย / หน้าปก : ไนรี สมพงษ์

คำนำสำนักพิมพ์

หนังสือเคมีอินทรีย์ขั้นต้น เล่ม 2 นี้ อาจารย์ได้เขียนขึ้นเพื่อเป็นหลักสูตรการเรียนการสอนของระดับมหาวิทยาลัยและสถาบันราชภัฏซึ่งจะตรงตามหลักสูตรระดับมหาวิทยาลัย เนื้อหาสาระและลำดับของเนื้อหาละเอียดและเข้าใจง่ายต่อผู้เรียน เนื้อหาของหนังสือเล่มนี้ได้แบ่งลำดับยากง่ายเพื่อให้เนื้อหาสัมพันธ์กัน อ่านแล้วเข้าใจง่าย และยังสามารถนำมาใช้ในชีวิตประจำวันได้ด้วย เหมาะสำหรับอาจารย์นำไปสอนนักศึกษาระดับปริญญาตรี และสถาบันราชภัฏทั่วประเทศ ง่ายต่อการศึกษาและการสอน และเพื่อเป็นคู่มือหรือหนังสืออ้างอิงได้ด้วย

ด้วยความปรารถนาดี

สำนักพิมพ์ดวงกมลพับลิชชิ่ง

คำนำ

เอกสารประกอบการสอน รายวิชาเคมีอินทรีย์ 2 รหัส 4023301 นี้ได้เขียนขึ้นตามหลักสูตรมหาวิทยาลัยราชภัฏ โดยแบ่งเนื้อหาและกิจกรรมการเรียนการสอนไว้ 6 บท ทั้งนี้ได้ลำดับความสำคัญต่อยอดจากตำราเคมีอินทรีย์ 1 มีเนื้อหาเกี่ยวกับหลักการเบื้องต้นที่สำคัญของเคมีอินทรีย์ไว้ สามารถใช้เป็นพื้นฐานความรู้ในการศึกษาเคมีอินทรีย์ขั้นสูงได้เป็นอย่างดี เนื้อหาทั้ง 6 บทประกอบด้วย สารประกอบอินทรีย์ของไนโตรเจนกลุ่มเอมีน สารประกอบอินทรีย์ของซัลเฟอร์และฟอสฟอรัส สารในกลุ่มเฮเทอโรไซคลิก และในส่วนของสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ได้นำเสนอพวกที่มีออกซิเจนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบไว้ สารทั้งสองกลุ่มมีบทบาทสำคัญในระบบสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์จะต้องใช้รีเอเจนต์ในการเข้าทำปฏิกิริยา รวมทั้งสารประกอบของโลหะอินทรีย์ได้ด้วย การศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพ เคมี การเตรียม ตลอดจนกลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารอินทรีย์ในเอกสารนี้จะทำให้เกิดแนวคิดในการนำความรู้ไปใช้บูรณาการชีวิตประจำวันได้ เพราะปรากฏการณ์ที่อยู่รอบตัวส่วนหนึ่งล้วนอธิบายได้ด้วยเคมีอินทรีย์ทั้งสิ้น

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารประกอบการสอนนี้ คงจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ตามสมควร หากท่านมีข้อเสนอแนะอย่างไร ผู้เขียนยินดีรับฟังและแก้ไขให้เกิดความสมบูรณ์มากขึ้น

(รศ.ดร.วิลาศ พุ่มพิมล)

คำนำ	(3)
สารบัญรูป	(11)
สารบัญตาราง	(12)
บทที่ 1 สารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน : เอมีน	1
การจำแนกชนิดของเอมีน	1
- เอมีนปฐมภูมิ	1
- เอมีนทุติยภูมิ	1
- เอมีนตติยภูมิ	2
- เกลือแอมโมเนียม	3
การเรียกชื่อเอมีน	3
- ชื่อสามัญ	3
- ชื่อไอยูแพก	5
โครงสร้างของเอมีน	6
สมบัติทางกายภาพของเอมีน	7
- ความมีขั้วและจุดเดือด	7
- กลิ่นของเอมีน	10
ความเป็นเบสของเอมีน	10
- การวัดค่าความเป็นเบสของเอมีน	10
- ผลต่อความเป็นเบส	11
เกลือของเอมีน	15
ปฏิกิริยาของเอมีน	17
- ปฏิกิริยาความเป็นเบสของเอมีน	17
- ปฏิกิริยากับคีโตนและแอลดีไฮด์: นิวคลีโอไฟล์	17
- บทบาทการเป็นหมู่แทนที่	17
- ปฏิกิริยาแอลคิลเลชันของเอมีน โดยแอลคิลแฮไลด์	19
- ปฏิกิริยาแอซิติลเลชันของเอมีน โดยกรดคลอไรด์	19
- ปฏิกิริยาของเอมีนกับซัลโฟนิลคลอไรด์	21
- เอมีนเป็นหมู่ผละออก : การกำจัดออกแบบฮอฟแมน	22

- ปฏิกริยาออกซิเดชันของเอมีน	26
- ปฏิกริยาของเอมีนกับกรดไนตริก	27
การสังเคราะห์เอมีน	34
- ปฏิกริยารีดักชันของสารประกอบไนโตร	34
- ปฏิกริยาแอลคิลเลชันโดยตรงของแอมโมเนียและเอมีน	35
- วิธีแอซีทิลเลชัน-รีดักชัน	36
- รีดักทีฟแอมมิเนชัน	38
- การรีดิวซ์ไนโตร	39
- การสังเคราะห์แบบกาเบียล	40
- การจัดตัวใหม่แบบฮอฟแมนของเอไมด์	41
สรุป	43
คำถามท้ายบท	44
บทที่ 2 สารประกอบซัลเฟอร์และฟอสฟอรัสอินทรีย์	49
หมู่ฟังก์ชันที่มีอะตอมซัลเฟอร์	49
- การจำแนกสารประกอบซัลเฟอร์อินทรีย์	49
- การเรียกชื่อ	53
พันธะในสารประกอบซัลเฟอร์อินทรีย์	53
- พันธะคู่ของซัลเฟอร์	53
- พหุพันธะของซัลเฟอร์	55
การสังเคราะห์และปฏิกิริยา	57
- ไทออล	57
- แอลเคนไทออล	58
- ไคซัลไฟด์	60
- ซัลไฟด์	60
- อีพิซัลไฟด์	61
- เกลือซัลโฟเนียม	62
- ซัลฟอกไซด์	63
- ซัลโฟน	65
- ซัลโฟนิกเอสเทอร์ สบู่ และผงซักฟอก	66
อื่นๆ เกี่ยวกับการสังเคราะห์และปฏิกิริยา	68
- เจม-ไดไทโออีเทอร์ (เจม-ไบซัลไฟด์)	68
- ปฏิกริยาซัลเฟอร์โอไซด์	71
- คิมซิลไซเคียม	73

สเตอริโอเคมีของสารประกอบซัลเฟอร์อินทรีย์	74
- ซัลฟีนิก เอสเทอร์	74
- ซัลฟอกไซด์	75
ยาซัลฟา	76
- การสังเคราะห์ยาซัลฟา	76
- กลไกการทำงานของยาซัลฟา	76
สารประกอบฟอสฟอรัสอินทรีย์	78
- กรดออกซีของฟอสฟอรัสและอนุพันธ์	78
- การเรียกชื่อ	81
ปฏิกิริยาพันธะและโครงสร้าง	81
- ความแข็งแรงของพันธะ	81
- การมีส่วนร่วมของดี-ออร์บิทัล	82
- สเตอริโอเคมี	82
- การสังเคราะห์ฟอสฟีน	83
- ปฏิกิริยาของสารประกอบฟอสฟอรัส	85
สรุป	91
คำถามท้ายบท	92
บทที่ 3 สารประกอบเฮเทอโรไซคลิกและพอลินิวเคลียร์เอโรแมติก	97
แอลกอฮอล์และแอลเคน	97
นอนเอโรแมติกไซคลิกอีเทอร์	98
- อีพอกไซด์	98
- ออกซีเทน	98
- เทตระไฮโดรฟิวแรน	98
- อีเทอร์ชนิดวงมีสมาชิก 6 อะตอม	99
- อะซีรีดีน	101
- อะเซทีดีน	102
- ไพโรลิดีน	103
- ไพเพอริดีน	103
- มอร์โฟลิน	104
ไพโรลและฟิวแรน : เฮเทอโรเอโรแมติกที่มีสมาชิก 5 อะตอม	104
- ไพโรลและฟิวแรน	104
ไพริดีน : เอโรแมติกเฮเทอโรไซคลิกที่มีสมาชิก 6 อะตอม	107
- โครงสร้างและสมบัติของไพริดีน	107

- ปฏิบัติการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรโพล์ของไพรีน	108
- ปฏิบัติการแทนที่ด้วยนิวคลีโอโพล์ของไพรีน	110
- แหล่งของไพรีน	110
- การสังเคราะห์ไพรีน	112
ไพรีนีน อิมิดาโซล : เฮเทอโรไซคลิกที่มี 2 เฮเทอโรอะตอม	112
- ไพรีนีน	112
- อิมิดาโซล	113
- พวรีน	113
เฮเทอโรไซคลิกที่หลอมติดกัน	114
สารประกอบพอลินิวเคลียร์แอโรแมติก	115
- แหล่งกำเนิด	115
- ปฏิบัติการ	116
- ผลของหมู่แทนที่	119
- สารก่อมะเร็ง	120
สรุป	121
คำถามท้ายบท	122
บทที่ 4 สารประกอบธรรมชาติที่มีออกซิเจน	127
ลิพิด	127
- ไขมัน และไข	127
- ปฏิบัติการเกิดสบู่	130
- ไมเซลล์	131
เทอร์พีน	132
- การจำแนกเทอร์พีน	133
- ฤทธิ์ทางชีวภาพของเทอร์พีน	134
- สเตอรอยด์	135
ชีวสังเคราะห์	137
- ชีวสังเคราะห์ของเทอร์พีน	137
- ฟอสเฟต : หมู่ผลออกที่ดี	138
- วิถีชีวสังเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับฟอสเฟต	139
- วิถีชีวสังเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับอีพอกไซด์	140
คาร์โบไฮเดรต	141
- ไทรโอส	142
- แอลโดเทโทส	142

- แอลโคเพนโทส	143
- ฟิวราโนส และไพราโนส	144
- แอนอเมอร์	144
- แอลโคเฮกโซส	145
- มิวทาโรเทชัน	145
- ผลของแอนอเมอร์	146
- คีโทส	146
ไคเมอริกและพอลิเมอริกคาร์โบไฮเดรต	147
สรุป	148
คำถามท้ายบท	149
บทที่ 5 สารประกอบธรรมชาติที่มีในโตรเจน	153
วิธีการสร้างพันธะระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน	153
- เอมีน : การแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์	154
- การสังเคราะห์เอไมด์	154
- การรีดิวซ์เอไมด์เป็นเอมีน	154
- อิมีน	154
- การรีดิวซ์อิมีนเป็นเอมีน	154
- ปฏิกริยาการเติมด้วยนิวคลีโอไฟล์ของอิมีน	155
- ปฏิกริยาการควบแน่นแบบแมนนิช	155
- การสังเคราะห์เอมีนโดยรีดิวซ์ไนไตรล์	156
- การจัดตัวใหม่แบบเบคแมนของออกซิม	156
กรดอะมิโน : โครงสร้างและสมบัติ	157
- โครงสร้างของกรดอะมิโน	157
- สมบัติของกรดอะมิโน	159
พอลิเพปไทด์ : โครงสร้าง หน้าที่ และการสังเคราะห์	161
- โครงสร้างและหน้าที่ของพอลิเพปไทด์	161
- การสังเคราะห์พอลิเพปไทด์	162
การสังเคราะห์เมอร์ริไฟด์โซลิดเฟส	163
- ขั้นตอนและวิธีการสังเคราะห์	164
- อีพีเมอไรเซชัน	165
- การกระตุ้นหมู่คาร์บอกซิลิก	166
- การคืนสภาพของสารผลิตภัณฑ์	166
การสังเคราะห์ ดี-อะลานีน	167

แอลคาลอยด์: โครงสร้างและฤทธิ์ทางชีวภาพ	168
โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก	169
- แแกนพอลีนิวคลีโอไทด์	169
- เบสของกรดนิวคลีอิก	170
- การเข้าชนโมเลกุลน้ำตาลของเบส	172
- การเชื่อมต่อกันน้ำตาลกับฟอสเฟต	173
โครงสร้างและหน้าที่ของอะมิโนคาร์โบไฮเดรต	173
การสังเคราะห์หิวชนะ	175
สรุป	178
คำถามท้ายบท	179

บทที่ 6 สารประกอบโลหะอินทรีย์	181
พันธะคาร์บอนกับโลหะในสารประกอบโลหะอินทรีย์	181
การเรียกชื่อสารประกอบโลหะอินทรีย์	182
การเตรียมสารประกอบโลหะอินทรีย์ลิเทียม	182
การเตรียมโลหะอินทรีย์แมกนีเซียม : กรีนาร์รีเอเจนต์	184
โลหะอินทรีย์ลิเทียมและแมกนีเซียมเป็นเบรินสเตดเบส	186
การสังเคราะห์แอลกอฮอล์โดยใช้กรีนาร์รีเอเจนต์	189
การสังเคราะห์แอลกอฮอล์โดยใช้โลหะอินทรีย์ลิเทียม	190
การสังเคราะห์แอซิติลนิกแอลกอฮอล์	190
การวิเคราะห์การสังเคราะห์แบบย้อนกลับ	191
การเตรียมแอลกอฮอล์ตติยภูมิจากเอสเทอร์และกรีนาร์รีเอเจนต์	194
การสังเคราะห์แอลเคนโดยใช้โลหะอินทรีย์คอปเปอร์	195
โลหะอินทรีย์ซิงก์	197
คาร์บินและคาร์บินอยด์	200
อนุพันธ์ปรอท : ออกซีเมอร์คิวเลชัน-ดีเมอร์คิวเลชัน แอลคีน	202
สารประกอบโลหะอินทรีย์ของธาตุแทรนซิชัน	205
สรุป	207
คำถามท้ายบท	207

บรรณานุกรม	211
-------------------	------------

ประวัติผู้เขียน	212
------------------------	------------

รูปที่	หน้า
1.1 มุมระหว่างพันธะของแอมโมเนียและไทรเอทิลามีน	11
1.2 ไฮบริไดเซชันของไนโตรเจนที่สภาวะต่าง ๆ	11
1.3 ไดอะแกรมแสดงพลังงานการดึงโปรตอนของเอมีน	16
1.4 ระบบไฟอเล็กตรอนและการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนของอะนิลีน	17
1.5 ระบบไฟอเล็กตรอนของวงไพโรลและพลังงานเนื่องจากการดึงอิเล็กตรอน	19
1.6 การสกัดเอมีนออกจากผลิตภัณฑ์ผสม	21
2.1 รูปร่างออร์บิทัลธาตุคาบที่ 2 ของตารางธาตุ	69
2.2 การเกิดพันธะไพระหว่างออร์บิทัล $2p$ กับ $3p$ และ $3p-3p$	69
2.3 โมเลกุลที่เสถียรของซัลเฟอร์ S_8	70
2.4 d -ออร์บิทัลทั้ง 5 แบบของ $3d$	70
2.5 การต้านและการสร้างพันธะไพ	71
2.6 การเกิดไมเซลล์	83
2.7 การเกิดไมเซลล์อีกรูปแบบหนึ่ง	84
3.1 ไพออร์บิทัลของไพโรล	128
3.2 โครงสร้างพันธะในฟิวแรน	128
3.3 โครงสร้างของไพรีดีน	131
4.1 แบบจำลองโมเลกุลของไมเซลล์	161
6.1 ซอลเวชันของแอลคิลแมกนีเซียมโดยเอทิลอีเทอร์	232

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	เปรียบเทียบจุดเดือดระหว่างเอมีน อีเทอร์ และแอลกอฮอล์
1.2	จุดหลอมเหลว จุดเดือด และการละลายน้ำของเอมีนปฐมภูมิ
1.3	จุดหลอมเหลว จุดเดือด และการละลายน้ำของเอมีนทุติยภูมิ
1.4	จุดหลอมเหลว จุดเดือด และการละลายน้ำของเอมีนตติยภูมิ
1.5	ค่า pK_b ของเอมีน
2.1	โครงสร้างและชื่อของสารประกอบซัลเฟอร์อินทรีย์
2.2	พลังงานพันธะในสารประกอบฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และ คาร์บอน
4.1	โครงสร้างและสมบัติของกรดไขมัน
4.2	โครงสร้างและสมบัติของแอลกอฮอล์โซ่ตรง
6.1	ค่าสภาพไฟฟ้าลบของธาตุหลัก
6.2	ค่าความเป็นกรดของไฮโดรคาร์บอนและสารอ้างอิง

สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน : เอมีน

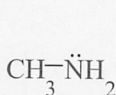
เอมีนเป็นอนุพันธ์ของแอมโมเนีย ที่ประกอบด้วยหมู่แอลคิลและแอริล 1-3 หมู่เกาะอยู่กับไนโตรเจน การจำแนกชนิดของเอมีนจะใช้จำนวนหมู่แอลคิลหรือแอริล กล่าวคือถ้ามีหมู่แอลคิล หรือ แอริล 1 หมู่ จะเรียกว่า เอมีนปฐมภูมิ หากมีหมู่ดังกล่าว 2 หมู่ เกาะที่ไนโตรเจนจะเรียกว่า เอมีนทุติยภูมิ และถ้ามีแอลคิลหรือแอริล 3 หมู่เกาะที่ไนโตรเจนก็จะเรียกว่า เอมีนตติยภูมิ

การจำแนกชนิดของเอมีน

จำแนกตามหมู่แอลคิลหรือแอริลเกาะที่ไนโตรเจน ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการศึกษาคูณสมบัติและปฏิกิริยา ดังนั้นจึงแบ่งเอมีนออกเป็นดังนี้

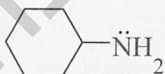
1. เอมีนปฐมภูมิ

เป็นเอมีนซึ่งมีหมู่เกาะที่ไนโตรเจนเป็นคาร์บอนมีไฮบริดเซชันแตกต่างกันออกไป เช่น ทั้งเมทิลามีน ไสโคลเฮกซิลามีน และบิวทิลามีนตติยภูมิ เป็นแบบ sp^3 ส่วนคาร์บอนของอะนิลีนเป็นแบบ sp^2 ไฮบริดเซชัน



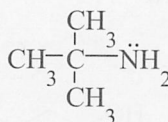
เมทิลามีน

(methylamine)



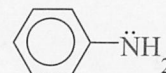
ไซโคลเฮกซิลามีน

(cyclohexylamine)



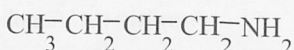
บิวทิลามีนตติยภูมิ

(*t*-butylamine)



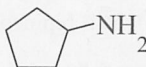
อะนิลีน

(aniline)



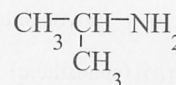
บิวทิลามีน

(butylamine)



ไซโคลเพนทิลามีน

(cyclopentylamine)

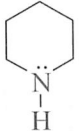


ไอโซโพรพิลามีน

isopropylamine

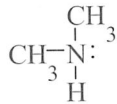
2. เอมีนทุติยภูมิ

คือเอมีนที่มีหมู่แอลคิลหรือแอริลเกาะที่ไนโตรเจน 2 หมู่ และการไฮบริดเซชันของคาร์บอนเป็นแบบใดก็ได้ เช่น



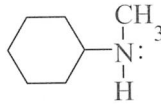
ไพเพอริดีน

(piperidine)



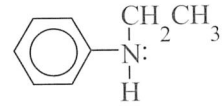
ไดเมทิลามีน

(dimethylamine)



ไซโคลเฮกซิลเมทิลามีน

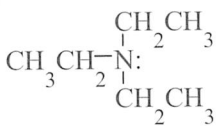
(cyclohexylmethylamine)



(N-ethylaniline)

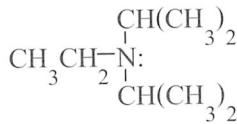
3. เอมีนตติยภูมิ

มีหมู่เกาะไนโตรเจน 3 หมู่ และมีไฮบริดเซชันของคาร์บอนแตกต่างกัน ดังแสดงจากโครงสร้างข้างล่าง เอมีนชนิดนี้บางโมเลกุลเป็นแบบไบไซคลิก เช่น ควินิวคลิดีน



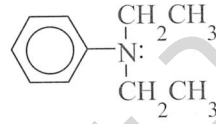
ไทรเอทิลามีน

(triethylamine)



เอทิลไดไอโซโพรพิลามีน

(ethyldiisopropylamine)



เอ็น,เอ็น-ไดเอทิลอะนิลีน

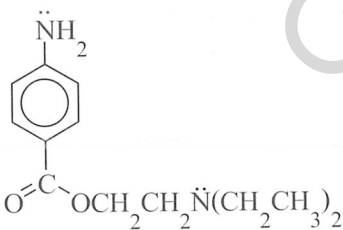
(N,N-diethylaniline)



ควินิวคลิดีน

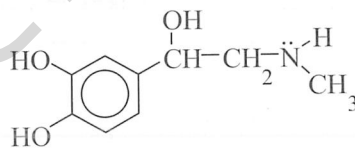
(quinuclidine)

นอกจากนี้ยังพบว่าในระบบของสิ่งมีชีวิตทั้งในพืชและสัตว์ มีสารจำพวกเอมีนที่แสดงบทบาทแตกต่างกันออกไป เช่น อีพิเนฟริน เป็นฮอร์โมนที่หลั่งออกมาขณะที่ตื่นเต้นตกใจ มีผลให้หัวใจแข็งแรงมาก นอกจากนี้แอมเฟตามีนยังเป็นยากระตุ้นประสาท ใช้ผสมในยาและเครื่องดื่มชูกำลังทั่วไป และในการผ่าตัดคนไข้ เคยใช้โนโวเคนเป็นยาสลบ เป็นต้น



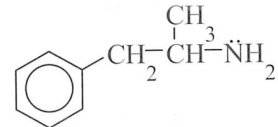
โนโวเคน (novocaine)

ยาสลบ (anaesthetic)



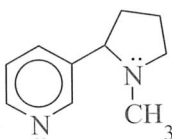
อีพิเนฟริน (epinephrine)

ฮอร์โมนอะดรีนัล (adrenal hormone)



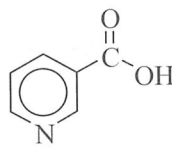
แอมเฟตามีน (amphetamine)

ยากระตุ้น (stimulant)



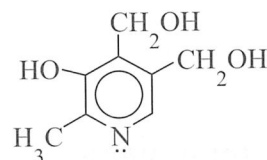
นิโคติน (nicotine)

ยาฆ่าแมลง (insecticide)



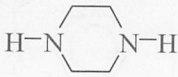
กรดนิโคตินิก (nicotinic acid)

ไนอะซิน (niacin vitamin)

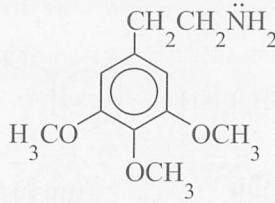


ไพริดอกซีน (pyridoxine)

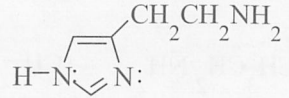
วิตามิน บี6 (vitamin B₆)



พิเพอราซีน (piperazine)



มีสคาลีน (mescaline)



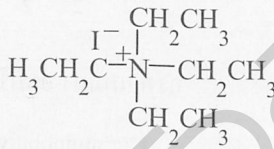
ฮิสตามีน (histamine)

ฆ่าไส้เดือนดิน (kills intestinal worms) ยาต้านมะเร็ง (hallucinogenic drug) ขยายหลอดเลือด (dilates blood vessels)

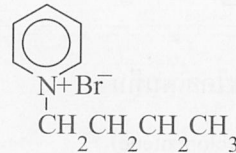
สำหรับนิโคตินพบมากในใบยาสูบเป็นสารเสพติดอย่างอ่อน แต่ก็นำมาใช้ปราบแมลงศัตรูพืชได้ ส่วนไนอะซินและวิตามินบี6 มีประโยชน์ต่อร่างกาย ยังมีความพยายามใช้มีสคาลีนเป็นสารต้านมะเร็งด้วย การป่วยด้วยโรคหลอดเลือดตีบหรือตันจะใช้ฮิสตามีนมากไปกว่านั้นยังมีการใช้พิเพอราซีนในการฆ่าไส้เดือนด้วย

4. เกลือแอมโมเนียมจตุรภาค

เป็นชื่อเรียกของเอมีนที่มีหมู่แอลคิลหรือแอริล 4 หมู่เกาะที่ไนโตรเจน ทำให้ไนโตรเจนมีประจุบวก เช่น แอมโมเนียมคลอไรด์ หรือตัวอย่างข้างล่าง เป็นต้น



เททระแอมโมเนียมไอโอไดด์
(tetraethylammonium iodide)



เอ็น-บิวทิลไพริดีเนียมโบรไมด์
(N-butylpyridinium bromide)

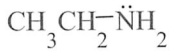
เอมีนมีความสำคัญมากในระบบของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น การเป็นตัวควบคุมการส่งผ่านประสาท (bioregulators neurotransmitters) และกลไกการป้องกัน (defense mechanism) มีเอมีนหลายโมเลกุลที่พัฒนา โดยการสังเคราะห์ขึ้นเป็นยาและสารปราบศัตรูพืช ทั้งนี้ในส่วนโครงสร้างและฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญได้แสดงไว้ในหัวข้อต่อไป

การเรียกชื่อเอมีน

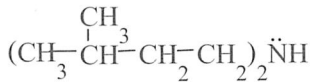
เรียกได้หลายระบบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและแหล่งที่มา ชื่อที่นิยมใช้เรียกมี 3 ระบบ คือ ชื่อสามัญ ชื่อไอยูแพก และชื่ออนุพันธ์

1. ชื่อสามัญ

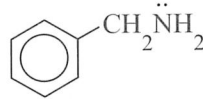
เรียกหมู่แอลคิลเกาะที่ไนโตรเจนแล้วตามด้วยคำว่า เอมีน (amine) ถ้าหมู่แอลคิล หรือแอริลเหมือนกันเกาะที่ไนโตรเจนมีมากกว่า 2 หมู่ขึ้นไป ให้ใช้คำนำหน้าว่า ได (di) ไตร (tri) หรือเททระ (tetra) ดังแสดง



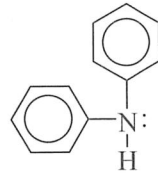
เอทิลามีน
(ethylamine)



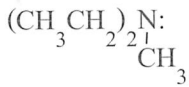
ไดไอโซเพนทิลามีน
(diisopentylamine)



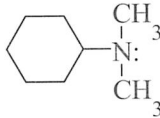
เบนซิลามีน
(benzylamine)



ไดฟีนิลามีน
(diphenylamine)



ไดเอทิลเมทิลามีน
(diethylmethylamine)

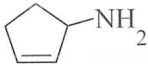


ไซโคลเฮกซิลไดเมทิลามีน
(cyclohexyldimethylamine)



เตตระบิวทิลแอมโมเนียม คลอไรด์
(tetrabutylammonium chloride)

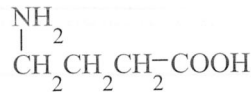
ถ้าเอมีนมีโครงสร้างซับซ้อนและจะต้องเรียกชื่ออื่นเป็น โครงสร้างหลักโดยมีหมู่ $-\text{NH}_2$ เป็น หมู่เกาะให้เรียก $-\text{NH}_2$ ว่า อะมิโน (amino) ส่วนตำแหน่งที่เกาะนั้น ระบุตามชื่อหลักคาร์บอนของสารนั้น ๆ เช่น



3-อะมิโนไซโคลเพนทีน
(3-aminocyclopentene)



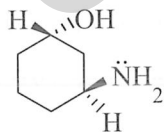
1,5-ไดอะมิโนเพนทีน
(1,5-diaminopentane)



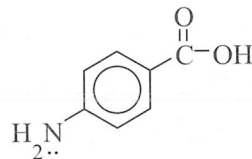
กรด แกมมา-อะมิโนบิวทีริก
(γ -aminobutyric acid)

แคดคาเวอริน
(cadaverine)

กรด 4-อะมิโนบิวทาโนอิก
(4-aminobutanoic acid)

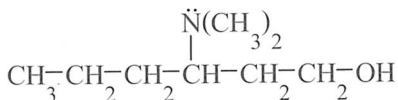


ทรานส์-3-อะมิโนไซโคลเฮกซานอล
(trans-3-aminocyclohexanol)

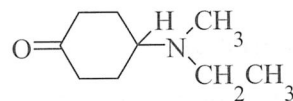


กรด พารา-อะมิโนเบนโซอิก
(p-aminobenzoic acid)

กรณีเอมีนที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อนมากหรือเอมีนที่ต้องการเรียกชื่อเป็น เอมีนปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ให้เรียกหมู่แอลคิลหรือเอริลที่เกาะกับไนโตรเจนว่า แอลคิลอะมิโน (alkylamino) ดังเช่น



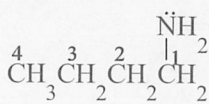
3-ไดเมทิลอะมิโน-1-เฮกซานอล
(3-dimethylamino-1-hexanol)



4-(เอทิลเมทิลอะมิโน)ไซโคลเฮกซานอน
4-(ethylmethylamino)cyclohexanone

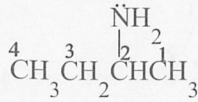
2. ชื่อไอยูแพก

การเรียกชื่อระบบนี้จะคล้ายแอลกอฮอล์ โดยใช้คาร์บอนยาวที่สุดที่มีหมู่เอมีนเกาะอยู่เป็นโซ่หลัก เรียกว่า แอลเคนแล้วตามด้วยเอมีน คือ แอลคานามีน (alkanamine) จะเห็นว่าการตัด e ของแอลเคนออกไปแล้วต่อท้ายด้วยคำว่าเอมีน กรณีหมู่เอมีนมีหมู่แอลคิลเกาะให้ใช้ตัวอักษร N แล้วตามด้วยหมู่แอลคิลนั้นนำหน้าโซ่หลัก ดังแสดง



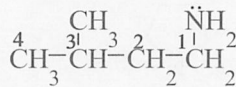
1-บิวทานามีน

(1-butanamine)



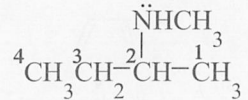
2-บิวทานามีน

(2-butanamine)



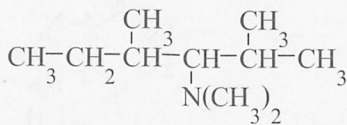
3-เมทิล-1-บิวทานามีน

(3-methyl-1-butanamine)



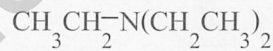
เอ็น-เมทิล-2-บิวทานามีน

(N-methyl-2-butanamine)



(2,4, เอ็น,เอ็น-เททระเมทิล-3-เฮกซานามีน)

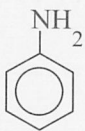
(2,4,N,N-tetramethyl-3-hexanamine)



(เอ็น,เอ็น-ไดเอทิลเอทานามีน)

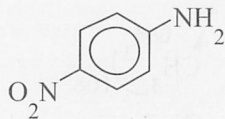
(N,N-diethylethanamine)

การเรียกชื่อ แอโรแมติกและเฮเทอโรไซคลิกเอมีน จะเรียกตามระบบอนุพันธ์ เช่น ฟีนิลอะลานีน มีชื่อเรียกว่า อะนิลีน ดังนั้นโครงสร้างอื่นๆ ที่มีอะนิลีนอยู่ด้วยก็จะมีชื่อ อะนิลีนลงท้าย นอกจากนี้ถ้าหากมีหมู่เกาะมากกว่า 2 หมู่ขึ้นไป ต้องกำหนดตัวเลข โดยหมายเลข 1 เริ่มที่หมู่เอมีน แล้วนับวนไปทางด้านหมู่เกาะน้อย ดังตัวอย่าง



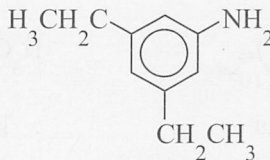
อะนิลีน

(aniline)



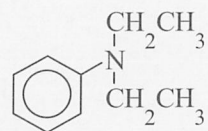
พารา-ไนโตรอะนิลีน

(p-nitroaniline)



3,5-ไดเอทิลอะนิลีน

(3,5-diethylaniline)



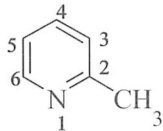
เอ็น,เอ็น-ไดเอทิลอะนิลีน

(N,N-diethylaniline)

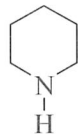
การเรียกชื่อสารประกอบเฮเทอโรไซคลิกของไนโตรเจน และอนุพันธ์ แสดงให้เห็นดังตัวอย่างข้างล่าง ซึ่งมีข้อสังเกตว่าตำแหน่งที่ 1 จะเริ่มที่ไนโตรเจน นอกจากนี้จะเห็นว่าการเรียกชื่อของไซคลิกเอมีนที่หลากหลาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าต้องการสื่อความหมายไปในทางใด ดังแสดงให้เห็นตัวอย่างต่อไปนี้



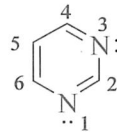
ไพริดีน
(pyridine)



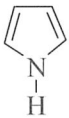
2-เมทิลไพริดีน
(2-methylpyridine)



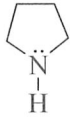
ไพเพอริดีน
(piperidine)



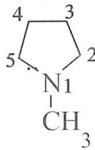
ไพริมิดีน
(pyrimidine)



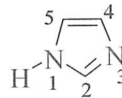
ไพโรล
(pyrrole)



ไพโรลิดีน
(pyrrolidine)



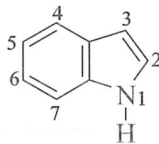
1-เมทิลไพโรลิดีน
(1-methylpyrrolidine)



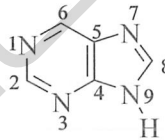
อิมิดาโซล
(imidazole)



อะซิไรดีน
(aziridine)



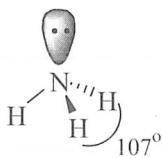
อินโดล
(indole)



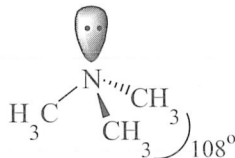
พิวรีน
(purine)

โครงสร้างของเอมีน

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของแอมโมเนียพบว่าอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวบนไนโตรเจน จะบีบให้พันธะ N–H ลดลงเหลือ 107° ซึ่งเล็กกว่าทรงเหลี่ยมสี่หน้าปกติซึ่งมีมุมระหว่างพันธะเท่ากับ 109.5° แต่ถ้าพิจารณาที่ไทรเอทิลามีนบ้าง พบว่ายังคงมีมุมแคบกว่า 109.5°



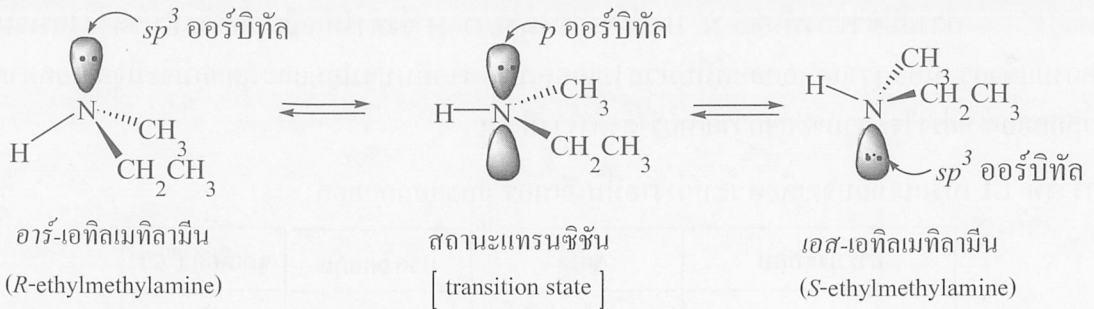
แอมโมเนีย
(ammonia)



ไทรเอทิลามีน
(trimethylamine)

รูปที่ 1.1 มุมระหว่างพันธะของแอมโมเนียและไทรเอทิลามีน
ที่มา (Wade, 1987, p. 914)

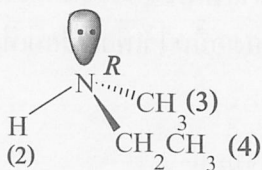
เอมีนที่มีหมู่ทั้ง 3 แตกต่างกันจะยังคงมีรูปร่างโมเลกุลเป็นทรงเหลี่ยมสี่หน้า และไนโตรเจนมีไฮบริไดเซชันเป็น sp^3 ออร์บิทัลที่มีอิเล็กตรอนคู่ดังกล่าวนี้ จะสามารถเกิดการกลับ (inversion) ได้ ทั้งนี้จะมีผลทำให้โครงแบบ (configuration) เปลี่ยนไปจากเดิม โครงแบบทั้งแบบ R และ S ต่างเป็นคู่เอนันติโอเมอร์กัน



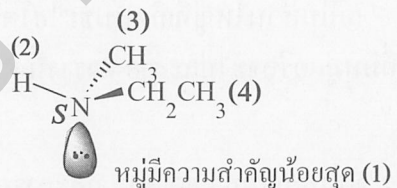
รูปที่ 1.2 ไฮบริไดเซชันของไนโตรเจนที่สถานะต่างๆ
ที่มา (Wade, 1987, p. 914)

ขณะเกิดการกลับของไนโตรเจน (nitrogen inversion) พบว่าที่สถานะแทรนซิชัน ไนโตรเจนมีไฮบริไดซ์เป็นแบบ sp^2 ซึ่งเสถียรมากเพราะมีพลังงานกระตุ้นเพียง 6 กิโลแคลอรี (25 กิโลจูล) ต่อโมล การที่เรียกคู่เอแนนทิโอเมอร์เป็นแบบ R และ S นี้เป็นไปตามข้อตกลงของคาน-อินโกลด์-พรีล็อก (Cahn-Ingold-Prelog) ให้ออร์บิทัลที่มีอิเล็กตรอนคู่ของเอมีนมีความสำคัญน้อยที่สุด (lowest priority) เช่น

หมู่มีความสำคัญน้อยสุด (1)



อาร์-เอทิลเมทิลามีน
(R-ethylmethylamine)



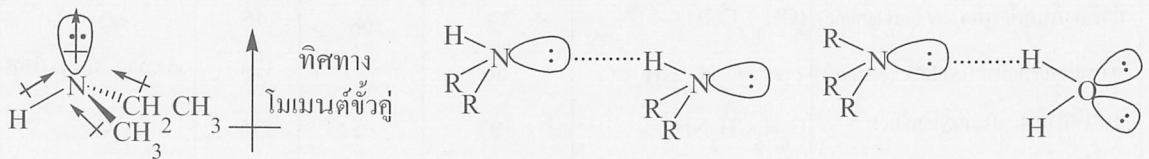
เอส-เอทิลเมทิลามีน
(S-ethylmethylamine)

สมบัติทางกายภาพของเอมีน

เอมีนมีสมบัติเฉพาะตัวหลายประการไม่ว่าจะเป็นกลิ่นคาว ความมีขี้ว เรื่องมาจากอิเล็กตรอนคู่บนไนโตรเจน แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีผลทำให้เอมีนบางโมเลกุลมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง

1. ความมีขี้วและจุดเดือด

เอมีนเป็นสารประกอบที่มีขี้วสูง เนื่องจากมีค่าโมเมนต์ขี้วคู่มาก ทั้งเอมีนปฐมภูมิและทุติยภูมิต่างมีพันธะ N-H ดังนั้นจึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้



เอมีนปฐมภูมิและทุติยภูมิ (1° และ 2° amine)

เอมีนตติยภูมิ (3° amine)

การสร้างพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจาก
การให้และรับอิเล็กตรอน

การสร้างพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจาก
รับอิเล็กตรอน

ความมีขั้วของพันธะ N-H น้อยกว่าพันธะ O-H จึงทำให้เอมีนเมื่อเกิดพันธะไฮโดรเจนจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าแอลกอฮอล์ที่มีมวลโมเลกุลเท่ากัน เอมีนปฐมภูมิและทุติยภูมิจะมีจุดเดือดต่ำกว่าแอลกอฮอล์ อย่างไรก็ตามจะสูงกว่าอีเทอร์ ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบจุดเดือด ระหว่างเอมีน อีเทอร์ และแอลกอฮอล์

สารประกอบ	ชนิด	มวลโมเลกุล	จุดเดือด (°C)
$(CH_3)_3N$	เอมีนตติยภูมิ	59	3
$CH_3-O-CH_2-CH_3$	อีเทอร์	60	8
$CH_3-NH-CH_2-CH_3$	เอมีนทุติยภูมิ	59	37
$CH_3CH_2CH_2-NH_2$	เอมีนปฐมภูมิ	59	48
$CH_3CH_2CH_2-OH$	แอลกอฮอล์	60	97

ที่มา (Wade, 1987, p. 916)

เอมีนส่วนใหญ่ที่เกิดพันธะไฮโดรเจนได้ สามารถละลายในแอลกอฮอล์และน้ำได้ดี ยกเว้นกรณีเอมีนที่มีหมู่เอริลจะไม่ละลาย ตารางที่ 1.2 – 1.4 จะแยกชนิดของเอมีนไว้เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 1.2 จุดหลอมเหลว จุดเดือด และการละลายน้ำของเอมีนปฐมภูมิ

ชื่อ	โครงสร้าง	มวลโมเลกุล	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	การละลายน้ำ g/100 g น้ำ
เมทิลามีน (methylamine)	CH_3NH_2	31	-93	-7	ละลายได้ดี
เอทิลามีน (ethylamine)	$CH_3CH_2NH_2$	45	-81	17	∞
นอร์มอล-โพรพิลามีน (n-propylamine)	$CH_3CH_2CH_2NH_2$	59	-83	49	∞
ไอโซโพรพิลามีน (isopropylamine)	$(CH_3)_2CHNH_2$	59	-101	33	∞
นอร์มอล-บิวทิลามีน (n-butylamine)	$CH_3CH_2CH_2CH_2NH_2$	73	-50	77	∞
ไอโซบิวทิลามีน (isobutylamine)	$(CH_3)_2CHCH_2NH_2$	73	-86	68	∞
บิวทิลามีนทุติยภูมิ (sec-butylamine)	$CH_3CH_2CH(NH_2)CH_3$	73	-104	63	∞
บิวทิลามีนตติยภูมิ (tert-butylamine)	$(CH_3)_3CNH_2$	73	-68	45	∞
ไซโคลเฮกซิลามีน (cyclohexylamine)	$cyclo-C_6H_{11}NH_2$	99	—	134	ละลายได้เล็กน้อย
เบนซิลามีน (benzylamine)	$C_6H_5CH_2NH_2$	107	—	185	∞
แอลลิลามีน (allylamine)	$CH_2=CH-CH_2NH_2$	57	—	53	ละลายได้มาก
อะนิลีน (aniline)	$C_6H_5NH_2$	93	-6	184	3.7

ที่มา (Wade, 1987, p. 916)

ตารางที่ 1.3 จุดหลอมเหลว จุดเดือด และการละลายน้ำของเอมีนทุติยภูมิ

ชื่อ	โครงสร้าง	มวลโมเลกุล	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	การละลายน้ำ g/100 g น้ำ
ไดเมทิลามีน (dimethylamine)	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	45	-96	7	ละลายได้ดี
เอทิลเมทิลามีน (ethylmethylamine)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NHCH}_3$	59	—	37	ละลายได้ดี
ไดเอทิลามีน (diethylamine)	$(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{NH}$	73	-42	56	ละลายได้ดี
ได-นอร์มอล-โพรพิลลามีน (di- <i>n</i> -propylamine)	$(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2)_2\text{NH}$	101	-40	111	ละลายได้เล็กน้อย
ไดไอโซโพรพิลลามีน (diisopropylamine)	$[(\text{CH}_3)_2\text{CH}]_2\text{NH}$	101	-61	84	ละลายได้เล็กน้อย
ได-นอร์มอล-บิวทิลลามีน (di- <i>n</i> -butylamine)	$(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2)_2\text{NH}$	129	-59	159	ละลายได้เล็กน้อย
เอ็น-เมทิลอะนิลีน (<i>N</i> -methylaniline)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NHCH}_3$	107	-57	196	ละลายได้เล็กน้อย
ไดฟีนิลามีน (diphenylamine)	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$	169	54	302	ไม่ละลาย

ที่มา (Wade, 1987, p. 916)

ตารางที่ 1.4 แสดงจุดหลอมเหลว จุดเดือด และการละลายน้ำของเอมีนตติยภูมิ

ชื่อ	โครงสร้าง	มวลโมเลกุล	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	การละลายน้ำ g/100 g น้ำ
ไตรเมทิลามีน (trimethylamine)	$(\text{CH}_3)_3\text{N}$	59	-117	3.5	91
ไตรเอทิลามีน (triethylamine)	$(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}$	101	-115	90	14
ไตร-เอ็น-โพรพิลลามีน (tri- <i>n</i> -propylamine)	$(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$	143	-94	156	ละลายได้เล็กน้อย
เอ็น,เอ็น-ไดเมทิลอะนิลีน (<i>N,N</i> -dimethylaniline)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{N}(\text{CH}_3)_2$	121	2	194	1.4
ไตร-ฟีนิลามีน (triphenylamine)	$(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{N}$	251	126	365	ไม่ละลาย

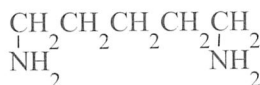
ที่มา (Wade, 1987, p. 916)

2. กลิ่นของเอมีน

สมบัติทางกายภาพอีกประการหนึ่งของสารประกอบพวกเอมีนก็คือ มีกลิ่นที่คล้ายคาวปลา หรือ ปลาเน่า (rotting fish) ไดเอมีน (diamines) บางตัว เช่น 1,4-บิวเทนไดเอมีน และ 1,5-เพนเทนไดเอมีน ซึ่งมีกลิ่นฉุนแสบจมูก



1,4-บิวเทนไดเอมีน
(1,4-butanediamine)



1,5-เพนเทนไดเอมีน
(1,5-pentanediamine)

ความเป็นเบสของเอมีน

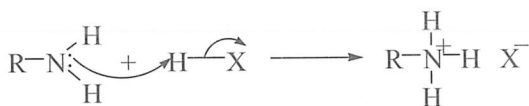
เอมีนจัดเป็นนิวคลีโอไฟล์ และลิวอิสเบส เพราะมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่ไนโตรเจน สามารถสร้างพันธะกับอิเล็กโตรไฟล์อื่นๆ ได้ นอกจากนี้ยังรับโปรตอนจากกรดได้อีกด้วย ดังแสดง

ปฏิกิริยาแสดงความเป็นนิวคลีโอไฟล์ของเอมีน



นิวคลีโอไฟล์ อิเล็กโตรไฟล์ พันธะ N-C ถูกสร้างขึ้น

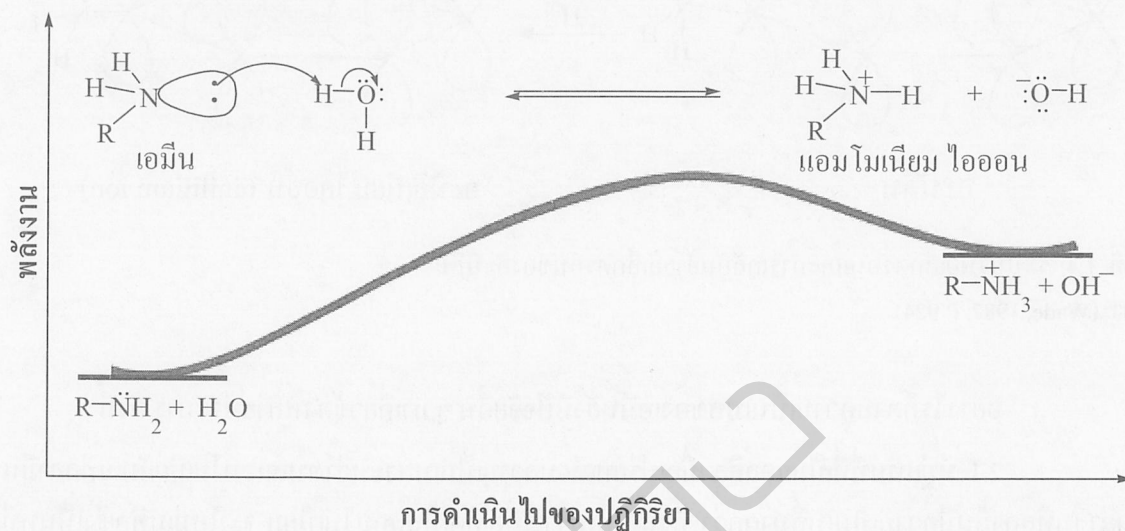
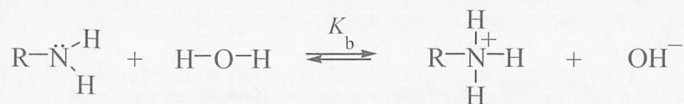
ปฏิกิริยาแสดงความเป็นเบสของเอมีน



เบส กรด แอมโมเนียมไอออน

1. การวัดค่าความเป็นเบสของเอมีน

เนื่องจากเอมีนมีความเป็นเบสแก่ ดังนั้นสารละลายของเอมีนก็จะเป็นเบสด้วย เอมีนสามารถดึงโปรตอนจากน้ำให้แอมโมเนียมไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบผันกลับได้ ดังนั้นค่าคงที่สมดุลจะเรียกว่า ค่าคงที่การแตกตัวของเบส (base-dissociation constant, K_b) สำหรับเอมีนจะใช้ค่า K_b



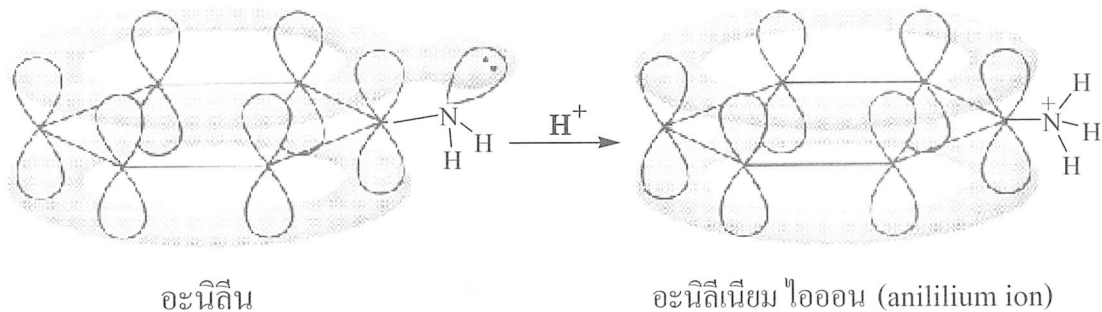
รูปที่ 1.3 ไดอะแกรมแสดงพลังงานการดึงโปรตอนของเอมีน
ที่มา (Wade, 1987, p.924)

$$K_b = \frac{[\text{RNH}_3^+][\text{OH}^-]}{[\text{RNH}_2]} \quad \text{p}K_b = -\log_{10} K_b$$

ค่า K_b ที่พบจะน้อยกว่า 10^{-3} และสมดุลของปฏิกิริยาจะเลื่อนมาทางซ้าย จะอย่างไรก็ตาม สารละลายเอมีนมีฤทธิ์เป็นเบสและเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากแดงเป็นน้ำเงิน ค่า K_b และ $\text{p}K_b$ ของเอมีนต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 1.5

2. ผลต่อความเป็นเบส

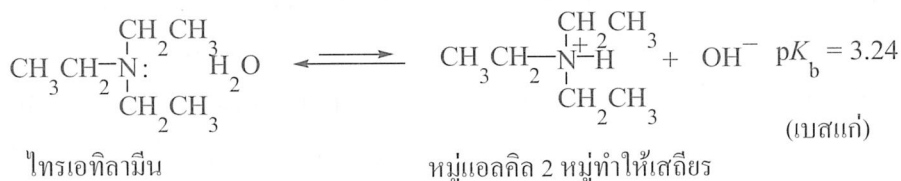
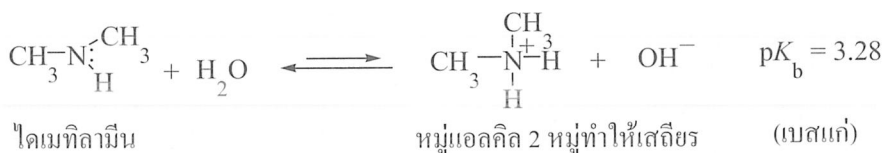
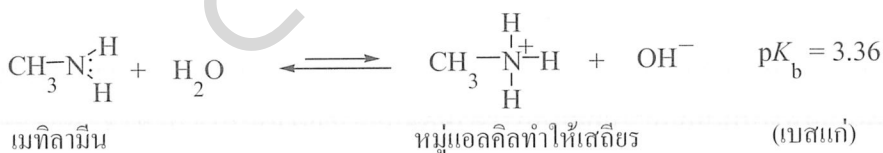
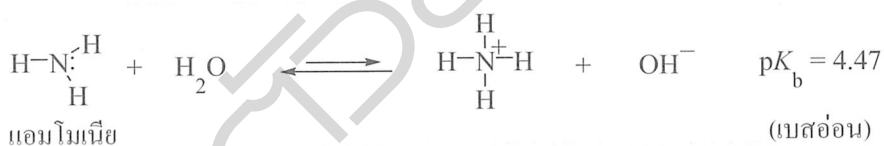
จากรูปที่ 1.3 แสดงไดอะแกรมพลังงานปฏิกิริยาระหว่างเอมีนกับน้ำ ซึ่งด้านซ้ายเป็นเอมีนอิสระ และด้านขวามือ คือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์และไฮดรอกไซด์ ถ้าพิจารณาอะนิลีนพบว่าออร์บิทัลของอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่ไนโตรเจน จะเลื่อนซ้อนกับออร์บิทัลของวงเบนซีน แต่เมื่ออะนิลีนเสียอิเล็กตรอนแก่โปรตอน เกิดเป็นอะนิลิเนียม (anilinium) พบว่าไพอิเล็กตรอนมีจำนวน $4n+2$ ซึ่งเป็นแอโรแมติก ดังนั้นอะนิลีนจึงมีความเป็นเบสสูงมาก เนื่องจากต้องการจะให้อิเล็กตรอนคู่ที่ไนโตรเจนแล้วกลายเป็นอะนิลิเนียมซึ่งเป็นแอโรแมติกที่สมบูรณ์นั่นเอง



รูปที่ 1.4 ระบบไพอิเล็กตรอนและการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนของอะนิลีน
ที่มา (Wade, 1987, P.924)

อย่างไรก็ตามความเป็นเบสของเอมีนยังมีปัจจัยอื่นๆ มาเกี่ยวข้องหลายประการ ดังนี้

2.1 หมู่แทนที่ที่เป็นแอลคิล เมื่อเปรียบเทียบความเป็นเบสระหว่างเบสแอมโมเนียกับเมทิลามีนพบว่า เมทิลามีนมีความเป็นเบสมากกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อเกิดเป็นแอมโมเนียม จะมีหมู่เมทิลซึ่งเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอนช่วยทำประจุบวกบนไนโตรเจนเสถียรมากขึ้น ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าถ้ามีหมู่แอลคิลเพิ่มมากขึ้นเท่าใด หมู่ดังกล่าวจะส่งอิเล็กตรอนไปที่ไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น ผลก็คือทำให้แอมโมเนียมเสถียรดังสมควร



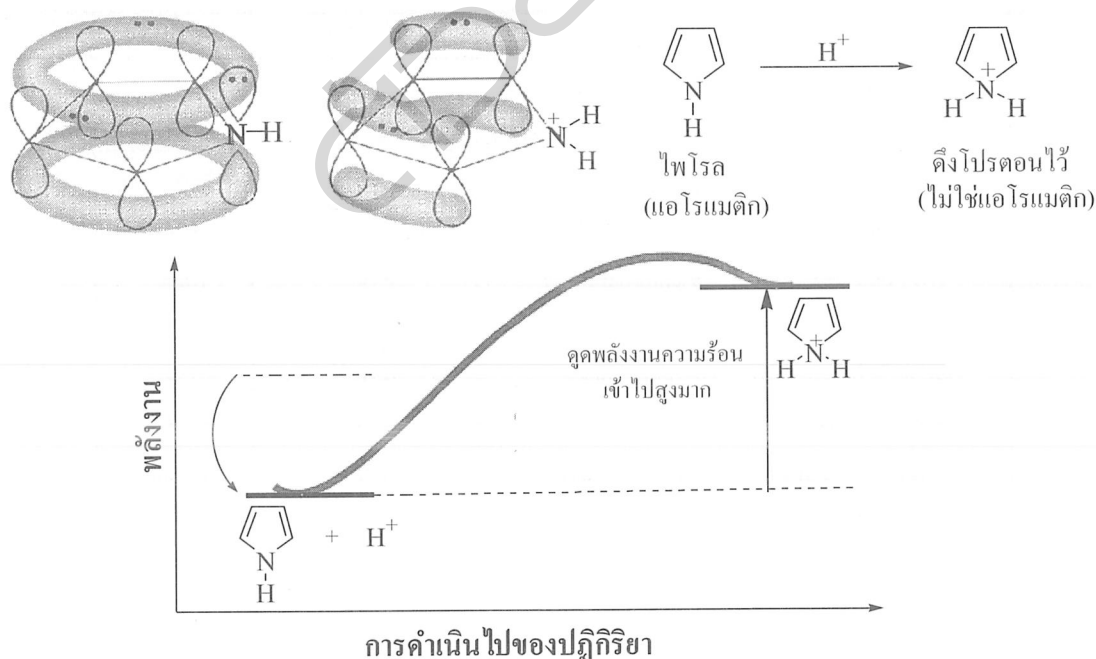
ตารางที่ 1.5 ค่า pK_b ของเอมีน

เอมีน		K_b	pK_b
แอมโมเนีย	(ammonia)	1.8×10^{-5}	4.74
เมทิลามีน	(methylamine)	4.3×10^{-4}	3.36
เอทิลามีน	(ethylamine)	4.4×10^{-4}	3.36
นอร์มอล-เอทิลามีน	(<i>n</i> -propylamine)	4.7×10^{-4}	3.32
ไอโซโพรพิลามีน	(isopropylamine)	4.0×10^{-4}	3.40
นอร์มอล-บิวทิลามีน	(<i>n</i> -butylamine)	4.8×10^{-4}	3.32
ไซโคลเฮกซิลามีน	(cyclohexylamine)	4.7×10^{-4}	3.33
เบนซิลามีน	(benzylamine)	2.0×10^{-5}	4.67
ไดเมทิลามีน	(dimethylamine)	5.3×10^{-4}	3.28
ไดเอทิลามีน	(diethylamine)	9.8×10^{-4}	3.01
ได-นอร์มอล-ไอโซโพรพิลามีน	(di- <i>n</i> -isopropylamine)	10.0×10^{-4}	3.00
ไตรเมทิลามีน	(trimethylamine)	5.5×10^{-5}	4.26
ไตรเอทิลามีน	(triethylamine)	5.7×10^{-4}	3.24
ไตร-นอร์มอล-โพรพิลามีน	(tri- <i>n</i> -propylamine)	4.5×10^{-4}	3.35
อะนิลีน	(aniline)	4.0×10^{-10}	9.40
เอ็น-เมทิลอะนิลีน	(<i>N</i> -methylaniline)	6.1×10^{-10}	9.21
เอ็น,เอ็น-ไดเมทิลอะนิลีน	(<i>N,N</i> -dimethylaniline)	11.6×10^{-10}	8.94
พารา-ทอลูอิดีน	(<i>p</i> -toluidine)	1.2×10^{-9}	8.92
พารา-ฟลูออโรอะนิลีน	(<i>p</i> -fluoroaniline)	4.4×10^{-10}	9.36
พารา-คลอโรอะนิลีน	(<i>p</i> -chloroaniline)	1×10^{-10}	10.00
พารา-โบรมออะนิลีน	(<i>p</i> -bromoaniline)	7×10^{-11}	10.15
พารา-ไอโอดออะนิลีน	(<i>p</i> -iodoaniline)	6×10^{-11}	10.22
พารา-อะนิสิดีน	(<i>p</i> -anisidine)	2×10^{-9}	8.70
พารา-ไนโตรอะนิลีน	(<i>p</i> -nitroaniline)	1×10^{-13}	13.00
ไพโรล	(pyrrole)	1×10^{-15}	~15.00
ไพโรลิดีน	(pyrrolidine)	1.9×10^{-3}	2.73
อิมิดาโซล	(imidazole)	8.9×10^{-8}	7.05
ไพรีดีน	(pyridine)	1.8×10^{-9}	8.75
ไพเพอริดีน	(piperidine)	1.3×10^{-3}	2.88

ถ้าเป็นดังนี้แล้วเอมีนทุติยภูมิและตติยภูมิ ที่มีหมู่แอลคิล 2 และ 3 หมู่คงมีความเป็นเบสมากกว่าเอมีนปฐมภูมิ จริงๆ แล้วไม่ใช่เพราะจะมีผลของการละลาย (solvation effect) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย กล่าวคือ สมมติว่าแอมโมเนียมละลายน้ำ น้ำก็จะเข้าไปล้อมรอบได้มากเพราะไม่มีส่วนของหมู่แอลคิลเข้ามาขัดขวาง ทำให้มีพลังงานชดเชยอันมากเกิดเสถียรภาพตามมา ในทางตรงกันข้ามกรณี เอมีนปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ จะมีหมู่แอลคิลเข้ามาขัดขวางการเกิดชดเชยอันของน้ำ จากข้อมูลพบว่าค่าความเป็นเบสของเอมีนทั้ง 3 ชนิดนี้ไม่แตกต่างกันเท่าไร

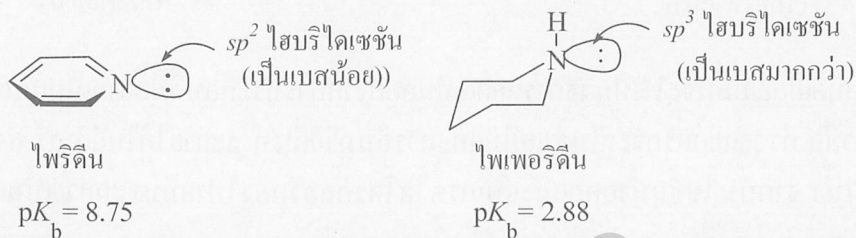
2.2 ผลของเรโซแนนซ์ จากตารางที่ 1.5 แสดงให้เห็นว่า แอโรแมติกเอมีนมีความเป็นเบสมากกว่าแอลิแฟติกเอมีน ทั้งนี้เพราะเหตุผลที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพที่เกิดจากรีโซแนนซ์ของอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวบนไนโตรเจน รูปที่ 1.4 ชี้ให้เห็นว่าเอมีน (อะนิลีน) มีความเป็นเบสน้อยกว่าแอลิแฟติกเอมีน เพราะมีเสถียรภาพของอิเล็กตรอนคู่บนไนโตรเจนหลอมซ้อนกับออร์บิทัลของวงเบนซีน จึงทำให้อิเล็กตรอนนี้ให้ออกไปสร้างพันธะได้ยาก

นอกจากนี้ผลของเรโซแนนซ์ต่อความเป็นเบสยังเกิดกับไพโรล (pyrrole) ซึ่งเป็นเบสอ่อนมาก ($pK_b = 15$) ถ้าพิจารณาอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวบนไนโตรเจนของไพโรลพบว่า จะเข้าไปเคลื่อนที่ในวงเพื่อให้ความเป็นแอโรแมติก จึงยากที่จะให้อิเล็กตรอนคู่นั้นออกมาสร้างพันธะกับโปรตอนเพราะจะสูญเสียความเป็นแอโรแมติกดังแสดง



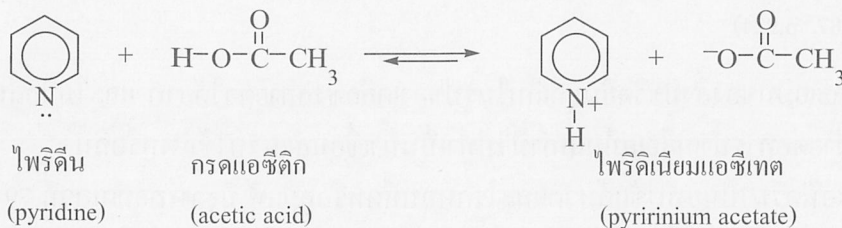
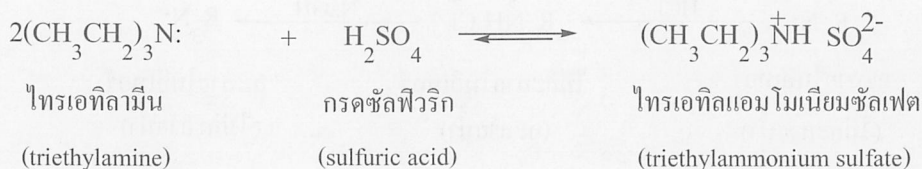
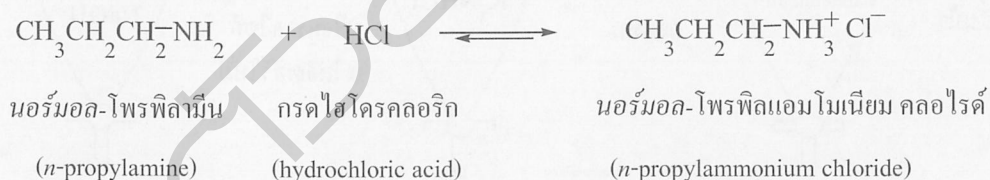
รูปที่ 1.5 ระบบไพออิเล็กตรอนของวงไพโรลและพลังงานเนื่องจากการดิงอิเล็กตรอน
ที่มา (Wade, 1987, p.926)

2.3 ผลของไฮบริไดเซชัน ในโคโรเจนของเอมีนมีไฮบริไดเซชันแตกต่างกันออกไป เช่น ไพรีดีน เป็นแบบ sp^2 ไฮบริไดซ์ ส่วนในไพเพอริดีน เป็นแบบ sp^3 ดังนั้นลักษณะของเอส (s-character) ก็แตกต่างกันไปด้วย กล่าวคือลักษณะของเอส ใน sp^3 มี 25% ส่วนใน sp^2 มี 33.3% ดังนั้นอิเล็กตรอนคู่บนในโคโรเจนของไพรีดีนจะถูกดึงให้อยู่ใกล้กับนิวเคลียสมากขึ้น และไม่ยอมให้ไปที่โปรตอนได้ง่าย จึงทำให้ไพรีดีนมีความเป็นเบสน้อยกว่าไพเพอริดีนซึ่งมีลักษณะของเอส เพียง 25% ดังแสดง



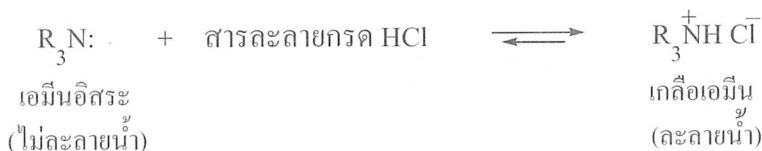
เกลือของเอมีน

เอมีนทำปฏิกิริยากับกรดแก่จะได้เกลือ ที่เรียกว่าเกลือของเอมีน (amine salt) ประกอบด้วยประจุบวกของแอมโมเนียมและประจุลบของอนุมูลกรด การเรียกชื่อเกลือเอมีนให้ใช้คำนำหน้าด้วยหมู่แอลคิล แอมโมเนียม ตามด้วยไอออนลบของกรด เช่น เอ็น-โพรพิลแอมโมเนียมคลอไรด์ หรือ ไตรเอทิลแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นต้น

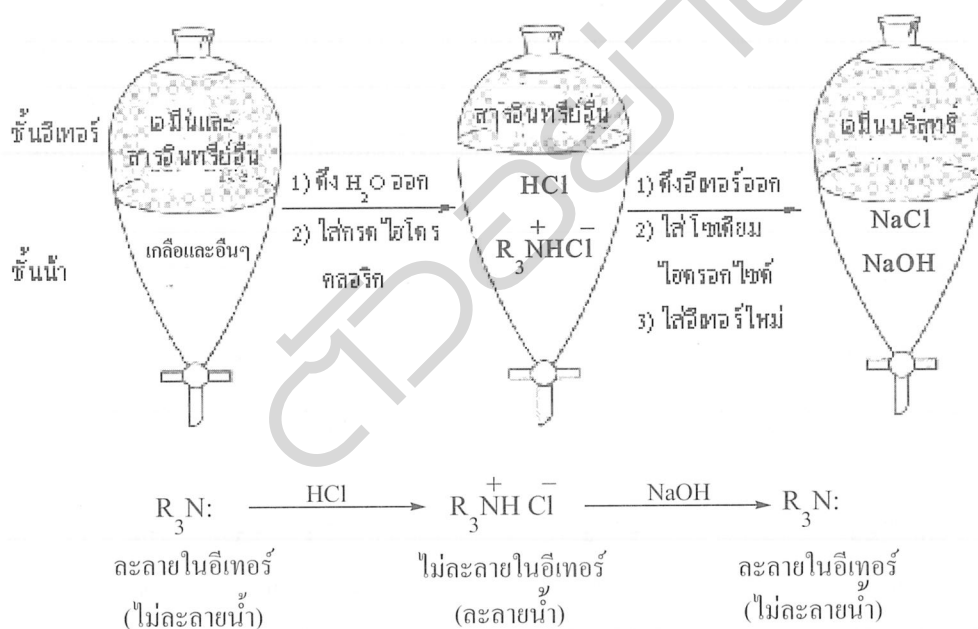


เป็นสารประกอบไอออนิกของแข็งไม่ระเหยมีจุดหลอมเหลวสูง มีความสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าเอมีนธรรมดา แต่ละลายได้เล็กน้อยในตัวทำละลายอินทรีย์ เกลือเอมีนนำมาใช้ประโยชน์ในการแยก

และบอกลักษณะของเอมีนได้ เช่น เอมีนที่มีจำนวนคาร์บอนมากกว่า 6 อะตอมขึ้นไป มักจะไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อนำเอมีนนี้ทำปฏิกิริยากับกรดเจือจางให้เกิดเป็นเกลือแอมโมเนียม พบว่าจะละลายน้ำได้ ซึ่งวิธีการนี้เป็นการทดสอบว่าสารเป็นเอมีน



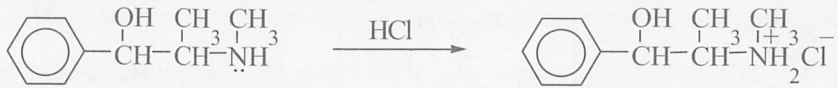
การเกิดเกลือเอมีนจะใช้เป็นวิธีการแยกเอมีนออกจากสารประกอบที่มีความเป็นเบสน้อย ดังแสดงรูปที่ 1.6 กล่าวคือ กรวยแยกแรกจะเห็นว่าเอมีนและสารอินทรีย์อื่นๆ ละลายได้ในอีเทอร์ ส่วนที่เป็นเกลือก็ละลายในชั้นน้ำ จากนั้นไขชั้นน้ำออกและเติมกรดไฮโดรคลอริกลงไป เอมีนจะกลายเป็นเกลือและแยกตัวออกมาจากสารอินทรีย์อื่น และมาละลายอยู่ในชั้นกรด (กรวยแยกกลางด้านล่าง) ต่อมาดึงอีเทอร์ออกและเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไป เอมีนบริสุทธิ์จะแยกชั้นออกมา



รูปที่ 1.6 การสกัดเอมีนออกจากสารผลิตภัณฑ์ผสม
ที่มา (Wade, 1987, p.924)

ยาและเอมีนของสิ่งมีชีวิตอื่นมักเก็บในรูปของเกลือซึ่งสลายตัวได้ยาก และไม่มีกลิ่นคล้ายปลาเน่าด้วย ดังนั้นจึงง่ายต่อการนำเกลือเอมีนเหล่านี้ไปทำเป็นน้ำเชื่อมสำหรับใช้ฉีดยาหรือกิน

สารเอพิโดริน เป็นยาที่ใช้แก้หัดและโรคหอบหืดหรือภูมิแพ้ มีจุดหลอมเหลวที่ 79°C และมีกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนา ตลอดจนถูกออกซิไดส์ง่าย วิธีแก้ปัญหาคือการนำมาทำให้เป็นเกลือ เอพิโดรินไฮโดรคลอไรด์ ซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่ 217°C และไม่ถูกออกซิไดส์โดยง่าย ไร้กลิ่น จากสมบัตินี้เองจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ทางการแพทย์



เอเฟดรีน (ephedrine)

เอเฟดรีนไฮโดรคลอไรด์

จุดหลอมเหลว 79 °C มีกลิ่นเหม็น

(ephedrine hydrochloride)

ออกซิไดส์ง่าย

จุดหลอมเหลว 217 °C ไม่มีกลิ่น เสถียร

ปฏิกิริยาของเอมีน

ภาพรวมเกี่ยวกับปฏิกิริยาของเอมีนมี 3 ประการ คือ (1) ปฏิกิริยากรด-เบส (2) ปฏิกิริยากับแอลดีไฮด์หรือคีโตนแล้วได้อิมีน และ (3) ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์ของอะนิลีน ซึ่งทั้ง 3 ปฏิกิริยานี้ อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวบนไนโตรเจน จะมีบทบาทสำคัญ เช่น การสร้างพันธะใหม่ที่เกิดขึ้น

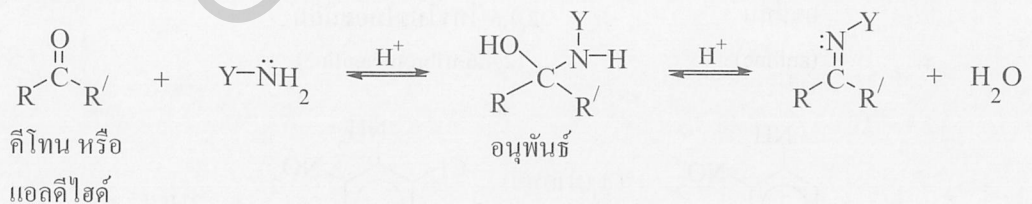
1. ปฏิกิริยาความเป็นเบสของเอมีน

จากการศึกษาความเป็นเบสของเอมีน พบว่าแอลคิลเอมีนมีค่า pK_b ระหว่าง 3-4 ส่วนเอริลเอมีนจะเป็นเบสที่อ่อนกว่าเพราะอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวบนไนโตรเจนจะเข้าไปดีโลคัลไลซ์ในวงเบนซีน จึงมีค่า pK_b อยู่ระหว่าง 9-10

2. ปฏิกิริยากับคีโตนและแอลดีไฮด์: นิวคลีโอไฟล์

เมื่อเอมีนเข้าชนคีโตนหรือแอลดีไฮด์จะได้อิมีนหรืออีนามีน ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของคีโตน หรือแอลดีไฮด์ ส่วนจะเรียกเป็นอะไรนั้นขึ้นอยู่กับส่วนที่เกาะกับหมู่อะมิโน อย่างไรก็ตามกลไกการเกิดปฏิกิริยาโดยละเอียดแสดงไว้ในเคมีอินทรีย์ 1

ตัวอย่างปฏิกิริยา



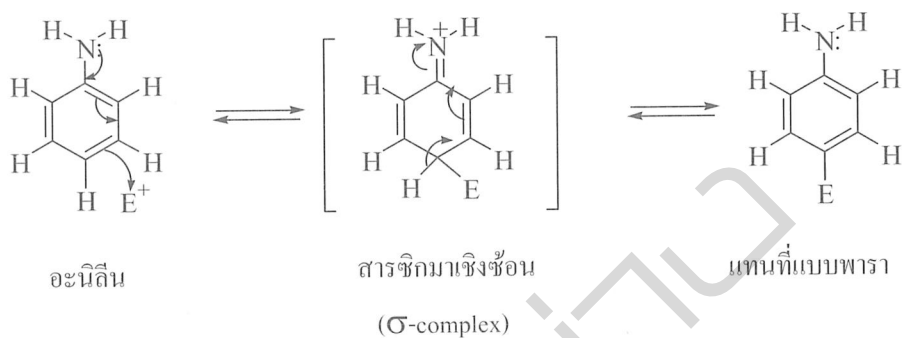
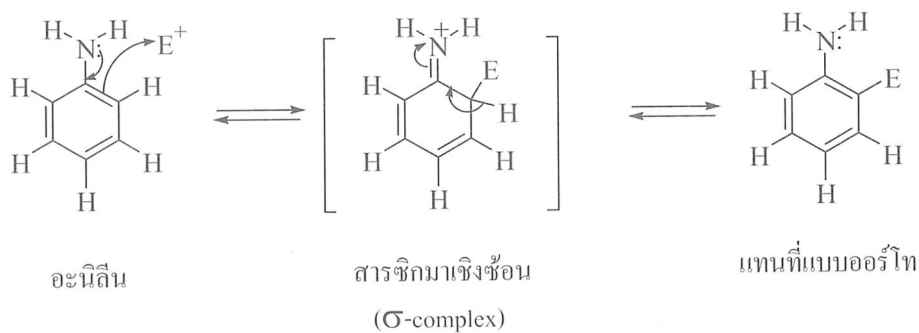
Y = H, R ให้ อิมีน

Y = OH ให้ ออกซิม

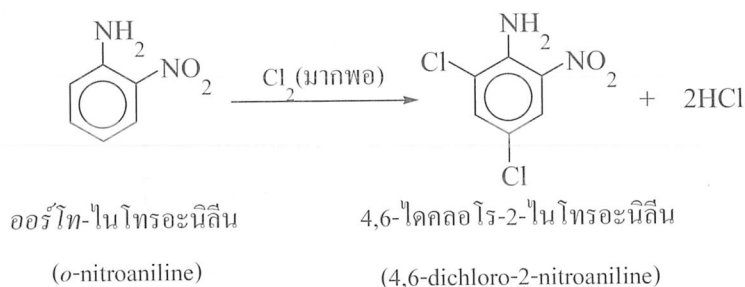
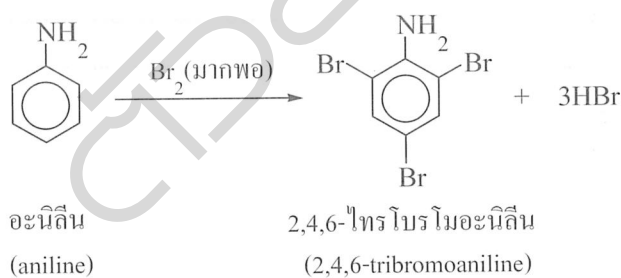
Y = NHR ให้ ไฮดราโซน

3. บทบาทการเป็นหมู่แทนที่

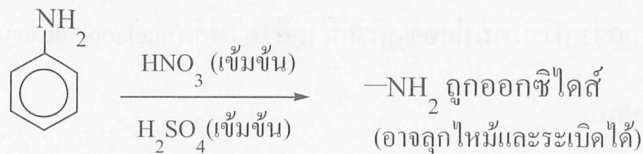
สำหรับปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์นั้น อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของไนโตรเจนจะช่วยให้อินเทอร์มีเดียตเกิดปฏิกิริยาเสถียรได้ นอกจากนี้หมู่อะมิโนจะเป็นตัวชี้ให้อิเล็กโตรไฟล์เข้าที่ตำแหน่งออร์โทและพารา



การเกิดปฏิกิริยาเอสโตจินชันของอะนิลีนไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเลย ทั้งนี้เป็นเพราะอิทธิพลของอิเล็กตรอนคู่บนไนโตรเจนของหมู่อะมิโนเคลื่อนที่เข้าไปในวงเบนซีน จะทำให้วงไวต่อปฏิกิริยามากขึ้น

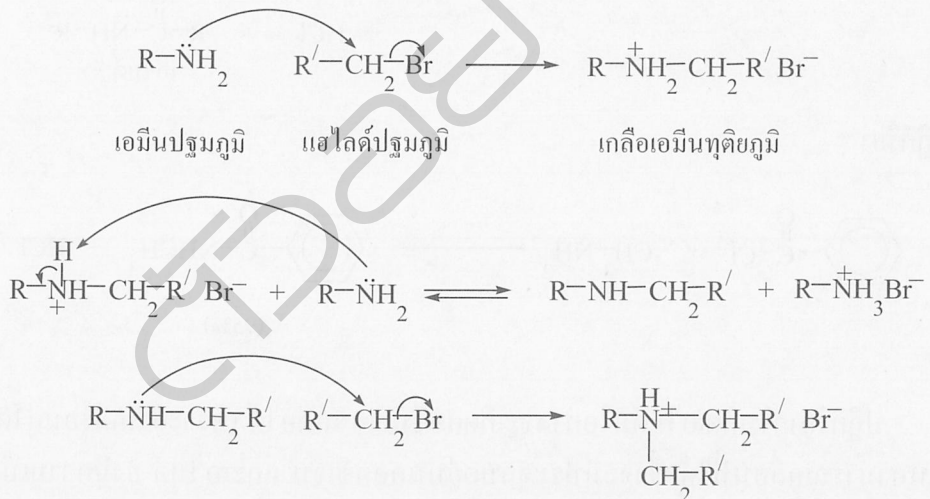


ในปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ จะต้องไม่ใช้กรดเนื่องจากหมู่อะมิโนจะดึงโปรตอนได้เกลือแอมโมเนียม หมู่ NH_3^+ ที่เกิดขึ้นจะต่ออยู่กับวงเบนซีนซึ่งเป็นหมู่ที่ไม่กระตุ้น (deactivating group) จึงทำให้วงเบนซีนเฉื่อยต่อปฏิกิริยาแทนที่ นอกจากนี้การใช้กรดไนตริกและซัลฟูริกจะทำให้อะนิลีนเกิดออกซิเดชันและระเบิดได้



4. ปฏิกิริยาแอลคิลเลชันของเอมีนโดยแอลคิลแฮไลด์

เอมีนทำปฏิกิริยากับแอลคิลแฮไลด์ปฐมภูมิ จะได้เกลือแอมโมเนียมแฮไลด์มีหมู่แอลคิลเกาะ (alkylated ammonium halides) สำหรับกลไกการเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบ S_N2 และจะใช้แอลคิลแฮไลด์ 2 โมเลกุล ดังนั้นปฏิกิริยานี้จะไม่เกิดกับแอลคิลแฮไลด์ทุติยภูมิ แม้กระทั่งแอลคิลแฮไลด์ทุติยภูมิก็จะได้ผลผลิตร้อยละน้อย เพราะเกิดกลไกแบบการกำจัดออกมาดีกว่าแทนที่



ข้อเสียของปฏิกิริยานี้ก็คือ จะไม่สามารถควบคุมให้เกิดแอลคิลเลชันเพียงครั้งเดียวได้ แต่จะเกิดต่อเนื่องกันไป จนได้แอมโมเนียมไอออน

5. ปฏิกิริยาแอซิติลเลชันของเอมีนโดยกรดคลอไรด์

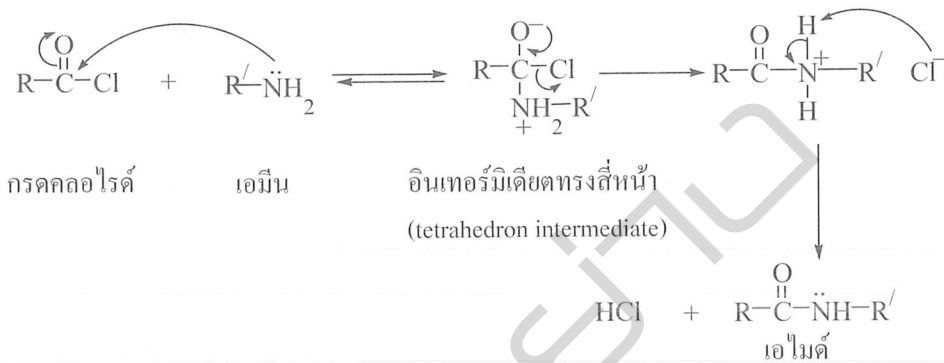
ทั้งเอมีนปฐมภูมิและทุติยภูมิสามารถเกิดปฏิกิริยากับแอซิดแฮไลด์และเกิดเป็นเอไมด์ได้ แอซิดแฮไลด์ที่นิยมใช้ได้อย่างเหมาะสมคือ แอซิดคลอไรด์หรือที่เรียกว่ากรดคลอไรด์ การเตรียมกรดคลอไรด์ทำได้โดยใช้กรดคาร์บอกซิลิกทำปฏิกิริยากับไทโอนิลคลอไรด์



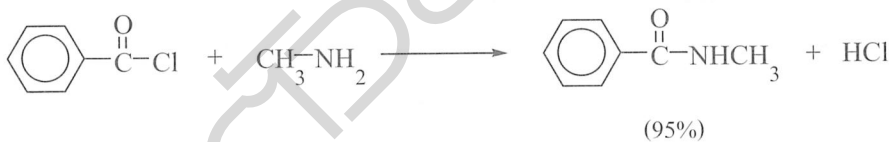
กรดอินทรีย์ ไทโอนิลคลอไรด์ กรดคลอไรด์

เอมีนจะเข้าชนหมู่คาร์บอนิลของกรดคลอไรด์ได้โดยง่ายกว่าการเข้าชนแอลดีไฮด์ และคีโตน ทั้งนี้เป็นเพราะกรดคลอไรด์มีอะตอมคลอรีนซึ่งมีค่าสภาพไฟฟ้าลบสูงจึงดึงอิเล็กตรอน ส่วนใหญ่ออกจากหมู่คาร์บอนิล จึงทำให้มีความเป็นอิเล็กโตรไฟล์สูง การเข้าชนของเอมีนจะง่ายขึ้น อินเทอร์มีเดียตที่เกิดขึ้น คือสารเชิงซ้อนทรงสี่หน้า (tetrahedral complex) จากนั้นคลอรีนเป็นหมู่ผละออกที่ดีโดยอิเล็กตรอนที่ออกซิเจนเป็นตัวไล่ออกมาเกิดสารผลิตภัณฑ์เป็นเอไมด์ กระบวนการที่มีการเพิ่มเข้าด้วยนิวคลีโอไฟล์แล้วไล่หมู่ผละออก เช่นนี้เรียกว่า การแทนที่แอซิดด้วยนิวคลีโอไฟล์ (nucleophilic acyl substitution)

การเกิดแอซิดเลชันของเอมีน



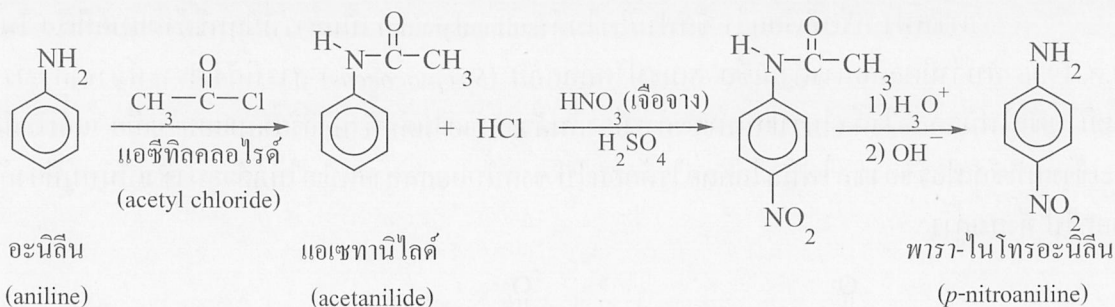
ตัวอย่างปฏิกิริยา



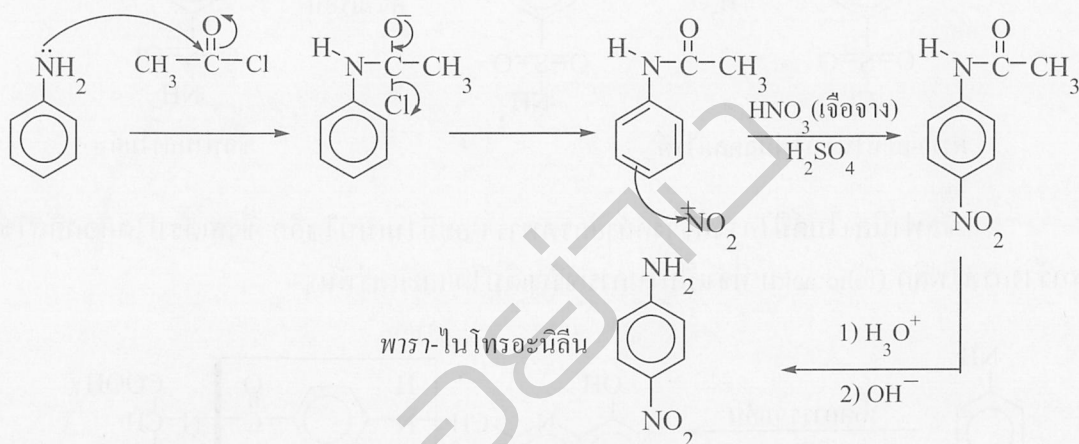
ปฏิกิริยาการเกิดเอไมด์มีโอกาสจะเกิดแอซิดเลชันต่อได้ เพราะอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวบนไนโตรเจนสามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งจะมีประจุลบอยู่บนออกซิเจน และเอไมด์ ยังมีความเป็นเบสและนิวคลีโอไฟล์น้อยกว่าเอมีน ดังสมการ



จากข้อได้เปรียบที่เอไมด์มีความเป็นเบสเล็กน้อยนี้ สามารถนำมาใช้เตรียมพาราไนโตรอะนิลีนได้ โดยนำอะนิลีนที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยากับกรด มาทำแอซิดเลชันก่อนเพื่อให้เกิดเป็นเอไมด์ ซึ่งเอไมด์จันทนต่อสภาพกรด จากนั้นทำปฏิกิริยาไนเตรชัน โดยใช้กรดไนตริก/กรดซัลฟิวริก เมื่อได้พาราไนโตรแล้ว ถ้าต้องการให้หมู่อะมิโนกลับคืนมาอีก จะต้องแยกสลายเอไมด์ด้วยน้ำในภาวะกรดและเบส ตามลำดับ

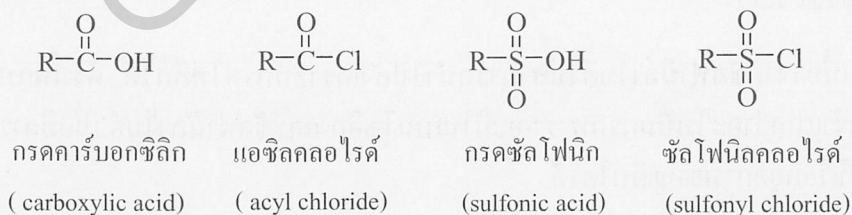


กลไกการเกิดปฏิกิริยา

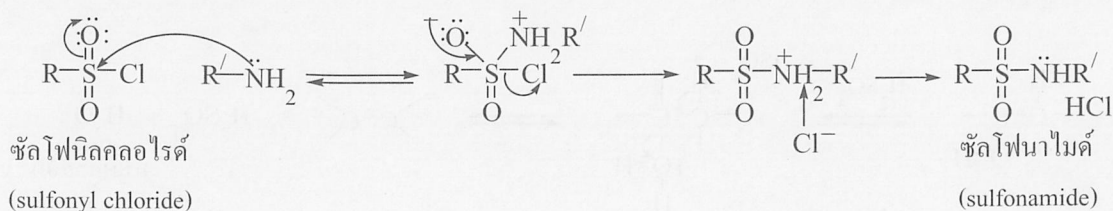


6. ปฏิกิริยาของเอมีนกับซัลโฟนิลคลอไรด์

ซัลโฟนิลคลอไรด์เป็นอิเล็กโตรไฟล์ที่ดี หรือถ้าจะพูดอีกอย่างหนึ่งสารนี้เป็นกรดคลอไรด์ของกรดซัลโฟนิก



เอมีนเข้าชนที่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์อิเล็กตรอนออกไปเกิดประจุลบที่ออกซิเจน ประจุลบจะไล่คลอรีนออกมาได้สารที่มีโครงสร้างคล้ายเอไมด์ เอไมด์ของกรดซัลโฟนิก เรียกว่า ซัลโฟนาไมด์ (sulfonamides) ปฏิกิริยานี้คล้ายกับการเกิดซัลโฟเนตเอสเทอร์ ดังสมการ



เคมีอินทรีย์ขั้นต้น 2

เคมีอินทรีย์ขั้นต้น 2 ได้ลำดับความสำคัญต่อยอดจากตำราเคมีอินทรีย์ขั้นต้น 1 มีเนื้อหาเกี่ยวกับหลักการเบื้องต้นที่สำคัญของเคมีอินทรีย์ไว้ สามารถใช้เป็นพื้นฐานความรู้ในการศึกษาเคมีอินทรีย์ขั้นสูงได้เป็นอย่างดี ได้นำเสนอสารประกอบอินทรีย์ของอัลเฟอร์และฟอสฟอรัสและสารประกอบที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ พวกที่มีออกซิเจนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบไว้ สารทั้งสองกลุ่มมีบทบาทสำคัญในระบบสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก

การศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพเหล่านี้ทำให้เกิดแนวคิดในการนำความรู้ไปใช้บูรณาการชีวิตประจำวันได้เพราะปรากฏการณ์ที่อยู่รอบตัวส่วนหนึ่งล้วนอธิบายได้ด้วยเคมีอินทรีย์ทั้งสิ้นนั่นเอง



ดวงกมลพับลิชชิ่ง
นำเสนอหนังสือดี มีคุณค่า

เคมีอินทรีย์ขั้นต้น 2

ISBN : 978-616-511-117-1



ราคา 195 บาท