

เอกสารประกอบการสอน

รายวิชา ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2

อาจารย์ บุญมี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2558

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารประกอบการสอน
รายวิชา ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2

อภาพร บุญมี
วท.ด. (เคมี)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2558

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

คำนำ

รายวิชา 4022306 ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 เป็นรายวิชาบังคับของนักศึกษาระดับปริญญาตรีในหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี และครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ แขนงวิชาเคมี โดยรายวิชานี้เป็นวิชาที่ต่อยอดความรู้จากวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1 อันจะช่วยเพิ่มทักษะในการใช้วัสดุอุปกรณ์เครื่องแก้วตลอดจนเครื่องมือในการวิเคราะห์ให้กับผู้เรียนได้มากยิ่งขึ้น และยังเน้นให้ผู้เรียนประมวลความรู้ทางเคมีอินทรีย์ทั้งทางทฤษฎี และปฏิบัติมาใช้ในการอธิบายผลการทดลองซึ่งจะช่วยฝึกผู้เรียนให้เกิดทักษะและกระบวนการด้านการวางแผน การสังเกต การคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ และยังช่วยเสริมความรู้ความเข้าใจในการเรียนวิชาเคมีอินทรีย์ 2 ในภาคทฤษฎีให้มากยิ่งขึ้น

สำหรับเนื้อหาในวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 นี้ ประกอบไปด้วย ความรู้พื้นฐานในการทำปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ ปฏิกริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของสารประกอบอะลิฟาติก ปฏิกริยาแทนที่ของสารประกอบอะโรมาติก ปฏิกริยาแทนที่และปฏิกริยาการเติมบนคาร์บอนิล คาร์บอน ปฏิกริยาการขจัด และปฏิกริยาการเติมแบบอิเล็กโตรฟิลิก ซึ่งผู้เรียนจะได้ทักษะและองค์ความรู้เกี่ยวกับปฏิกริยาเคมีและปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อความว่องไวของปฏิกริยาเคมีอินทรีย์ การสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ การแยกสารอินทรีย์ การทำสารอินทรีย์ให้บริสุทธิ์ และการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารอินทรีย์ อย่างครบถ้วน

การเขียนเอกสารประกอบการสอนนี้ ผู้สอนได้อ้างอิงจากแหล่งข้อมูลที่มีคุณภาพทั้งจากเอกสารทางวิชาการ ตำราภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ผู้สอนจึงขอขอบคุณเจ้าของเอกสารตำราที่ใช้อ้างอิงในการจัดทำเอกสารประกอบการสอนฉบับนี้ไว้เป็นอย่างสูง และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารประกอบการสอนนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน และผู้ที่สนใจ ไม่มากก็น้อย

สารบัญ

	หน้า
คำนำ.....	(1)
สารบัญ.....	(3)
สารบัญภาพ.....	(7)
สารบัญตาราง.....	(11)
แผนบริหารการสอนประจำวิชา.....	(13)
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 1.....	1
บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานในการทำปฏิบัติการเคมีอินทรีย์.....	3
1.1 ความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการเคมี.....	3
1.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารเคมี.....	8
1.3 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี.....	17
1.4 การแยกสารอินทรีย์และการทำสารอินทรีย์ให้บริสุทธิ์.....	24
1.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารอินทรีย์ในเบื้องต้น.....	36
1.6 สรุป.....	43
แบบฝึกหัดบทที่ 1.....	44
เอกสารอ้างอิง.....	45
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 2.....	47
บทที่ 2 ปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของสารประกอบอะลิฟาติก.....	49
2.1 สมการทั่วไปของปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์.....	49
2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N1	50
2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N2	52
2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_N1 และ S_N2	54
2.5 การทดลองประจำบท.....	59
ปฏิบัติการที่ 2.1 การสังเคราะห์เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์.....	62
ปฏิบัติการที่ 2.2 ผลของโครงสร้างสารตั้งต้นในปฏิกิริยา S_N1 และ S_N2	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ปฏิบัติการที่ 2.3 ผลของตัวทำละลายในปฏิกิริยา S_N1	76
2.6 สรุป.....	81
แบบฝึกหัดบทที่ 2.....	82
เอกสารอ้างอิง.....	83
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 3.....	85
บทที่ 3 ปฏิกิริยาแทนที่ของสารประกอบอะโรมาติก.....	87
3.1 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_EAr	87
3.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_EAr	92
3.3 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_NAr	96
3.4 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_NAr	100
3.5 การทดลองประจำบท.....	101
ปฏิบัติการที่ 3.1 ผลของหมู่แทนที่ในปฏิกิริยา S_EAr	103
ปฏิบัติการที่ 3.2 การสังเคราะห์อนุพันธ์ 2,4-ไดไนโตรฟีนอลอะนิลีน.....	108
3.6 สรุป.....	115
แบบฝึกหัดบทที่ 3.....	116
เอกสารอ้างอิง.....	117
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 4.....	119
บทที่ 4 ปฏิกิริยาแทนที่และปฏิกิริยาการเติมบนคาร์บอนิลคาร์บอน.....	121
4.1 สมการทั่วไปของปฏิกิริยาแทนที่บนคาร์บอนิลคาร์บอน.....	121
4.2 การใช้ประโยชน์ของปฏิกิริยาแทนที่บนคาร์บอนิลคาร์บอนในการ สังเคราะห์สารอินทรีย์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน.....	123
4.3 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาการเติมบนคาร์บอนิลคาร์บอน.....	126

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การทดลองประจำบท.....	129
ปฏิบัติการที่ 4.1 การสังเคราะห์ไดเบนซาลแอซิโตน.....	135
ปฏิบัติการที่ 4.2 การผลิตยาหม่อง.....	142
ปฏิบัติการที่ 4.3 การผลิตสบู่.....	153
4.5 สรุป.....	159
แบบฝึกหัดบทที่ 4.....	160
เอกสารอ้างอิง.....	161
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 5.....	163
บทที่ 5 ปฏิบัติการการจัด.....	165
5.1 กลไกการเกิดปฏิบัติการการจัดแบบ E2.....	165
5.2 กลไกการเกิดปฏิบัติการการจัดแบบ E1.....	167
5.3 กลไกการเกิดปฏิบัติการการจัดแบบ E1cB.....	168
5.4 การแข่งขันกันระหว่างปฏิบัติการแทนที่และการจัด.....	169
5.5 การทดลองประจำบท.....	171
ปฏิบัติการที่ 5.1 การสังเคราะห์ไซโคลเฮกซีนจากไซโคลเฮกซานอล.....	173
5.6 สรุป.....	179
แบบฝึกหัดบทที่ 5.....	180
เอกสารอ้างอิง.....	181
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 6.....	183
บทที่ 6 ปฏิบัติการเติมแบบอิเล็กโทรฟิลิก.....	185
6.1 กลไกการเกิดปฏิบัติการเติมแบบอิเล็กโทรฟิลิก.....	185
6.2 ผลของโครงสร้างต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา.....	187
6.3 ทิศทางการเข้าทำปฏิกิริยาและสเตอริโอเคมีของปฏิกิริยา.....	189

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.4 การทดลองประจำบท.....	193
ปฏิบัติการที่ 6.1 ปฏิกริยาไฮเดรชันของ 1-เฮกซีน.....	196
ปฏิบัติการที่ 6.2 การสังเคราะห์ α,β -ไดโบโรโมเบนซาลแอซีโตฟีโนน.....	202
6.5 สรุป.....	207
แบบฝึกหัดบทที่ 6.....	208
เอกสารอ้างอิง.....	209
บรรณานุกรม.....	211
ภาคผนวก.....	215

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ตัวอย่าง MSDS ของสารเคมี ส่วนที่ 1-9.....	10
1.2	ตัวอย่าง MSDS ของสารเคมี ส่วนที่ 10-16.....	11
1.3	เครื่องแก้วขนาดมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไป.....	18
1.4	อุปกรณ์เครื่องแก้วในชุดทดลองขนาดเล็ก.....	18
1.5	การจัดอุปกรณ์เพื่อหาจุดหลอมเหลวแบบหลอดแคปิลารีและแบบเซมิไมโคร..	26
1.6	วิธีจับและเขย่ากรวยแยกที่ถูกต้องขณะสกัดสาร.....	28
1.7	การจัดอุปกรณ์การกลั่นธรรมดาโดยใช้อุปกรณ์ขนาดมาตรฐาน.....	30
1.8	การจัดอุปกรณ์การกลั่นธรรมดาโดยใช้ชุดทดลองขนาดเล็ก.....	30
1.9	การจัดอุปกรณ์การกลั่นลำดับส่วน.....	31
1.10	การจัดเครื่องมือสำหรับการกลั่นด้วยไอน้ำในห้องปฏิบัติการ.....	32
1.11	เครื่องกลั่นระเหยสุญญากาศแบบหมุน.....	33
1.12	เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบางและแบบคอลัมน์.....	35
2.1	กลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_N1	50
2.2	กลไกการสังเคราะห์เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์จากเทอร์เชียรีบิวทิลแอลกอฮอล์.....	51
2.3	ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของ (R)-(-)-2-โบรโมออกเทน.....	52
2.4	กลไกการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่แบบ S_N2	52
2.5	ปฏิกิริยาและกลไกการเกิดปฏิกิริยาของ (S)-(+)-2-โบรโมออกเทนกับเบส โซเดียมไฮดรอกไซด์.....	53
2.6	กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N2 ระหว่างคลอโรมีเทนและไฮดรอกไซด์ไอออน	53
2.7	ลำดับความว่องไวต่อปฏิกิริยาการแทนที่แบบ S_N2	54
2.8	ลำดับความเสถียรของคาร์โบแคตไอออน.....	56
2.9	อุปกรณ์สำหรับหาจุดเดือดด้วยวิธีเซมิไมโคร.....	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.1	สมการทั่วไปของปฏิกิริยาแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์ของสารประกอบอะโรมาติก.....	87
3.2	กลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์ของสารประกอบอะโรมาติก....	88
3.3	โครงสร้างของฟลูออเรซินและพาราเรด.....	90
3.4	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ฟลูออเรซิน.....	90
3.5	กลไกการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์ฟลูออเรซิน.....	91
3.6	ปฏิกิริยาและกลไกการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์พาราเรด.....	92
3.7	กลไกการเกิดปฏิกิริยา S_NAr แบบการเติม-การขจัด.....	97
3.8	อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบอะโรมาติกกับไซเตียมเมทอกไซด์.....	98
3.9	กลไกการเกิดปฏิกิริยา S_NAr แบบการขจัด-การเติม.....	99
3.10	กลไก S_NAr แบบการขจัด-การเติม ของออร์โทโบรมโทลูอินกับไซเตียมเอไมด์....	100
3.11	อัตราการเกิดปฏิกิริยาของไนโตรเบนซินที่มีหมู่แทนที่เป็นแฮโลเจน (X) ชนิดต่าง ๆ	100
3.12	ปฏิกิริยาโบรมิเนชันของสารประกอบอะโรมาติก.....	101
3.13	สมการแสดงการสังเคราะห์ 2,4-ไดไนโตรโบรมเบนซิน.....	102
3.14	สมการแสดงการสังเคราะห์ 2,4-ไดไนโตรฟีนิลเอมีน.....	102
4.1	สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่บนคาร์บอนิลคาร์บอน.....	121
4.2	ค่า pK_{aH} และความสามารถในการเป็นหมู่หลุดออก.....	122
4.3	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดคาร์บอกซิลิก.....	123
4.4	กลไกปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมทิลซาลิซิลเลต.....	124
4.5	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไบโอดีเซล.....	124
4.6	กลไกการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์.....	125
4.7	กลไกปฏิกิริยาการสังเคราะห์ 3-ไนโตรเบนโซอิก	125
4.8	กลไกทั่วไปของการเกิดปฏิกิริยาการเติมแบบนิวคลีโอฟิลิกที่คาร์บอนิลคาร์บอน.....	126

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.9	การเกิดอีโนเลตแอนไอออนจากเมทิลคีโตนและไนโตรแอลเคน.....	127
4.10	สมการแสดงปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดเบนซาลแอซีโตน.....	129
4.11	องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันชนิดต่าง ๆ.....	131
5.1	กลไกการเกิดปฏิกิริยาการขจัดแบบ E2.....	165
5.2	ปฏิกิริยาการขจัด 2-โบรมิโพรเพนและกลไกการเกิดปฏิกิริยา.....	166
5.3	ปฏิกิริยาการขจัด HBr ออกจาก 2-โบรมิ-2-เมทิล บิวเทน.....	167
5.4	กลไกการเกิดปฏิกิริยาการขจัดแบบ E1.....	167
5.5	ปฏิกิริยาการขจัดน้ำออกจากเทอร์เชียรีบิวทิลแอลกอฮอล์.....	168
5.6	กลไกการปฏิกิริยาการขจัดน้ำออกจากเทอร์เชียรีบิวทิลแอลกอฮอล์.....	168
5.7	กลไกการเกิดปฏิกิริยาการขจัดแบบ E1cB.....	169
5.8	กลไกการเกิดปฏิกิริยาการขจัดแบบ E1cB ของสารประกอบ β -ไฮดรอกซีคาร์บอนิล	169
5.9	กลไกการเกิดปฏิกิริยาของการสังเคราะห์ไซโคลเฮกซีน.....	171
6.1	กลไกการเกิดปฏิกิริยาการเติมแบบอิเล็กโตรฟิลิก.....	185
6.2	ไดโคออร์ดิเนตแคตไอออนและไตรโคออร์ดิเนตแคตไอออนจากปฏิกิริยาการเติม...	188
6.3	ปฏิกิริยาการเติมตามกฎของมาร์คอฟนิกอฟ.....	189
6.4	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์.....	189
6.5	การเติมแบบซินและการเติมแบบแอนไท.....	190
6.6	ปฏิกิริยาโบรมิเนชันของสารประกอบแอลคีน.....	190
6.7	ปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันของสารประกอบแอลคีน.....	190
6.8	กลไกการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ 1-เฮกซีน	194
6.9	การสังเคราะห์เบนซาลแอซีโตฟีโนน และ α,β -ไดโบรมิเบนซาลแอซีโตฟีโนน...	194
6.10	การเกิดเรโซแนนซ์ของคีโตนไม่อิ่มตัวที่ตำแหน่งแอลฟาเบตา.....	195



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ข้อควรปฏิบัติในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ.....	5
1.2	แนวทางการปฏิบัติเมื่อสารเคมีหก.....	7
1.3	องค์ประกอบของข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์.....	9
1.4	ความเป็นอันตรายทางกายภาพ.....	12
1.5	ความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ.....	13
1.6	ประเภทของเสียภายในห้องปฏิบัติการ.....	14
1.7	ลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์เครื่องแก้วแต่ละประเภท.....	19
1.8	เทคนิคการตกลึกในห้องปฏิบัติการ.....	24
1.9	ประเภทของโครมาโทกราฟี.....	34
1.10	วิธีการทดสอบไอออนซัลไฟด์ ไซยาไนต์ แฮไลด์.....	37
1.11	การหาคลัสการละลายและการหาหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์.....	39
1.12	รีเอเจนต์ที่ใช้ทดสอบหมู่ฟังก์ชัน.....	41
2.1	ผลของโครงสร้างของสารตั้งต้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา S_N2	54
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเป็นหมู่หลุดออกกับค่า pK_a	55
2.3	อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮไลโซลีสผ่านกลไกแบบ S_N1 ของเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์เทียบกับสภาพขั้วของตัวทำละลาย.....	57
2.4	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ	58
2.5	ชนิดของรีเอเจนต์สำหรับการระบุชนิดของสารอินทรีย์.....	59
2.6	อัตราส่วนผลสมของตัวทำละลาย.....	77
3.1	ผลของหมู่แทนที่ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา.....	93
3.2	อัตราการเกิดปฏิกิริยาโบรมิเนชันของสารประกอบอะโรมาติกบางชนิด.....	95
4.1	การคำนวณปริมาณเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับการผลิตสบู่.....	134

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.1	การทำนายการเกิดปฏิกิริยาแทนที่และปฏิกิริยาการจัดบนคาร์บอน sp^3 ภายใต้สภาวะที่เป็นเบส.....	170
6.1	ผลของหมู่แทนที่ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาโบรมิเนชัน.....	187
6.2	ผลของหมู่แทนที่ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน.....	188

แผนบริหารการสอนประจำวิชา

รหัสวิชา 4022306

รายวิชา ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 1(0-3-2)

Organic chemistry Laboratory 2

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาปฏิกิริยาเคมีและปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อความว่องไวของปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ การสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ การแยกสารอินทรีย์ การทำสารอินทรีย์ให้บริสุทธิ์ และการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารอินทรีย์

ความมุ่งหมายรายวิชา

1. นักศึกษาสามารถสกัด แยกสารอินทรีย์ และ ทำสารอินทรีย์ให้บริสุทธิ์ได้
2. นักศึกษาสามารถวิเคราะห์ ตรวจสอบประเภทและระบุนิคมของสารอินทรีย์ได้
3. นักศึกษาสามารถสังเคราะห์และพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารอินทรีย์บางชนิดได้

เนื้อหา

- | | | |
|---------|---|-------|
| บทที่ 1 | ความรู้พื้นฐานในการทำปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ | 6 คาบ |
| | 1.1 ความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการเคมี | |
| | 1.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารเคมี | |
| | 1.3 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี | |
| | 1.4 เทคนิคพื้นฐานในปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ | |
| | 1.5 สรุป | |
| บทที่ 2 | ปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของสารประกอบอะลิฟาติก | 9 คาบ |
| | 2.1 สมการทั่วไปของปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ | |
| | 2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N1 | |
| | 2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N2 | |
| | 2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_N1 และ S_N2 | |

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

- 2.5 การทดลองประจำบท
- ปฏิบัติการที่ 2.1 การสังเคราะห์เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์
- ปฏิบัติการที่ 2.2 ผลของโครงสร้างสารตั้งต้นในปฏิกิริยา S_N1 และ S_N2
- ปฏิบัติการที่ 2.3 ผลของตัวทำละลายในปฏิกิริยา S_N1
- 2.6 สรุป
- บทที่ 3 ปฏิกิริยาการแทนที่ของสารประกอบอะโรมาติก 6 คาบ
- 3.1 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_EAr
- 3.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_EAr
- 3.3 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_NAr
- 3.4 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_NAr
- 3.5 การทดลองประจำบท
- ปฏิบัติการที่ 3.1 ผลของหมู่แทนที่ในปฏิกิริยา S_EAr
- ปฏิบัติการที่ 3.2 การสังเคราะห์อนุพันธ์ 2,4-ไดไนโตรฟีนอลอะนิลีน
- 3.6 สรุป
- บทที่ 4 ปฏิกิริยาการแทนที่และปฏิกิริยาการเติมบนคาร์บอนิลคาร์บอน 18 คาบ
- 4.1 สมการทั่วไปของปฏิกิริยาแทนที่บนคาร์บอนิลคาร์บอน
- 4.2 การใช้ประโยชน์ของปฏิกิริยาแทนที่บนคาร์บอนิลคาร์บอนในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน
- 4.3 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาการเติมบนคาร์บอนิลคาร์บอน
- 4.4 การทดลองประจำบท
- ปฏิบัติการที่ 4.1 การสังเคราะห์ไดเบนซาลแอซิโตน
- ปฏิบัติการที่ 4.2 การผลิตยาหม่อง
- ปฏิบัติการที่ 4.3 การผลิตสบู่
- 4.5 สรุป
- บทที่ 5 ปฏิกิริยาการขจัด 3 คาบ
- 5.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการขจัดแบบ E2
- 5.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการขจัดแบบ E1
- 5.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการขจัดแบบ E1cB
- 5.4 การแข่งขันกันระหว่างปฏิกิริยาการแทนที่และการขจัด

	5.5 การทดลองประจำบท	
	ปฏิบัติการที่ 5.1 การสังเคราะห์ไซโคลเฮกซีนจากไซโคลเฮกซานอล	
	5.6 สรุป	
บทที่ 6	ปฏิกิริยาการเติมแบบอิเล็กโตรฟิลิก	3 คาบ
	6.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการเติมแบบอิเล็กโตรฟิลิก	
	6.2 ผลของโครงสร้างต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา	
	6.3 ทิศทางการเข้าทำปฏิกิริยาและสเตอริโอเคมีของปฏิกิริยา	
	6.4 การทดลองประจำบท	
	ปฏิบัติการที่ 6.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ 1-เฮกซีน	
	ปฏิบัติการที่ 6.2 การสังเคราะห์ α,β -ไดโบรมเบนซาลแอซิโตฟีโนน	
	6.5 สรุป	

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

1. สำหรับเนื้อหาในสัปดาห์แรกเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานในการทำปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ อธิบายเนื้อหาและมอบหมายให้นักศึกษาจัดทำชิ้นงานเกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการส่งในสัปดาห์ต่อไป
2. เนื้อหาในส่วนของ การทดลองหลังสัปดาห์แรกให้ผู้เรียนศึกษาขั้นตอนทำการทดลองจากเอกสารประกอบการสอนและเขียนแผนการทดลองเป็นแผนภาพที่เข้าใจง่ายก่อนทำการทดลองทุกครั้ง
3. ทดสอบความพร้อมก่อนทำปฏิบัติการด้วยแบบทดสอบก่อนเรียน
4. อธิบายความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองเพื่อเป็นแนวทางในการทดลอง
5. อธิบายขั้นตอนการทดลอง วิธีบันทึกและสรุปผล รวมถึงข้อควรระวังที่สำคัญก่อนทำการทดลอง
6. มอบหมายให้ผู้เรียนร่วมกันทำการทดลองเป็นกลุ่ม
7. ให้ผู้เรียนตอบคำถามอาจารย์ผู้สอนเกี่ยวกับเทคนิคและความเข้าใจในการทำการทดลองในแต่ละการทดลอง
8. หลังการทดลอง จัดให้มีการอภิปรายผลการทดลองร่วมกันระหว่างผู้เรียนและอาจารย์ผู้สอน

9. ให้ผู้เรียนนำผลการทดลองที่ได้ มาวิเคราะห์โดยอาศัยความรู้พื้นฐานทางเคมีอินทรีย์ สรุปลงและอภิปรายผลการทดลอง และจัดทำเป็นรายงานผลการทดลอง พร้อมกับตอบคำถามท้ายการทดลอง

สื่อการเรียนการสอน

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
2. เอกสารประกอบการเรียนรายวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2

การวัดผลและการประเมินผล

การวัดผล

1. การวางแผนในการทำปฏิบัติการ	5 คะแนน
2. เทคนิคและความเข้าใจในการทำปฏิบัติการ	10 คะแนน
3. ความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการ	5 คะแนน
4. ทดสอบก่อนทำปฏิบัติการ	20 คะแนน
5. รายงานผลปฏิบัติการ	20 คะแนน
6. สอบปฏิบัติการ	20 คะแนน
7. สอบทฤษฎี	20 คะแนน

การประเมินผล

คะแนนระหว่าง	80-100	ได้ระดับ A
คะแนนระหว่าง	75-79	ได้ระดับ B ⁺
คะแนนระหว่าง	70-74	ได้ระดับ B
คะแนนระหว่าง	65-69	ได้ระดับ C ⁺
คะแนนระหว่าง	60-64	ได้ระดับ C
คะแนนระหว่าง	55-59	ได้ระดับ D ⁺
คะแนนระหว่าง	50-54	ได้ระดับ D
คะแนนระหว่าง	0-49	ได้ระดับ F

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 1

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานในการทำปฏิบัติการเคมีอินทรีย์

- 1.1 ความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการเคมี
- 1.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารเคมี
- 1.3 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี
- 1.4 การแยกสารอินทรีย์และการทำสารอินทรีย์ให้บริสุทธิ์
- 1.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารอินทรีย์ในเบื้องต้น
- 1.6 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อได้ศึกษาบทเรียนนี้แล้ว นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการเคมีได้
2. เรียกชื่ออุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายความรู้พื้นฐานในการทำปฏิบัติการทางเคมีได้อย่างถูกต้อง

กิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนของบทนี้ใช้เวลา 2 สัปดาห์ โดยในสัปดาห์แรก ผู้สอนชี้แจงเนื้อหารายวิชา กำหนดข้อตกลงร่วมกันระหว่างผู้สอนและผู้เรียนจากนั้นผู้สอนอธิบายเนื้อหาเกี่ยวกับข้อควรรู้เบื้องต้นในการทำปฏิบัติการเคมีอินทรีย์

2. แบ่งกลุ่มนักศึกษากลุ่มละ 3 คน

3. ให้นักศึกษาแต่ละกลุ่มศึกษาเอกสารประกอบการสอนบทที่ 1 ข้อควรรู้เบื้องต้นในการทำปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ และทบทวนความรู้พื้นฐานที่ได้เรียนมาแล้วในปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1 แล้วมอบหมายให้นักศึกษาจัดทำชิ้นงานเพื่อตรวจด้านความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการเคมีเป็นการบ้าน โดยกำหนดให้เผยแพร่ชิ้นงานของแต่ละกลุ่มในสังคมออนไลน์ เช่น ทางเฟซบุ๊ก (Facebook) ทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (Email) หรือกล่องข้อความ (Inbox message) ในเฟซบุ๊กเพื่อฝึกทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

4. ให้นักศึกษาทุกกลุ่มนำเสนอชิ้นงานหน้าชั้นเรียนในสัปดาห์ที่ 2 และสรุปความรู้ร่วมกันในช่วงท้ายคาบ

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 บทที่ 1
2. เครื่องแก้วและอุปกรณ์ทางเคมี

การวัดผลและการประเมินผล

1. จากชิ้นงานด้านความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการเคมี
2. สังเกตพฤติกรรมในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทที่ 1

ความรู้พื้นฐานในการทำปฏิบัติการเคมีอินทรีย์

การเรียนวิชาปฏิบัติการเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยเสริมความเข้าใจเนื้อหาในวิชาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกันได้ดียิ่งขึ้น และยังเป็นการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความรู้ ตลอดจนฝึกทักษะการใช้ อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง สำหรับการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 ให้ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ของรายวิชานั้น นักศึกษาจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานหลายประการที่ได้เรียนรู้มาแล้วในปฏิบัติการเคมี 1 และ 2 ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1 ทั้งความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการเคมี อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี เทคนิคพื้นฐานในการทำปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ อาทิ การแยกสารอินทรีย์ การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารอินทรีย์ เป็นต้น ดังนั้นในบทนี้จึงรวบรวมความรู้พื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการทำปฏิบัติการเคมีอินทรีย์เพื่อให้นักศึกษาได้ทบทวนก่อนลงมือปฏิบัติจริงในบทอื่น ๆ โดยมีรายละเอียดในแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

1.1 ความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการเคมี

ในการทำปฏิบัติการเคมีต้องใช้อุปกรณ์ และสัมผัสกับสารเคมีหลากหลายชนิด สารเคมีแต่ละชนิดอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติการทดลองได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกัน และลดการรับสารเคมีเข้าสู่ร่างกาย ลดอุบัติเหตุ เพิ่มความปลอดภัยต่อตนเองและผู้อื่น ผู้ใช้ห้องปฏิบัติการทุกคนจึงมีความจำเป็นที่ต้องรับทราบถึงระเบียบและข้อควรปฏิบัติในการทำปฏิบัติการเคมีเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงาน และสามารถแก้ไขปัญหากรณีเกิดอุบัติเหตุได้อย่างเหมาะสม ตามแนวทางดังต่อไปนี้

1.1.1 ข้อควรปฏิบัติทั่วไป

- 1) แต่งกายให้เหมาะสมโดยสวมเสื้อคลุมปฏิบัติการ (เสื้อกาวน์) ตลอดเวลาที่อยู่ในห้องปฏิบัติการเพื่อป้องกันสารเคมีกระเด็นหรือหกรดร่างกายโดยตรง
- 2) ผู้เรียนที่ผอมยาวควรรวบและผูกผม เพื่อป้องกันการเกี่ยวรังสิ่งของ
- 3) ควรสวมรองเท้าส้นเตี้ยที่หุ้มเท้าเพื่อป้องกันสารเคมีหกรด ห้ามสวมรองเท้าแตะหรือรองเท้าเปิดด้านหน้าหรือเปิดส้น

- 4) ไม่ควรใส่คอนแทกเลนส์ เพราะมีโอกาสที่ไอสารเคมีอาจเข้าไปอยู่ใต้เลนส์ และทำให้นัยน์ตาเสียหายได้
- 5) ควรสวมถุงมือ หากต้องทำงานเกี่ยวกับสารที่มีพิษหรือมีฤทธิ์กัดกร่อนและต้องทำการทดลองในตู้ดูดควัน
- 6) ไม่ควรหยอกล้อหรือวิ่งเล่นในห้องปฏิบัติการเพราะอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุจากการชนหรือกระแทกภาชนะสารเคมี
- 7) ไม่ควรทำการทดลองโดยลำพังในห้องปฏิบัติการ เพราะหากเกิดอุบัติเหตุอาจไม่สามารถแก้ไขหรือช่วยเหลือตัวเองได้ หากมีความจำเป็นต้องทำการทดลองต้องขออนุญาตอาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการเพื่อหาวิธีการป้องกันก่อนเกิดอันตราย
- 8) ไม่ควรรับประทานอาหารและเครื่องดื่มในห้องปฏิบัติการเพราะอาจทำให้มีสารเคมีปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายได้ และห้ามใช้เครื่องแก้วใดในห้องปฏิบัติการใส่อาหาร
- 9) ไม่ควรสูดดม สัมผัสสารเคมีโดยตรง หรือกินสารเคมี
- 10) ห้ามทำการทดลองใด ๆ ที่นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ เพื่อป้องกันอันตรายจากปฏิกิริยารุนแรงที่คาดไม่ถึง
- 11) หลังการทดลองควรล้างมือให้สะอาดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารเคมี
- 12) ควรระมัดระวังในการใช้สารเคมีส่วนกลาง โดยให้ใช้หลอดหยดเฉพาะของแต่ละสารสำหรับดูดสารเคมีนั้น ๆ ห้ามใช้หลอดหยดในการดูดสารสลับขวดกันจะทำให้สารเคมีนั้นถูกปนเปื้อนและเสื่อมสภาพ
- 13) ควรศึกษาและวางแผนการทดลองล่วงหน้าก่อนเข้าทำการทดลอง เพื่อจะได้รู้ว่าจะต้องทำอะไรก่อนหลังซึ่งจะช่วยลดโอกาสการเกิดอันตรายในระหว่างการทำการทดลอง และช่วยทำให้การทดลองเสร็จเร็วขึ้น
- 14) ควรศึกษาสมบัติของสารเคมีทุกชนิดที่ใช้ในการทดลองรวมทั้งการกำจัดสารเคมีเหล่านั้นเมื่อทำการทดลองเสร็จแล้วเพื่อให้การทำงานกับสารเคมีมีความปลอดภัย
- 15) ตรวจสอบเครื่องแก้วทุกชนิดก่อนทำการทดลอง หากเครื่องแก้วชำรุดให้เปลี่ยนทันทีเพื่อป้องกันการแตกของเครื่องแก้วในระหว่างการทดลอง และทำความสะอาดเครื่องแก้วที่ใช้แล้วทันทีที่จะช่วยให้ล้างสารเคมีออกได้ง่าย

1.1.2 ข้อควรปฏิบัติในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ

หากเกิดอุบัติเหตุให้นักศึกษาปฏิบัติตามข้อควรปฏิบัติในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ ดังตารางที่ 1.1 ซึ่งแบ่งชนิดของอุบัติเหตุไว้ในหลายสถานการณ์ และการเกิดอุบัติเหตุใด ๆ ต้อง รายงานให้ผู้สอนทราบทันทีทุกครั้ง แม้เป็นอุบัติเหตุเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 1.1 ข้อควรปฏิบัติในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ

อุบัติเหตุ	ข้อควรปฏิบัติ
แก๊วหรืออุปกรณ์เครื่องแก๊วแตก	รีบแจ้งอาจารย์ผู้ควบคุม และนำเศษแก๊วทิ้งในภาชนะ สำหรับทิ้งเศษแก๊วโดยเฉพาะ ห้ามทิ้งเศษแก๊วเหล่านี้ลงในถังขยะ เพราะพนักงานที่ดูแลความสะอาดอาจได้รับบาดเจ็บระหว่างการเก็บขยะไปทิ้งหรือกำจัด
เทอร์โมมิเตอร์แตก	รีบแจ้งอาจารย์ผู้ควบคุม และทำการกำจัดสารปรอทจากเทอร์โมมิเตอร์โดยใช้ผงกำมะถันโรยบริเวณที่มีปรอทอยู่ จากนั้นกำจัดทิ้งในถังขยะเก็บสารอันตราย
แก๊วบาดมือ	ห้ามเลือดโดยใช้กระดาษหรือผ้าที่สะอาดกดแผล จากนั้นทำแผลโดยเช็ดด้วยแอลกอฮอล์แล้วทาด้วยยาทาแผล และปิดด้วยพลาสติก หากเกิดแผลใหญ่ปฐมพยาบาลแล้วรีบนำส่งแพทย์โดยเร็ว
ผิวหนังถูกของร้อนหรือไฟลวก	ให้ใช้ยาสำหรับทาแผลไฟไหม้น้ำร้อนลวกทา อย่าใช้น้ำล้างแผลเนื่องจากอาจทำให้เกิดอาการติดเชื้อ
สารเคมีกระเด็นเข้าตา	ให้ล้างตาทันทีด้วยน้ำสะอาดในปริมาณมาก ๆ พยายามลืมตาในน้ำอย่างน้อย 2-3 นาที จากนั้นนำตัวส่งแพทย์
ผิวหนังถูกกรด	ให้ซับกรดออกก่อนแล้วล้างด้วยน้ำจำนวนมาก ๆ แล้วล้างด้วยโซเดียมคาร์บอเนตอิ่มตัวแล้วล้างด้วยน้ำอีกรอบ
ผิวหนังถูกเบส	ให้ล้างด้วยน้ำจำนวนมาก ๆ แล้วล้างด้วยสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 1 โดยปริมาตรแล้วล้างด้วยน้ำอีกรอบ
ผิวหนังถูกสารที่เป็นพิษ	ต้องล้างด้วยแอลกอฮอล์ตามด้วยน้ำและสบู่ทันทีแล้วทากลิเซอรอล อย่าทาน้ำมันจำพวกที่ใช้ทาแผลน้ำร้อนลวก เพราะจะทำให้สารเคมีซึมเข้าร่างกายได้

ตารางที่ 1.1 ข้อควรปฏิบัติในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ (ต่อ)

อุบัติเหตุ	ข้อควรปฏิบัติ
กិនสารพิษสารประเภทกัดกร่อน	ห้ามทำให้อาเจียนเพราะจะทำให้สารกัดเนื้อเยื่อที่บอบบางมากขึ้น ควรดื่มนมหรือน้ำมาก ๆ จะช่วยให้สารพิษเจือจางลง และนำส่งเพื่อรักษาต่อกับแพทย์
เมื่อไฟไหม้	ก่อนอื่นดูแลตนเองและบุคคลอื่นอย่าให้มีอันตราย ดับเครื่องทำความร้อนในบริเวณใกล้เคียงให้หมด นำตัวทำละลายไวไฟ และสารไวไฟออกไปให้ห่างเพื่อไม่ให้ลามโดยไฟขนาดเล็กดับได้ง่ายโดยวิธีคลุมไม่ให้อากาศเข้า เช่น ใช้ผ้า หรือผ้าชุบน้ำคลุมที่ต้นเพลิง หรือใช้เครื่องฉีดน้ำยาดับเพลิงที่บรรจุคาร์บอนไดออกไซด์ฉีดไปที่ฐานของกองเพลิงอย่าใช้น้ำดับไฟโดยตรงเพราะตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่จะลอยน้ำทำให้เกิดการลุกลามมากยิ่งขึ้น ถ้าไฟไหม้ที่เกิดจากน้ำมันอาจใช้ผงโซเดียมไบคาร์บอเนตช่วยดับได้ ถ้าไฟไหม้เกิดจากโซเดียมให้ใช้ทรายหรือโซเดียมคาร์บอเนตช่วยดับได้ ห้ามใช้น้ำโดยเด็ดขาดและให้ระวังการลุกไหม้ของโซเดียมหากทำปฏิกิริยากับคาร์บอนเตตระคลอไรด์จะทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ นอกจากนี้ให้นำสารไวไฟออกไปให้ห่างที่สุดแต่ถ้าควบคุมไฟไม่ได้ต้องรีบแจ้งอาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการทันที
เมื่อเสื้อผ้าติดไฟ	อย่าวิ่งเป็นอันขาด เพราะการวิ่งจะยิ่งทำให้เปลวไฟลุกลามมากขึ้น ให้ใช้ผ้าปิด หรือใช้ผ้าคลุมบริเวณที่ติดไฟไฟก็จะดับลง แต่ถ้าไฟติดมากควรนอนราบกับพื้นแล้วให้คนอื่นนำผ้าหนาคลุมบนเปลวไฟให้ดับ
ผู้บาดเจ็บมาก	ต้องมีผู้อื่นพาไปส่งแพทย์ เพราะผู้ที่ช็อกเมื่อได้รับอุบัติเหตุมักจะแสดงอาการออกมาให้เห็นน้อยกว่าที่เป็นจริง ในขณะที่เดินทางไปหาแพทย์อาจเกิดอาการหนักขึ้นและต้องการผู้ช่วยเหลือในทันที

ที่มา : (วิจิตร เขื่อประเสริฐ และคณะ, 2547: 9)

1.1.3 ข้อควรปฏิบัติในกรณีที่สารเคมีหก

ในห้องปฏิบัติการเคมีมีสารเคมีหลากหลายชนิด แต่ละชนิดมีสมบัติทางกายภาพ และเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อผู้ปฏิบัติการทดลองในหลายด้าน ดังนั้นหากเกิดเหตุการณ์ที่สารเคมีหกจึงควรมีการจัดเก็บในทันที โดยทำตามแนวปฏิบัติตามตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 แนวทางการปฏิบัติเมื่อสารเคมีหก

ชนิดของสารเคมีที่หก	แนวทางปฏิบัติที่เหมาะสม
สารที่เป็นของแข็ง	ควรใช้แปรงกวาดรวมกันใส่ในช้อนตักหรือกระดาษแข็งก่อน แล้วจึงนำไปใส่ในภาชนะที่จัดเก็บของเสีย
สารละลายที่เป็นกรด	เมื่อกรดหกจะต้องรีบทำให้เจือจางด้วยน้ำก่อนแล้วโรยโซเดียมไบคาร์บอเนต หรือเทสารละลายต่างเพื่อทำให้กรดเป็นกลางต่อจากนั้นจึงล้างด้วยน้ำให้สะอาด (ระมัดระวังการเทน้ำลงบนกรดเข้มข้นที่หก เนื่องจากจะเกิดความร้อนมาก และกรดอาจกระเด็นออกมา ควรค่อย ๆ เทน้ำลงไปมาก ๆ เพื่อให้กรดเจือจางและความร้อนที่เกิดขึ้นรวมทั้งการกระเด็นจะน้อยลง)
สารละลายที่เป็นด่าง	เนื่องจากสารละลายต่างจะทำให้พื้นลื่น จึงต้องกำจัดโดยเทน้ำลงไปเพื่อลดความเข้มข้นของด่างแล้วเช็ดให้แห้ง โดยใช้ไม้ที่มีปุยมูกที่ปลายสำหรับซับน้ำบนพื้น เมื่อล้างด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้งแล้วยังไม่หายลื่นสามารถแก้ไขได้โดยใช้ทรายโรยบริเวณที่ต่างหก แล้วเก็บกวาดทรายออกไป
สารที่ระเหยง่าย	ถ้าสารที่หกมีปริมาณน้อย ใช้ผ้าชีวหรือเศษผ้าเช็ดถูออก แต่ถ้าสารที่หกนั้นมีปริมาณมาก ทำให้แห้งโดยใช้ไม้ที่มีปุยมูกที่ปลายสำหรับเช็ดถู เมื่อเช็ดแล้วก็นำมาใส่ถังเก็บและสามารถนำไปใช้อีกได้ตามต้องการโดยต้องทำให้บริสุทธิ์ก่อน
สารที่เป็นน้ำมัน	สารพวกนี้เช็ดออกได้โดยใช้น้ำมาก ๆ เมื่อเช็ดออกแล้วพื้นบริเวณที่สารหกจะลื่นจึงต้องล้างด้วยผงซักฟอกอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้สารที่ติดอยู่ออกไปให้หมด
สารปรอท	ใช้ผงกำมะถันพรมลงไป ปรอทจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบซัลไฟด์แล้วเก็บกวาดอีกครั้งหนึ่ง

1.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารเคมี

1.2.1 เกรดของสารเคมี

สารเคมีจะมีราคาแพงมากหรือน้อยขึ้นกับคุณภาพหรือประเภท (Grade) ของสารเคมี ดังนั้นการเลือกใช้สารเคมีจึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน ทั้งนี้ในการทดลองหลายเรื่องสามารถใช้สารเคมีที่มีคุณภาพเพียงระดับเกรดการค้า (Commercial grade หรือ Technical grade) ซึ่งสารเคมีประเภทนี้มีราคาถูก และอาจให้ผลการทดลองดีตรงตามวัตถุประสงค์ของการเรียนการสอนในปฏิบัติการนั้น ๆ โดยที่ไม่มีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มีคุณภาพในระดับสูงถึงเกรดปฏิบัติการ (Lab grade หรือ Chemically pure หรือ General purpose reagent) รวมไปถึงจนถึงสารเคมีเกรดยา (Pharmaceutical grade) สำหรับการใช้สารเคมีที่มีคุณภาพ และความบริสุทธิ์สูงในระดับเกรดงานวิเคราะห์ (Analytical grade) สารเคมีกลุ่มนี้มีราคาแพงมาก กว่าสารเกรดอื่นหลายเท่าตัวจึงควรใช้เมื่อมีความจำเป็นจริง ๆ เท่านั้นการใช้สารเคมีนอกจากจะต้องใช้ในปริมาณจำกัดที่สุดเท่าที่จะปฏิบัติได้แล้วยังต้องรู้จักการเลือกใช้สารเคมีที่มีคุณภาพในระดับที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่อเป็นการลดอันตรายและเพื่อเป็นการประหยัดอีกทางหนึ่ง (ประวิตร ชูศิลป์, 2549: 44)

1.2.2 ข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

ข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (Material safety data sheet) หรือ MSDS เป็นเอกสารที่บริษัทผู้ผลิตสารเคมี ให้มาพร้อมกับสารเคมี เพื่อที่ผู้ซื้อสามารถศึกษารายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัย โดย MSDS ที่สมบูรณ์ตามมาตรฐานสากลมีโครงสร้างและข้อมูล รวมทั้งสิ้น 16 ส่วน (ศูนย์บริหารความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล, 2555: 19) โดยในส่วนที่ 1-10 เป็นข้อมูลที่จำเป็นต้องมีตามข้อกำหนดขององค์กรที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยและชีวอนามัยของประเทศสหรัฐอเมริกา OSHA (Occupational safety and health administration) ส่วนที่ 11-16 เป็นข้อมูลที่แนะนำให้บรรจุไว้ในเอกสาร MSDS เพื่อความสมบูรณ์ของเนื้อหาด้านความปลอดภัย ผู้ปฏิบัติงานทางเคมีทุกคนควรได้อ่านและทำความเข้าใจกับข้อมูลในเอกสาร MSDS ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยในการทำงานกับสารเคมีชนิดนั้น ๆ ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการทุกคนควรที่จะศึกษาข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ของสารเคมีทุกตัวที่ต้องใช้ในห้องปฏิบัติการและควรมีการจัดเก็บ

ข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ในแฟ้มเอกสารเรียงตามตัวอักษร เพื่อความสะดวกในการค้นหา สำหรับรายละเอียดแต่ละองค์ประกอบของข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 องค์ประกอบของข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์

ส่วนที่	สาระสำคัญ
1	ชื่อสารเคมี ผลิตภัณฑ์ และชื่อผู้ผลิต หรือ ผู้จำหน่าย
2	ส่วนประกอบหรือส่วนผสมของสารเคมีที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ หมายเลข CAS (Chemical abstract service)
3	ข้อมูลปungชี้อันตราย
4	ข้อมูลการปฐมพยาบาล
5	วิธีปฏิบัติเมื่อเกิดเพลิงไหม้
6	วิธีปฏิบัติเมื่อสารเคมีหกหรือรั่วไหล
7	ข้อมูลการใช้งานและการจัดเก็บ
8	ข้อมูลการป้องกันและควบคุมการเข้าสู่ร่างกาย
9	ข้อมูลสมบัติทางกายภาพ
10	ข้อมูลความว่องไวในการทำปฏิกิริยา และ ความเสถียร
11	ข้อมูลความเป็นพิษ
12	ข้อมูลทางนิเวศวิทยา เช่น ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง พืช จุลินทรีย์ อากาศ ดิน น้ำ
13	ข้อแนะนำในการกำจัดกากหรือสารเคมีเหลือใช้
14	ข้อมูลเกี่ยวกับการขนส่ง
15	ข้อมูลตามที่กฎหมายบังคับไว้
16	ข้อมูลอื่น ๆ เช่น เอกสารอ้างอิง แหล่งข้อมูลเพิ่มเติม

ที่มา : (ศูนย์บริหารความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล, 2555: 19)

ตัวอย่าง MSDS ของสารเคมี แสดงดังภาพที่ 1.1 และ 1.2 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่า MSDS มีองค์ประกอบครบสมบูรณ์ทั้ง 16 ส่วน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Arctic Silver Incorporated		MSDS # CMQ2_1	
SECTION 1: CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY INFORMATION Company Address: 9826 W. Legacy Ave. Visalia, CA 93291 Product Information: 539-740-0912 Medical Emergency Toll Free: 877-740-5015 Medical Emergency Alternate: 303-739-1110 Prepared by: Nevin House Revision Date: August 23, 2012			
Product Identification			
C�ramique 2 Tri-Linear Thermal Compound			
Product Code: CMQ2			
SECTION 2: COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS Product Ingredient Information			
Aluminum Oxide	CAS No.	1344-28-1	
Boron Nitride		10043-11-5	
Zinc Oxide		1314-13-2	
Proprietary Oil Blend		Non-hazardous	
SECTION 3: HAZARD IDENTIFICATION			
Emergency Overview: Off white grease with slight odor. This product is nonflammable. Liquid will irritate eyes. Potential Health Effects: Eyes: This product is an eye and mucus membrane irritant. Skin: Not expected to be a skin irritant. Repeated and prolonged skin contact could cause minor skin irritation. Ingestion: No adverse effects expected. Inhalation: No specific information available. Pre-Existing Medical Conditions Aggravated by Exposure: Eye			
SECTION 4: FIRST AID MEASURES			
Eyes: Immediately flush with large amounts of water. After initial flushing, remove any contact lenses and continue flushing for at least 15 minutes. Have eyes examined by a Physician. Skin: Remove contaminated clothing and wash skin with soap and water. Get medical attention if irritation develops/persists. Wash clothes separately before reuse. Ingestion: If appreciable quantities are swallowed, seek medical advice. Inhalation: Not likely route of exposure. If inhaled and irritation occurs, remove to fresh air. If irritation persists, call a Physician.			
SECTION 5: FIRE FIGHTING MEASURES			
Flash Point: > 600°F (Setflash) LEL/UEL: NA (% by volume in air) Extinguishing Media: Use carbon dioxide or dry chemicals for small fires, aqueous foam or water for large fires involving this material Fire Fighting Instructions: Remove all ignition sources. Closed containers may rupture due to build-up of pressure when exposed to extreme heat. Fight fire from a safe distance. As in any fire, wear self-contained breathing apparatus (pressure demand, OSHA/NIOSH approved or equivalent) and full protective gear.			
SECTION 6: ACCIDENTAL RELEASE MEASURES			
Large Spills: Remove all sources of ignition (sparks, open flames, etc.). Wear self-contained breathing apparatus and appropriate personal protective equipment. Ventilate area and contain spill with sand or other absorbent material. Collect spill by scooping up liquids and absorbent material and place in a sealed metal container for proper disposal. Do not flush to sewer. Prevent material from entering storm sewers, ditches that lead to waterways and ground. Small Spills: Absorb spill with absorbent material, then place in a sealed metal container for proper disposal.			
SECTION 7: HANDLING AND STORAGE			
Overheating may cause container to rupture. Use explosion proof electrical equipment. Containers must be kept closed and ventilation provided to prevent vapor concentration build-up. Store in a cool dry place. Do not breathe vapor or get liquid in eyes, or on skin and clothing. Keep away from heat or sources of ignition. Check all containers for leaks. Wear protective clothing as in section above. Avoid prolonged breathing of vapors or contact with skin. Ensure that all equipment is grounded to prevent static discharge. Containers of this material may be hazardous when emptied due to solid or vapor residue. All hazard precautions given in this data sheet must be observed for empty containers. KEEP OUT OF REACH OF CHILDREN.			
SECTION 8: EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION			
Exposure Guidelines:			
CHEMICAL NAME	ACGIH TLV	OSHA PEL	ACGIH STEL
Aluminum Oxide	10 mg/m ³ (dust)	10 mg/m ³ (dust)	NA
Boron Nitride	10 mg/m ³ (dust)	10 mg/m ³ (dust)	NA
Zinc Oxide	10 mg/m ³ (dust)	15 mg/m ³ (dust)	10 mg/m ³
Proprietary Oil Mix	NA	NA	NA
NFPA and HMIS Codes:	NFPA	HMIS	
Health	0	0	
Flammability	1	1	
Reactivity	0	0	
Personal Protection	-	B	
SECTION 9: PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES			
Physical State: Off-White Grease	Solubility in Water: <2.0%		
Odor: Slight Odor	Specific Gravity: 2.6-2.7		
pH: NA	Evaporation Rate: slower (Butyl acetate=1)		
Vapor Pressure: NA (Air 1)	Boiling Range: NA (Water =1)		
Vapor Density: NA (Air = 1)	Percent Volatile: < 0.1		

ภาพที่ 1.1 ตัวอย่าง MSDS ของสารเคมี ส่วนที่ 1-9

ที่มา : (Arctic Silver Incorporated, 2012: 1)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Arctic Silver Incorporated	MSDS # CMQ2_1
<p>Stability: This product is stable. Conditions to Avoid: Contamination with incompatible materials. Incompatibility: Avoid strong oxidizing agents, strong acids and alkalis. Products of Decomposition: Carbon monoxide, carbon dioxide, silicon dioxide, oxides of nitrogen, and incompletely burned hydrocarbons which may include minute traces of formaldehyde. Reacts with acids and alkalis to form combustible hydrogen gas. Hazardous Polymerization: May not occur. Conditions to avoid: NA</p>	
<p>SECTION 11: CARCINOGEN INFORMATION Cancer Information: No ingredients listed as human carcinogens by NTP or IARC</p>	
<p>SECTION 12: ECOLOGICAL INFORMATION Environmental Impact Information Avoid runoff into storm sewers and ditches that lead to waterways. Water runoff can cause environmental damage.</p>	
<p>REPORTING US regulations require reporting spills of this material that could reach any surface waters. The toll free number for the US Coast Guard National Response Center is: 1-800-424-8802</p>	
<p>SECTION 13: DISPOSAL CONSIDERATIONS Dispose of in accordance with all federal, state and local regulations. Water runoff can cause environmental damage.</p>	
<p>SECTION 14: TRANSPORTATION INFORMATION Air and Ground Shipments: Not Regulated</p>	
<p>SECTION 15: REGULATORY INFORMATION SECTION 313 SUPPLIER NOTIFICATION This product contains the following toxic chemicals subject to the reporting requirements of Section 313 of the Emergency Planning and Community Right-To-Know Act of 1986 (40 CFR 372). Product contains no Section 313 listed chemicals. This information should be included on all MSDSs copied and distributed for this material. TOXIC SUBSTANCES CONTROL ACT (TSCA) All ingredients of this product are listed on the TSCA Inventory.</p>	
<p>SECTION 16: OTHER INFORMATION Do not puncture or incinerate containers. Normal ventilation for standard manufacturing practices is usually adequate. Local exhaust should be used when large amounts are released. WHMIS: Ingredient disclosure list: None Status: Noncontrolled</p>	
<p>To the best of our knowledge, the information contained herein is accurate. However, all materials may present unknown hazards and should be used with caution. In particular, improper use of our products and their inappropriate combination with other products and substances may produce harmful results which cannot be anticipated. Final determination of the suitability of any material is the sole responsibility of the user. Although certain hazards are described herein, we cannot guarantee that these are the only hazards that may exist.</p>	

ภาพที่ 1.2 ตัวอย่าง MSDS ของสารเคมี ส่วนที่ 10-16

ที่มา : (Arctic Silver Incorporated, 2012: 2)

1.2.3 การแยกประเภทสารเคมี

การจำแนกประเภทสารเคมีสามารถจัดได้หลายแบบ แต่เพื่อให้ระบบการจัดการสารเคมีมีมาตรฐานที่เป็นแบบเดียวกันทั่วโลก จึงได้มีการจัดระบบใหม่ตามหลักของ GHS (Globally harmonized system of classification and labelling of chemicals) หรือ การจำแนกประเภทและการติดฉลากสารเคมีที่เป็นระบบเดียวกันทั่วโลก ซึ่งแบ่งประเภทสารเคมีตามความอันตราย 3 กลุ่ม คือ ความเป็นอันตรายทางกายภาพ ความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และความเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับความเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมแบ่งเป็น 1 ประเภท (Class) คือ ความเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมในน้ำ ส่วนความเป็นอันตรายทางกายภาพ และความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ แบ่งเป็น 16 และ 10 ประเภท ตามลำดับ ดังตารางที่ 1.4 และ 1.5

ตารางที่ 1.4 ความเป็นอันตรายทางกายภาพ

ประเภท	ความเป็นอันตรายทางกายภาพ
1	วัตถุระเบิด (Explosives)
2	แก๊สไวไฟ (Flammable gases)
3	ละอองลอยไวไฟ (Flammable aerosols)
4	แก๊สออกซิไดส์ (Oxidizing gases)
5	แก๊สภายใต้ความดัน (Gases under pressure)
6	ของเหลวไวไฟ (Flammable liquids)
7	ของแข็งไวไฟ (Flammable solids)
8	สารที่ทำปฏิกิริยาได้เอง (Self-reactive substances and mixtures)
9	ของเหลวที่ลุกติดไฟได้เองในอากาศ (Pyrophoric liquids)
10	ของแข็งที่ลุกติดไฟได้เองในอากาศ (Pyrophoric solids)
11	สารที่เกิดความร้อนได้เอง (Self-heating substances and mixtures)
12	สารที่สัมผัสน้ำแล้วให้แก๊สไวไฟ (Substances and mixtures which, in contact with water, emit flammable gases)
13	ของเหลวออกซิไดส์ (Oxidizing liquids)
14	ของแข็งออกซิไดส์ (Oxidizing solids)
15	สารเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ (Organic peroxides)
16	สารกัดกร่อนโลหะ (Corrosive to metals)

ที่มา : (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548: 49)

ตารางที่ 1.5 ความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ประเภท	ความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ
1	ความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity)
2	การกัดกร่อนและระคายเคืองต่อผิวหนัง (Skin corrosion/ irritation)
3	การทำลายดวงตาอย่างรุนแรงและการระคายเคืองต่อดวงตา (Serious eye damage/ eye irritation)
4	การทำให้ไวต่อการกระตุ้นอาการแพ้ต่อระบบทางเดินหายใจหรือผิวหนัง (Respiratory or skin sensitization)
5	การก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ของเซลล์สืบพันธุ์ (Germ cell mutagenicity)
6	การก่อมะเร็ง (Carcinogenicity)
7	ความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ (Reproductive toxicity)
8	ความเป็นพิษต่อระบบอวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการสัมผัสครั้งเดียว (Specific target organ systematic toxicity - Single exposure)
9	ความเป็นพิษต่อระบบอวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการสัมผัสซ้ำ (Specific target organ systematic toxicity - Repeated exposure)
10	ความเป็นอันตรายจากการสำลัก (Aspiration hazard)

ที่มา : (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548: 119)

1.2.4 การจัดการของเสียหลังปฏิบัติการทดลอง

1) การแยกประเภทของเสีย

ประเภทของเสียภายในห้องปฏิบัติการ (ศูนย์บริหารความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล, 2555: 59) อาจแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มคือ

กลุ่มที่ 1 ของเสียที่เป็นสารเคมีหมดอายุ

กลุ่มที่ 2 ของเสียที่เป็นของแข็ง

กลุ่มที่ 3 ของเสียที่เป็นของเหลว

กลุ่มที่ 4 ของเสียที่สามารถบำบัดได้เองในห้องปฏิบัติการ

โดยรายละเอียดของเสียแต่ละกลุ่มเป็นดังตารางที่ 1.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตารางที่ 1.6 ประเภทของเสียภายในห้องปฏิบัติการ

ประเภท	ลักษณะของเสีย
ของเสียที่เป็นสารเคมีหมดอายุ	สารเคมีที่หมดอายุแล้ว ให้เก็บคงไว้ในภาชนะเดิมและรักษาฉลากให้อ่านได้อย่างชัดเจน
ของเสียที่เป็นของแข็ง	<p>ของแข็งที่ระเบิดได้ หมายถึง สารเคมีที่สามารถระเบิดได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนสูงเกิน 40 องศาเซลเซียส หรือได้รับประกายไฟ หรือเกิดจากการกระแทกเสียดสี ตัวอย่างของสารเคมีในกลุ่มนี้ที่สามารถระเบิดได้ง่าย เช่น แอมโมเนียมไนเตรต แอมโมเนียมเปอร์คลอเรต แอมโมเนียมพิเครต</p> <p>ของแข็งไวไฟ หมายถึง สารเคมีที่สามารถติดไฟได้ง่ายหรือทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วให้แก๊สที่ติดไฟได้ง่าย ตัวอย่างเช่น โลหะแบริยม โซเดียม แคลเซียมไฮไดรด์</p> <p>ของแข็งกัดกร่อน หมายถึง สารเคมีที่มีฤทธิ์กัดกร่อนวัสดุและทำลายเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต เช่น กรดไตรคลอโรแอกซีติก แอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์</p>
ของเสียที่เป็นของเหลว	<p>ของเสียที่เป็นสารระเบิดได้ หมายถึง ของเสียที่เป็นสารที่เมื่อได้รับความร้อน การเสียดสี แรงกระแทก หรือความดันสูงจะสามารถระเบิดได้ เช่น ไนโตรเปอร์คลอเรต ไนโตรเอมีน ไนเตรต คลอเรต กรดพิเครต ไดอะโซ เพอร์ออกไซด์</p> <p>ของเสียที่เป็นสารไวไฟ หมายถึง ของเสียที่สามารถถูกติดไฟได้ง่าย ซึ่งต้องแยกเก็บให้ห่างจากแหล่งกำเนิดไฟ ห่างจากความร้อน ปฏิกิริยาเคมี เปลวไฟ เครื่องไฟฟ้า ปลั๊กไฟ ตัวอย่างสารไวไฟ เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ แอซิโตน ไสโคลเฮกเซน เบนซีน เอทานอล เมทานอล</p> <p>สารละลายไฮโดรคาร์บอนที่มีธาตุแฮโลเจน หมายถึง สารของเสียที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุแฮโลเจน ตัวอย่างเช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ สารละลายโบรมีน</p>

ตารางที่ 1.6 ประเภทของเสียภายในห้องปฏิบัติการ (ต่อ)

ประเภท	ลักษณะของเสีย
ของเสียที่เป็นของเหลว	<p>สารละลายกรด หมายถึง ของเสียที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 และมีกรดแปรนอยู่ในสารละลายมากกว่าร้อยละ 5 เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก</p> <p>สารละลายเบส หมายถึงของเสียที่มีค่า pH สูงกว่า 7 และมีเบสปนอยู่ในสารละลายมากกว่าร้อยละ 5 ตัวอย่างเช่น แอมโมเนีย คาร์บอนेट ไฮดรอกไซด์</p> <p>สารอินทรีย์ที่เป็นของเหลวหรือของเสียที่เป็นของเหลวอินทรีย์ที่สามารถเผาไหม้ได้ เช่น ตัวทำละลายอินทรีย์ คีโตน แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ แอลดีไฮด์</p> <p>สารละลายที่มีพิษสูง ตัวอย่างเช่น สารละลายโลหะหนัก สารละลายที่มีไซยาไนด์ โครเมียม พรอท สารหนู เป็นส่วนประกอบ ของเสียที่มีไอออนของโลหะหนักเป็นส่วนผสม เช่น แบเรียม แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง เหล็ก แมงกานีส เงิน ดีบุก สังกะสี โคบอล นิเกิล แอนติโมนี ทังสแตน</p> <p>สารละลายอนินทรีย์ ของเสียที่เป็นของเหลวอนินทรีย์</p>
ของเสียที่สามารถบำบัดได้เองในห้องปฏิบัติการ	<p>ตัวอย่างของเสียที่ห้องปฏิบัติการมีศักยภาพในการบำบัดได้เอง เช่น ของเสียที่เป็นกรดและด่างสามารถทำให้เป็นกลาง (Neutralization) ก่อนปล่อยลงท่อน้ำทิ้ง ข้อควรระวัง การกำจัดของเสียประเภทนี้ควรทำในตู้ดูดควันที่มีกระจกกัน รวมทั้งควรสวมเครื่องป้องกันที่เหมาะสม เช่น ถุงมือ เสื้อกาวน์ แว่นตา เพื่อป้องกันสารเคมีกระเด็นเข้าตา</p>

ที่มา : (ศูนย์บริหารความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล, 2555: 59)

2) การจัดเก็บของเสียภายในห้องปฏิบัติการ

การจัดเก็บของเสียภายในห้องปฏิบัติการนั้น มีข้อควรปฏิบัติ ดังนี้ (ศูนย์บริหารความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล, 2555: 62)

1. ระบุประเภทของเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในห้องปฏิบัติการอย่างชัดเจนและให้ทุกคนปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด
2. ระบุประเภทและชนิดของเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในห้องปฏิบัติการที่สามารถทิ้งลงท่อน้ำทิ้งได้โดยไม่ต้องจัดเก็บ
3. จัดเตรียมภาชนะจัดเก็บของเสียภายในห้องปฏิบัติการให้ถูกต้องตามประเภทของเสีย และควรบรรจุของเสียไม่เกินร้อยละ 80 ของปริมาตรภาชนะจัดเก็บ
4. ติดฉลากระบุหมายเลขและประเภทของเสียบนภาชนะจัดเก็บให้เห็นชัดเจน
5. บันทึกของเสียภายในห้องปฏิบัติการ โดยระบุวันที่ ประเภทของเสีย และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งของกิจกรรมลงในสมุดบันทึกของเสียประจำห้องปฏิบัติการ อีกทั้งควรบันทึกประเภทของเสียที่ห้องปฏิบัติการมีศักยภาพในการบำบัดได้เอง

3) ข้อควรปฏิบัติในการทิ้งของเสียจากห้องปฏิบัติการ

การทิ้งเป็นการกำจัดสารเคมีที่ไม่ต้องการโดยอาจใช้วิธีการเผาทิ้ง ผัง ทิ้งทะเล ลึก หรือเปลี่ยนให้เป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายก่อนทิ้ง สำหรับสารที่จะทิ้งจากห้องปฏิบัติการ มีหลักในการปฏิบัติดังนี้ (พงษ์ศักดิ์ ชัยศิริประเสริฐ และปรีศนา สิริอาษา, 2545: 22)

1. ต้องไม่เทสารที่เข้ากันไม่ได้ หรือทำปฏิกิริยารุนแรง ลงไปด้วยกันในอ่างน้ำทิ้ง
2. ต้องไม่เทสารที่ไม่ผสมกับน้ำ หรือทำปฏิกิริยากับน้ำลงอ่างน้ำทิ้ง
3. การเทกรดหรือด่างลงอ่างน้ำทิ้ง ต้องไม่เกิน 0.5 ลิตร ชะล้างด้วยน้ำมาก ๆ
4. สารเป็นพิษไม่ควรทิ้งลงท่อ ควรเก็บใส่ขวดแยกไว้ต่างหาก
5. ไม่เทสารชั้นเหนียว ของแข็ง หรือไวไฟลงอ่างน้ำทิ้ง
6. ถ้ามีสารปริมาณมาก ควรรวบรวมเก็บไว้ แล้วหาวิธีเอากลับคืนมาใช้ต่อ
7. ถ้าสารมีอันตรายต่อระบบนิเวศน์ ควรเปลี่ยนเป็นสารไม่อันตรายก่อนทิ้ง
8. แกสของโลหะที่ไม่เป็นพิษและไม่มีแอนไอออนที่เป็นพิษหรืออันตราย
9. ของเสียที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายและมีสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่ไม่เป็นพิษ ละลายอยู่ไม่เกินร้อยละ 5 สามารถทิ้งได้
10. ของแข็งที่ไม่มีสารเป็นพิษหรือมีอันตรายอย่างอื่น เช่น เศษแก้วที่สะอาด กระดาษกรอง ตัวดูดน้ำ สามารถทิ้งได้

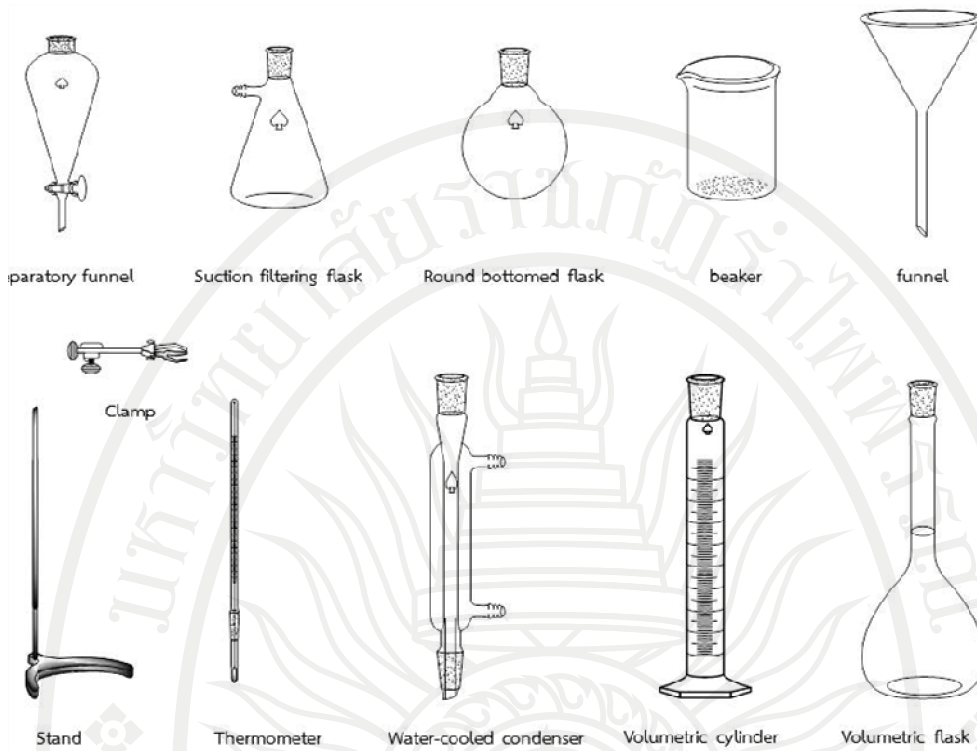
4) การบำบัดของเสียเบื้องต้นก่อนทิ้ง

ของเสียบางชนิดควรบำบัดก่อนทิ้งเพื่อลดความเป็นพิษหรืออันตรายลง
อย่างเช่น (สุทินนท์ บุญส่งแท้, 2553: 4)

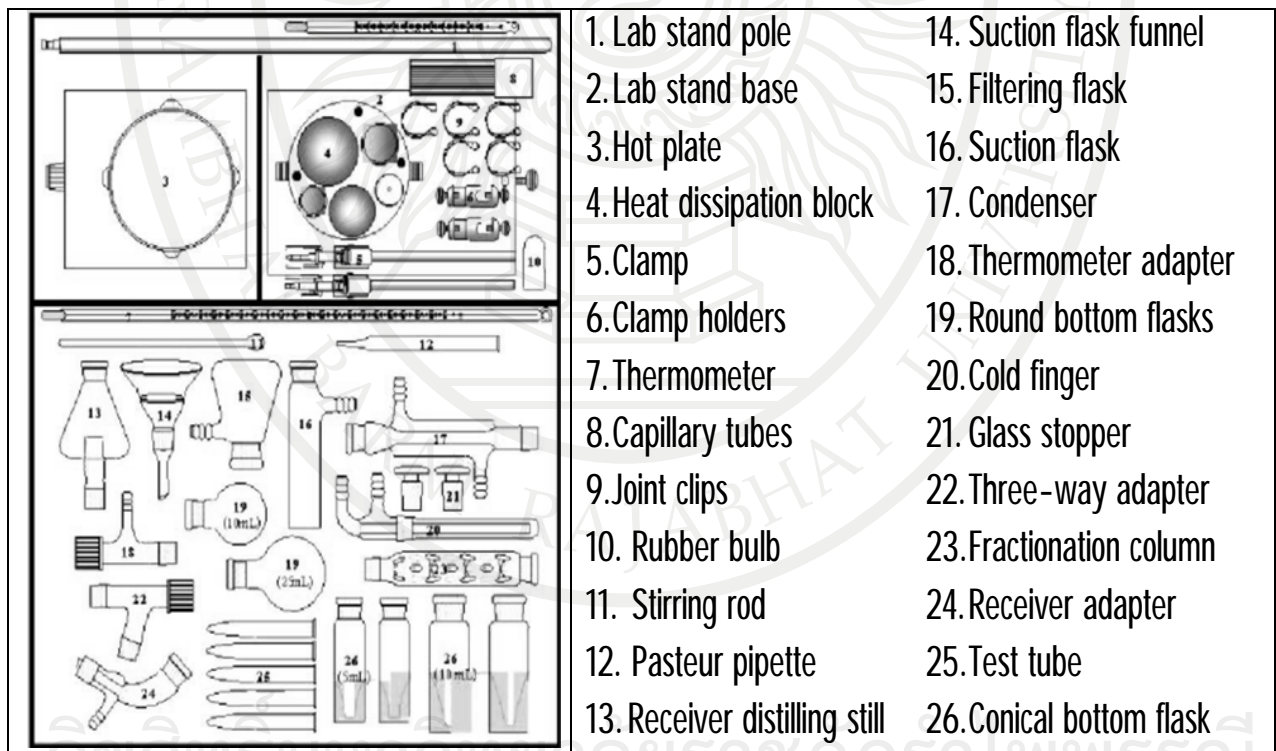
1. สารละลายกรดและเบสทำให้เป็นกลางแล้วทิ้งลงท่อน้ำและเปิดน้ำตามมาก ๆ
2. ตัวออกซิไดส์ ควรรีดิวส์ด้วยตัวรีดิวส์ที่เหมาะสมก่อนนำส่งเป็นของเสียประเภทอื่นหรือทิ้งลงท่อน้ำตามความเหมาะสม
3. ของแข็งที่มีตัวทำละลายอินทรีย์ปนอยู่ ตัวอย่างเช่น ซิลิกาที่เหลือจากการทำโครมาโทกราฟี ฝังให้แห้ง แล้วทิ้งเป็นของเสียประเภทของแข็ง
4. สารไวต่อน้ำหรืออากาศ ให้ทำลายด้วยน้ำหรือกรดอ่อน เช่น สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (สารที่เมื่อไฮโดรไลส์แล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเบส เช่น โลหะไฮดรอกไซด์หรือออร์แกโนเมทัลลิกรีเอเจนต์) หรือสารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนต (สารที่เมื่อไฮโดรไลส์แล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรด เช่น แอซิดแฮไลด์) แล้วนำส่งเป็นของเสียประเภทอื่นหรือทิ้งลงท่อน้ำตามความเหมาะสม
5. สารละลายที่ประกอบด้วยโลหะหนักในปริมาณน้อย (น้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) ทำให้เข้มข้นขึ้นโดยการตั้งทิ้งไว้ให้ระเหยแล้วทิ้งในสภาพสารละลายเข้มข้น
6. สารอินทรีย์ในไตรล์ สามารถบำบัดได้โดยการไฮโดรไลซิสในไตรล์ให้เป็นกรดที่ไม่เป็นพิษ เช่น การเปลี่ยนเบนโซไนไตรล์ให้กลายเป็นกรดเบนโซอิกด้วยการรีฟลักซ์ กับกรดเอทานอิกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อีกตัวอย่างเช่น แอซิโตไนไตรล์ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือชั้นสูงจัดเป็นสารที่อันตราย และติดไฟได้ เป็นอันตรายต่อร่างกาย จากการสัมผัสทางผิวหนัง การเข้าสู่ร่างกายทางช่องปาก และจากการหายใจ การกำจัดแอซิโตไนไตรล์ โดยนำแอซิโตไนไตรล์ทำปฏิกิริยากับเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วปรับ pH ปรับให้เป็นกลางโดยใช้กรดเกลือ ผลท้ายสุดของปฏิกิริยาได้เป็นกรดน้ำส้มเจือจาง และเกลือ สามารถทิ้งได้ตามปกติ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 46)

1.3 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี

เครื่องแก้วพื้นฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีมีหลายชนิดและมีวิธีการใช้งานที่แตกต่างกัน การใช้งานอย่างถูกวิธีจะช่วยให้การทดลองมีความถูกต้องน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น และยังช่วยลดโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุได้เป็นอย่างดี สำหรับเครื่องแก้วที่ใช้ในรายวิชานี้แบ่งเป็นสองแบบตามแต่ละปฏิบัติการ กล่าวคือ เครื่องแก้วขนาดมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไป ดังภาพที่ 1.3 และชุดทดลองขนาดเล็ก (Small-lab kit) ดังภาพที่ 1.4 สำหรับลักษณะการใช้งานอุปกรณ์เครื่องแก้วแต่ละประเภทแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1.7





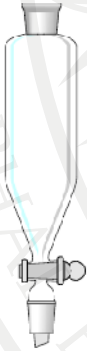
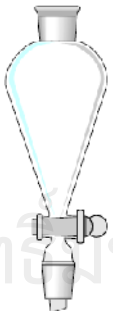
ภาพที่ 1.3 เครื่องแก้วขนาดมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไป



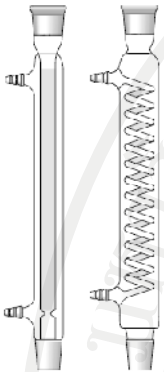


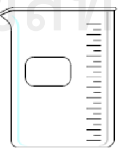
ภาพที่ 1.4 อุปกรณ์เครื่องแก้วในชุดทดลองขนาดเล็ก

ที่มา : (Tantayanon, S., 2009: 9)


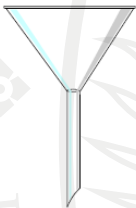


ตารางที่ 1.7 ลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์เครื่องแก้วแต่ละประเภท

ชื่อ	ลักษณะการใช้งาน
<p>ขวดก้นกลม (Round-bottomed flask)</p> 	<p>ภาชนะบรรจุสารในการทำปฏิกิริยาและในการกลั่น</p>
<p>ขวดสามคอ (Three-neck flask)</p> 	<p>ภาชนะบรรจุสารในการทำปฏิกิริยาที่มีความซับซ้อน เช่น ต้องเติมสารหลายชนิดระหว่างทำปฏิกิริยา จำเป็นต้องต่อกับเครื่องแก้วชิ้นอื่นอีก เช่น ข้อต่อเทอร์โมมิเตอร์ หรือกรวยหยด</p>
<p>กรวยหยด (Addition funnel)</p> 	<p>ภาชนะบรรจุของเหลวสำหรับเติมลงในของผสมที่ทำปฏิกิริยาโดยสามารถควบคุมอัตราเร็วของการเติมได้</p>
<p>กรวยแยก (Separatory funnel)</p> 	<p>ใช้สำหรับการสกัด</p>


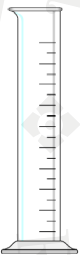



ตารางที่ 1.7 ลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์เครื่องแก้วแต่ละประเภท (ต่อ)

ชื่อ	ลักษณะการใช้งาน
<p>เครื่องควบแน่น (Condenser)</p> 	<p>ใช้สำหรับต่อกับเครื่องรีฟลักซ์และเครื่องกลั่น</p>
<p>คอลัมน์ลำดับส่วน (Fractionating column)</p> 	<p>ใช้สำหรับต่อเข้ากับอุปกรณ์ในการกลั่นลำดับส่วน</p>
<p>อะแดปเตอร์สำหรับ เทอร์มิเตอร์ (Thermometer adaptor)</p> 	<p>ใช้เสียบเทอร์มิเตอร์หรือท่อแก้วเข้ากับอุปกรณ์</p>
<p>บีกเกอร์ (Beaker)</p> 	<p>ใช้เก็บบรรจุนสารเคมีชั่วคราวหรือถ่ายเทสารเคมี</p>



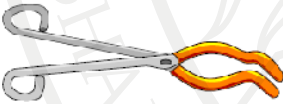
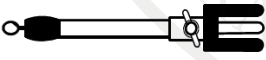
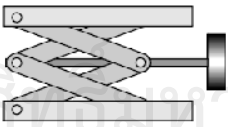
ตารางที่ 1.7 ลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์เครื่องแก้วแต่ละประเภท (ต่อ)

ชื่อ	ลักษณะการใช้งาน
<p>ขวดรูปกรวย Erlenmeyer flask (Conical flask)</p> 	<p>ใช้สำหรับการตกผลึก การเก็บสารละลายหลังการสกัด</p>
<p>กรวยแก้ว (Glass funnel)</p> 	<p>ใช้ในการถ่ายเทของเหลว เป็นอุปกรณ์สำหรับการกรอง</p>
<p>ขวดสุญญากาศ (Suction flask หรือ Buchner flask)</p> 	<p>ใช้ในการกรองสุญญากาศ</p>
<p>กรวยบุคเนอร์ (Buchner funnel)</p> 	<p>ใช้ร่วมกับขวดสุญญากาศในการกรองสุญญากาศ</p>

ตารางที่ 1.7 ลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์เครื่องแก้วแต่ละประเภท (ต่อ)

ชื่อ	ลักษณะการใช้งาน
หลอดหยด (Pasteur pipette หรือ Dropper) 	ใช้ในการถ่ายเทของเหลวปริมาณน้อย อาจประยุกต์ใช้เป็นคอลัมน์หรืออุปกรณ์สำหรับกรอง
กระจกตวง (Graduated cylinder) 	ใช้ในการวัดปริมาตรของเหลว
ชามระเหย (Evaporating dish) 	ใช้เป็นภาชนะบรรจุสารละลายในการให้ความร้อนเพื่อระเหยไล่ตัวทำละลาย
กระจกนาฬิกา (Watch glass) 	ใช้ปิดภาชนะเพื่อป้องกันไม่ใหตัวทำละลายระเหย หรือใช้บรรจุสารเพื่อนำไปทำให้แห้งด้วยการอังด้วยไอน้ำร้อน
ขาตั้งสามเหลี่ยม (Triangle stand) 	อุปกรณ์ช่วยรับน้ำหนักเครื่องแก้วระหว่างให้ความร้อนจากตะเกียง

ตารางที่ 1.7 ลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์เครื่องแก้วแต่ละประเภท (ต่อ)

ชื่อ	ลักษณะการใช้งาน
ขาตั้ง (Metal stand) 	ใช้เป็นหลักในการยึดเครื่องแก้ว
ขวดฉีดน้ำกลั่น (Wash bottle) 	ใช้บรรจุน้ำหรือตัวทำละลายที่ไว้ สำหรับชะล้าง
คีมเหล็ก (Tong) 	ใช้หนีบจับเครื่องแก้วที่ร้อน
แคลมป์ (Clamp) 	ใช้จับยึดกับเครื่องแก้วโดยปลาย ข้างหนึ่งยึดกับขาตั้ง
ตัวปรับระดับ (Lab jack) 	ใช้ปรับระดับในการจัดอุปกรณ์เครื่องแก้ว

ที่มา : (ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558: 14)

1.4 การแยกสารอินทรีย์และการทำสารอินทรีย์ให้บริสุทธิ์

1.4.1 การตกผลึก

การตกผลึก คือ กระบวนการทำของแข็งหรือผลึกที่ไม่บริสุทธิ์ให้เป็นสารละลายอิ่มตัวด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้วปล่อยให้ตกลงมาเป็นของแข็งในรูปของผลึกที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยในทางปฏิบัติเป็นการนำของแข็งที่จะทำให้บริสุทธิ์ไปละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิสูงจนเป็นสารละลายอิ่มตัว กรองขณะร้อนแล้วปล่อยให้สารละลายเย็นตัวลงสารจะค่อย ๆ ตกผลึกออกมา (วิจิตร เอื้อประเสริฐ และคณะ, 2547: 31) การเลือกตัวทำละลายในการตกผลึกนั้นจะต้องละลายของแข็งที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์ได้น้อยเมื่ออุณหภูมิต่ำ แต่ละลายได้มากเมื่ออุณหภูมิสูง และตัวทำละลายควรมีจุดเดือดต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของของแข็งที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์ ทั้งนี้เพื่อง่ายต่อการกำจัดตัวทำละลายหลังการตกผลึก นอกจากนี้ตัวทำละลายควรให้ผลึกของสารที่มีความบริสุทธิ์ชัดเจน ไม่แพง และมีความเป็นพิษต่ำ ในกรณีที่ไม่สามารถหาตัวทำละลายเดี่ยวที่เหมาะสมได้ อาจต้องใช้การตกผลึกแบบตัวทำละลายผสม นั่นคือ ใช้ตัวทำละลายที่ละลายสารนั้นได้ดีที่สุดผสมกับตัวทำละลายที่ไม่สามารถละลายสารนั้นได้หรือละลายได้น้อย และตัวทำละลายทั้งสองนั้นต้องผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (วิจิตร เอื้อประเสริฐ และคณะ, 2547: 35) สำหรับเทคนิคการตกผลึกในห้องปฏิบัติการเป็นตามลำดับขั้นตอนดังตารางที่ 1.8

ตารางที่ 1.8 เทคนิคการตกผลึกในห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนการตกผลึกในห้องปฏิบัติการ	เทคนิคในการปฏิบัติ
1. การหาตัวทำละลายที่เหมาะสม	ใช้ของแข็งขนาดเท่ากับ 1 เมล็ดถั่วเขียวใส่หลอดทดลอง ใส่ตัวทำละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร สังเกตการละลายขณะร้อนและเย็น
2. การเตรียมสารละลายเพื่อการตกผลึก	ใช้ขวดรูปกรวยบรรจุของแข็งแล้วเติมตัวทำละลายลงไปจนละลายหมดพอดี หรือใช้ตัวทำละลายจนเกินจุดอิ่มตัวขณะร้อนเล็กน้อย
3. การกรองสารละลายขณะร้อน	ใช้กรวยแก้วก้านสั้นและกระดาษกรองแบบพับจีบจะช่วยให้การกรองเร็วมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 1.8 เทคนิคการตกผลึกในห้องปฏิบัติการ (ต่อ)

ขั้นตอนการตกผลึกในห้องปฏิบัติการ	เทคนิคในการปฏิบัติ
4. ปลอ่ยให้ตกผลึก	ปลอ่ยให้สารละลายเย็นลงอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิห้อง โดยมีการรบกวนน้อยที่สุด แต่หากทิ้งไว้นานแล้วไม่ตกผลึก อาจกระตุ้นโดยใช้แท่งแก้วชูดที่ผนังด้านในภาชนะบริเวณผิวสัมผัสของเหลว หรือ ใส่ผลึกของสารนั้น 1 เก็ดลงไป หรือแช่ภาชนะในอ่างน้ำแข็ง
5. การกรองผลึก	การกรองแยกผลึกออกจากสารละลายควรใช้การกรองแบบดูด (Suction) โดยค่อย ๆ เทสารละลายส่วนบนที่ใสลงไปในการกรองก่อน แล้วจึงเทส่วนที่มีผลึกนอนก้นตามลงไป จะช่วยให้การกรองเร็วขึ้น
6. การล้างผลึก	ปิดระบบสุญญากาศแล้วใช้ตัวทำละลายที่เย็นจัด ปริมาณเล็กน้อยเทลงในกรวยบุคเนอร์พอท่วมผลึก คนอย่างรวดเร็วด้วยแท่งแก้วต่อระบบเข้ากับสุญญากาศเพื่อกรองดูดอีกครั้ง
7. การทำผลึกให้แห้ง	ใช้กระดาษกรองกดซับผลึกให้แห้ง จากนั้นถ่ายลงกระดาษฟิลาปลอ่ยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

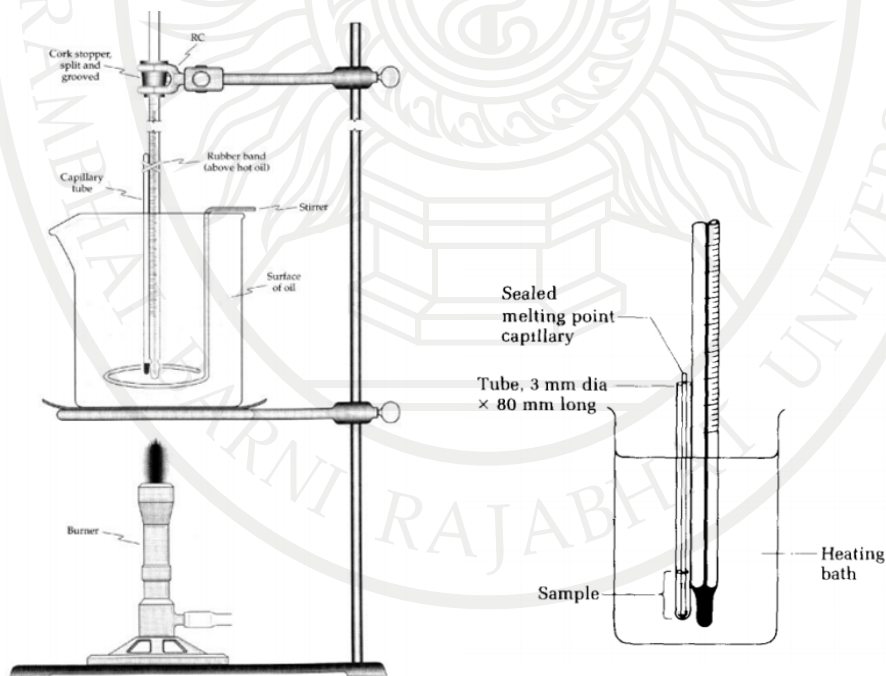
ที่มา : (วิจิตร เอื้อประเสริฐ และคณะ, 2547: 38)

1.4.2 การหาจุดหลอมเหลวและจุดเดือด

การหาจุดหลอมเหลวและจุดเดือดเป็นวิธีการหนึ่งสำหรับใช้ระบุว่าเป็นสารที่แยกได้นั้นมีความบริสุทธิ์หรือไม่ โดยจุดหลอมเหลวของสารนั้นหมายถึงอุณหภูมิที่สารเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ โดยจุดหลอมเหลวนี้สามารถใช้บอกความบริสุทธิ์ของของแข็งได้ เนื่องจากจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์จะมีค่าคงที่และมีช่วงที่แคบประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์จุดหลอมเหลวจะต่ำกว่าสารบริสุทธิ์ และมีช่วงการหลอมเหลวที่กว้าง นอกจากนี้จุดหลอมเหลวยังใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างว่าเป็นสารที่สงสัยหรือไม่ ซึ่งทำได้โดยหาจุดหลอมเหลวของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับของผสม

ระหว่างสารตัวอย่างและสารที่สงสัยในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งถ้ามีค่าคงที่และช่วงการหลอมเหลวแคบและไม่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์จะสรุปได้ว่าเป็นสารชนิดเดียวกัน แต่ถ้าช่วงการหลอมเหลวกว้างหรือมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าของสารบริสุทธิ์ สรุปได้ว่าเป็นสารต่างกัน เรียกวิธีนี้ว่า การหาจุดหลอมเหลวผสม (Mixed melting) (ศุภวรรณ ตันตยานนท์ และคณะ, 2547: 257)

สำหรับเทคนิคที่ใช้ในการหาจุดหลอมเหลวที่นิยมกันมากที่สุดคือ วิธีที่ใช้หลอดแคปิลารี โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการบรรจุสารลงหลอดแคปิลารี โดยนำสารที่แห้งและบดละเอียดใส่ในหลอดแคปิลารีให้สูงประมาณ 0.3-0.5 เซนติเมตร วิธีการใส่สารให้ใช้หลอดปลายเปิดกดลงบนกองสารแล้วเคาะหลอดทางปลายปิดโดยปล่อยหลอดแคปิลารีลงในกรวยแก้วก้านสั้นให้ปลายด้านปิดตกกระทบพื้น เพื่อให้ของแข็งตกลงกันหลอด จากนั้นผูกหลอดแคปิลารีกับปลายเทอร์โมมิเตอร์ โดยให้ระดับสารแนบอยู่ที่กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ ระมัดระวังอย่าให้ปลายหลอดแคปิลารีด้านเปิดจุ่มอยู่ใต้ระดับน้ำมัน จุ่มหลอดแคปิลารีลงในอ่างน้ำมันพาราฟิน หรือกลิเซอรอล หรือน้ำมันเมล็ดฝ้าย ให้ความร้อนแก่น้ำมัน คนน้ำมันอย่างสม่ำเสมอ สังเกตอุณหภูมิเมื่อสารมีการหลอมเหลว



ก. การหาจุดหลอมเหลว

ข. การหาจุดเดือด

ภาพที่ 1.5 การจัดอุปกรณ์เพื่อหาจุดหลอมเหลวแบบหลอดแคปิลารีและแบบเคมีไมโคร

ที่มา : (ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558: 42)

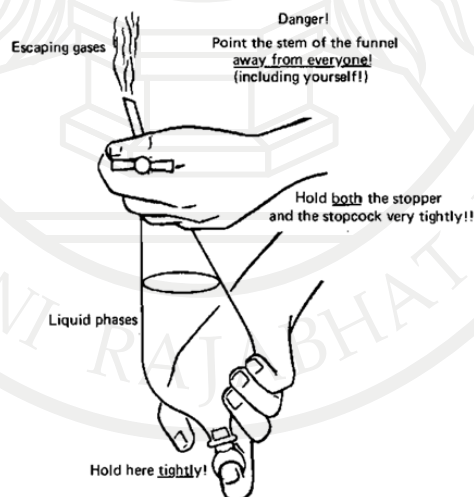
จุดเดือด หมายถึงอุณหภูมิที่ความดันไอของของเหลวมีค่าเท่ากับความดันที่อยู่เหนือของเหลวในขณะนั้น ดังนั้นจุดเดือดจึงแปรเปลี่ยนตามความดัน โดยเมื่อความดันสูงจะส่งผลให้จุดเดือดสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากความดันแล้วปัจจัยที่มีผลต่อจุดเดือดคือโครงสร้างของสารและขนาดของโมเลกุล ซึ่งจะส่งผลต่อแรงระหว่างโมเลกุล โดยสารที่มีแรงระหว่างโมเลกุลมากจะมีจุดเดือดสูง เพราะต้องใช้พลังงานมากในการทำลายแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลในสถานะของเหลวเพื่อให้เปลี่ยนไปเป็นสถานะแก๊ส สำหรับสารอินทรีย์ที่มีพันธะไฮโดรเจนเช่นสารในกลุ่มแอลกอฮอล์และกรดคาร์บอกซิลิกจะมีจุดเดือดที่สูงกว่าสารที่มีแรงระหว่างขั้ว และแรงแวนเดอร์วาลส์ เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้สารชนิดเดียวกันแต่มีจำนวนคาร์บอนไม่เท่ากันจะมีจุดเดือดที่แตกต่างกัน โดยสารที่มีมวลโมเลกุลมากจะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากตามไปด้วย อีกประการหนึ่งสารที่มีมวลโมเลกุลเท่ากันแต่โครงสร้างต่างกัน เช่น โครงสร้างเป็นโซ่ตรงโซ่กิ่ง พบว่าสารที่เป็นโซ่ตรงจะมีจุดเดือดที่สูงกว่าทั้งนี้เพราะโครงสร้างแบบโซ่ตรงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูงกว่าโครงสร้างแบบโซ่กิ่ง แม้จุดเดือดจะเป็นสมบัติทางกายภาพที่ใช้บ่งชี้ว่าเป็นสารบริสุทธิ์ได้แต่ไม่ดีเท่าจุดหลอมเหลวทั้งนี้เนื่องจากค่าจุดเดือดจะไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณสิ่งเจือปนมากเหมือนค่าจุดหลอมเหลว (ศุภวรรณ ตันตยานนท์ และคณะ, 2547: 263)

สำหรับเทคนิคที่นิยมใช้กันมากในห้องปฏิบัติการเคมีในการหาจุดเดือดคือวิธีเซมิไมโคร (Semimicro method) ซึ่งเป็นการหาจุดเดือดของของเหลวที่มีปริมาณน้อย โดยมีขั้นตอนเริ่มจากใช้หลอดทดลองบรรจุของเหลวที่เป็นสารตัวอย่าง 0.5-1 มิลลิลิตร จากนั้นคว่ำหลอดแคปิลารีด้านปลายเปิดลงจุ่มของเหลว และทำการผูกหลอดทดลองกับเทอร์โมมิเตอร์ โดยให้กระเปาะอยู่ติดกับหลอดทดลองตรงระดับที่มีของเหลวอยู่ ยึดเทอร์โมมิเตอร์และหลอดทดลองด้วยแคลมป์แล้วจุ่มลงบีกเกอร์น้ำมันพาราฟิน (ภาพที่ 1.5) ค่อย ๆ ให้ความร้อนและคนน้ำมันตลอดเวลา จากนั้นสังเกตฟองอากาศปุดออกมาที่ปลายหลอดแคปิลารี เมื่ออุณหภูมิถึงจุดเดือดของของเหลว จะเห็นฟองอากาศปุดเป็นสายอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง แต่อาจมีความคลาดเคลื่อนหากไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ หากต้องการให้อ่านจุดเดือดให้ถูกต้องมากขึ้น ให้หยุดให้ความร้อนแก่อ่างน้ำมัน เมื่อระบบเย็นลง อัตราเร็วของการเกิดฟองอากาศจะช้าลงเรื่อย ๆ จนถึงฟองสุดท้าย และของเหลวถูกดูดเข้าไปในหลอดแคปิลารี อุณหภูมิที่จุดนี้เป็นจุดเดือดของของเหลว เพราะเป็นจุดที่ความดันไอของของเหลวในหลอดแคปิลารีเท่ากับความดันบรรยากาศ

1.4.3 การสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการแยกสารออกจากสารผสม โดยใช้หลักการละลาย (Like dissolves like) นั่นคือสารที่มีสภาพขั้วคล้ายคลึงกันจะสามารถละลายเข้ากันได้ การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-liquid extraction) จะเกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution coefficient, K_d) ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราส่วนการกระจายของสารระหว่างตัวทำละลายสองชนิด ซึ่งค่านี้จะบ่งให้ทราบว่าสารที่ต้องการแยกจะสามารถละลายอยู่ในตัวทำละลายแต่ละชั้นของตัวทำละลายคู่่นั้น ๆ มากน้อยเพียงใด ดังนั้นการเลือกชนิดของตัวทำละลายในการสกัดจึงควรเลือกให้เหมาะสมโดยตัวทำละลายที่ดีควรละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดีซึ่งจะทำให้มีค่า K_d สูง และไม่ละลายสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการ ราคาไม่แพง จุดเดือดไม่สูงมากเพื่อให้ง่ายต่อการกำจัดในภายหลัง (วิจิตร เอื้อประเสริฐ และคณะ, 2547: 57)

เครื่องมือที่ใช้ในการสกัดแบบของเหลวด้วยของเหลวที่นิยมใช้กันคือ กรวยแยก ซึ่งต้องคอยตรวจสอบสภาพให้มีความพร้อมก่อนการใช้งาน โดยจุกปิด (Stopper) และก๊อกเปิดปิด (Stopcock) ต้องปิดสนิทไม่ไหลรั่วขณะทำการสกัด การบรรจุสารละลายในกรวยแยกไม่ควรเกินสองในสามของปริมาณกรวยแยกที่ใช้ ในขณะที่ทำการสกัดต้องเขย่ากรวยแยกด้วยมือทั้งสองโดยมือหนึ่งจับปากกรวยบริเวณจุกปิดและคอยดันไม่ให้จุกกระเด็นออกมา และอีกมือหนึ่งจับบริเวณก๊อกเปิดปิดเพื่อให้สะดวกต่อการเปิดหรือปิดกรวยแยกดังภาพที่ 1.6



ภาพที่ 1.6 วิธีจับและเขย่ากรวยแยกที่ถูกต้องขณะสกัดสาร
ที่มา : (Zubrick, J. W., 1988: 126)

ในระหว่างการเขย่าจะเกิดความดันภายในกรวยแยก ต้องคอยลดความดันโดยการเปิดก๊อกเป็นครั้งคราว จนไม่มีความดันภายในกรวยแยก เมื่อเขย่าจนตัวทำละลายสกัดสารได้ดีเพียงพอแล้ว ให้ตั้งกรวยแยกไว้บนห่วงเหล็ก ตัวทำละลายทั้งสองชั้นจะค่อย ๆ แยกออกจากกัน เมื่อแยกชั้นกันอย่างชัดเจนแล้ว ให้ไขสารชั้นล่างออกทางก๊อกเปิดปิด ส่วนสารชั้นบนให้เทออกทางปากกรวยเพื่อป้องกันไม่ให้อะไรละลายปนเปื้อนกัน แต่อย่างไรก็ตามอาจมีบางส่วนปนอยู่ จึงต้องมีการกำจัดออก ซึ่งหากเป็นน้ำปนอยู่จะสามารถกำจัดออกได้โดยใช้สารดูดน้ำ เช่น เกลือของกรดอินทรีย์

ปัญหาที่อาจพบได้ในการสกัดแบบของเหลวด้วยของเหลวคือการเกิดอิมัลชัน ซึ่งมักเกิดจากการเขย่ากรวยแยกรุนแรงเกินไป ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดย เขย่ากรวยแบบแกว่งเป็นวง แล้วตั้งทิ้งไว้โดยไม่รบกวน จากนั้นเติมเกลือแกงลงไปจนชั้นน้ำอิมัลชัน จะทำให้มีความแตกต่างจากชั้นของตัวทำละลายมากยิ่งขึ้น ทำให้อิมัลชันสลายตัวได้เร็วขึ้น ลำดับสุดท้ายคือการกรองด้วยตัวช่วยกรอง เช่น ซีโอไลต์ เพราะขณะกรองแต่ละเฟสที่อยู่ด้วยกันในอิมัลชันจะไม่ได้ผ่านลงมาพร้อมกัน เมื่อลงสู่ภาชนะรองรับจะไม่กลับไปผสมกันเกิดเป็นอิมัลชันได้อีก (วิจิตร เอื้อประเสริฐ และคณะ, 2547: 59)

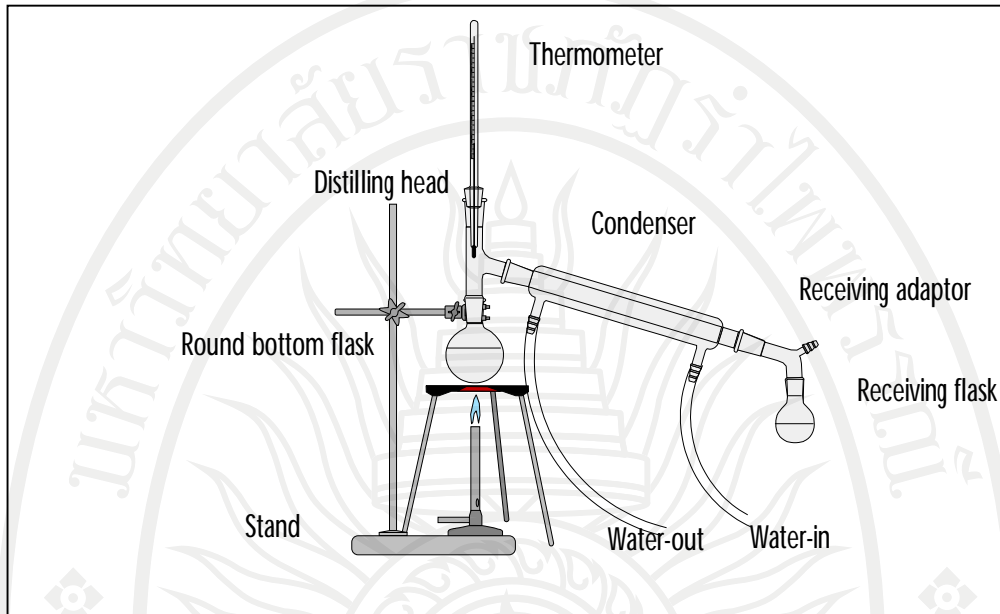
1.4.4 การกลั่น

การกลั่นคือการทำให้ของเหลวให้เป็นไอในภาชนะหนึ่งแล้วควบแน่นกลับเป็นของเหลวในอีกภาชนะหนึ่ง ส่วนที่ไม่กลายเป็นไอหรือของเหลวที่เหลือจะยังคงอยู่ในภาชนะให้ความร้อน การกลั่นเป็นเทคนิคพื้นฐานที่สำคัญวิธีหนึ่งสำหรับใช้แยกของเหลวผสมออกจากกันหรือทำของเหลวให้บริสุทธิ์โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด (ศุภวรรณ ต้นตยานนท์ และคณะ, 2547: 269) นอกจากนี้การกลั่นยังใช้ในการหาช่วงการเดือดของของเหลว เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ชนิดของสารได้อีกทางหนึ่ง การกลั่นแบ่งเป็น 4 ประเภท คือ

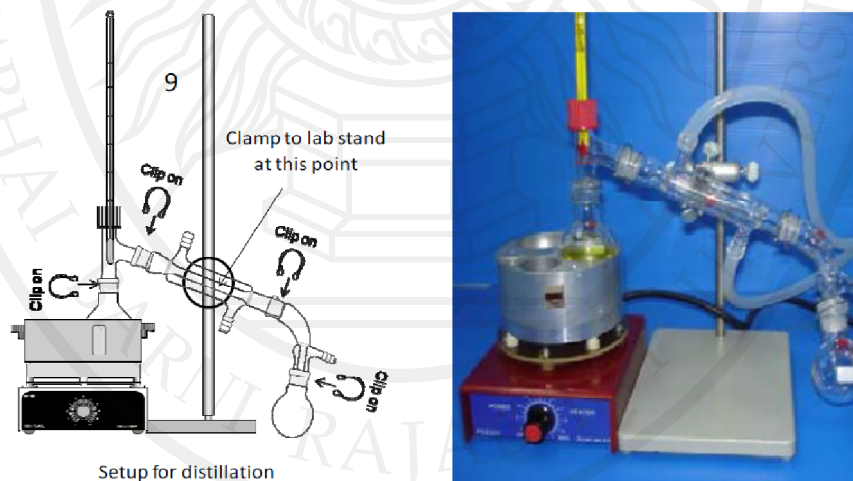
1) การกลั่นธรรมดา

ของเหลวที่แยกด้วยเทคนิคนี้ควรมีจุดเดือดต่างกันมากกว่า 80 องศาเซลเซียส แต่ถ้ามีจุดเดือดต่างกันในช่วง 30-80 องศาเซลเซียส อาจแยกออกจากกันได้ด้วยเทคนิคนี้แต่ต้องทำการกลั่นซ้ำหลาย ๆ ครั้ง เครื่องมือที่ใช้สำหรับการกลั่นธรรมดาประกอบด้วย ขวดกลั่น ซึ่งบรรจุของเหลวไว้ภายในไม่เกินสองในสามของขวดเพื่อป้องกันการเดือดล้นออกมาทางแขนข้างของขวดกลั่น บริเวณปากของหัวกลั่นที่มีเทอร์โมมิเตอร์เสียบอยู่ต้องปรับให้กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ต่ำกว่าระดับแขนข้างของขวดกลั่นประมาณ 0.5-1 เซนติเมตร แขนข้างของขวดกลั่นจะมีเครื่องควบแน่นที่ให้น้ำไหลเวียนเข้าออก โดยมีทางน้ำเข้าทางด้านล่างและทางน้ำออกทางด้านบน ส่วนของเครื่องควบแน่นจะถูกยึดไว้ด้วยแคลมป์และขาตั้ง การจัดอุปกรณ์การกลั่น

กรรมตาโดยใช้อุปกรณ์ขนาดมาตรฐานในห้องปฏิบัติการเป็นดังภาพที่ 1.7 ส่วนการจัดอุปกรณ์การกลั่นธรรมดาโดยใช้ชุดทดลองขนาดเล็กเป็นดังภาพที่ 1.8



ภาพที่ 1.7 การจัดอุปกรณ์การกลั่นธรรมดาโดยใช้อุปกรณ์ขนาดมาตรฐาน



ภาพที่ 1.8 การจัดอุปกรณ์การกลั่นธรรมดาโดยใช้ชุดทดลองขนาดเล็ก
ที่มา : (Tantayanon, S., 2009: 26)

2) การกลั่นลำดับส่วน

เทคนิคนี้ใช้แยกของเหลวผสมที่มีจุดเดือดต่างกันในช่วง 30-80 องศาเซลเซียส ออกจากกัน โดยเพิ่มคอลัมน์ลำดับส่วนในชุดกลั่นธรรมดา ซึ่งคอลัมน์ลำดับส่วนนี้จะถูกนำไป ต่ออยู่ระหว่างขวดกลั่นและหัวกลั่นที่ต่อไปยังเครื่องควบแน่น คอลัมน์ลำดับส่วนมีหลายแบบแต่ มีพื้นฐานเดียวกันคือเพิ่มพื้นที่ผิวภายในให้มากขึ้นเพื่อให้เกิดการควบแน่นซ้ำ ๆ หลายครั้ง ตัวอย่างของคอลัมน์ลำดับส่วน เช่น คอลัมน์ที่ภายในมีลักษณะคล้ายซี่เลื่อย (Vigrux column) คอลัมน์ที่มีลูกแก้วขนาดเล็กหรือ ขดลวดโลหะ (Packed column) การกลั่นลำดับส่วนนั้นสารที่มี จุดเดือดต่ำจะกลายเป็นไอด้วยสัดส่วนจำนวนโมลค่าหนึ่ง แล้วระเหยขึ้นไปกระทบผิวแก้วใน คอลัมน์ลำดับส่วนและถูกควบแน่นตกลงมายังส่วนล่างของคอลัมน์ ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำก็ จะกลายเป็นไอขึ้นไปอีกด้วยสัดส่วนจำนวนโมลที่เพิ่มสูงขึ้น แล้วเกิดการควบแน่นบริเวณ คอลัมน์ลำดับส่วนอีกครั้งตกลงสู่ด้านล่าง เกิดเป็นวัฏจักรซ้ำ ๆ เช่นนี้โดยส่วนที่เป็นไอจะ ประกอบด้วยสารที่มีจุดเดือดต่ำเป็นส่วนใหญ่ ส่วนของเหลวที่ควบแน่นอยู่ในคอลัมน์ลำดับส่วน จะประกอบด้วยสารที่มีจุดเดือดสูงเป็นส่วนใหญ่ จนกระทั่งเกิดการควบแน่นที่บริเวณบนสุด ของคอลัมน์ซึ่งจะมีสารจุดเดือดต่ำเพียงอย่างเดียวทำให้สามารถแยกสารที่จุดเดือดใกล้เคียง กันออกจากกันได้ การจัดอุปกรณ์การกลั่นลำดับส่วนเป็นดังภาพที่ 1.9



ก. อุปกรณ์ขนาดมาตรฐาน

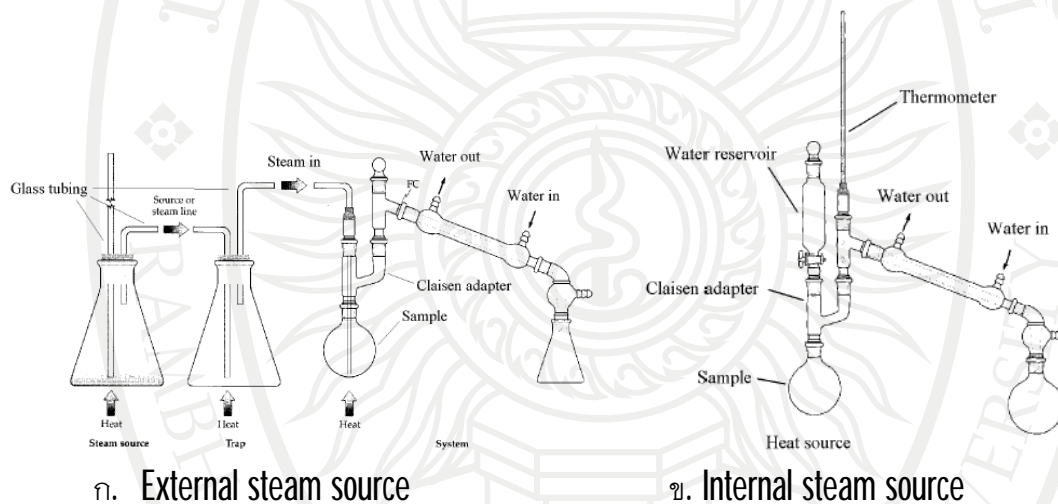
ข. อุปกรณ์ชุดทดลองขนาดเล็ก

ภาพที่ 1.9 การจัดอุปกรณ์การกลั่นลำดับส่วน

ที่มา : (Tantayanon, S., 2009: 27)

3) การกลั่นด้วยไอน้ำ

เทคนิคนี้ใช้แยกสารที่กลายเป็นไอได้ง่ายและไม่ละลายน้ำออกจากสารที่กลายเป็นไอได้ยาก และสารนั้นจะต้องไม่สลายตัวด้วยน้ำหรือทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ เทคนิคนี้มีข้อดีคือ สารที่ต้องการกลั่นจะออกมาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส จึงเหมาะกับการแยกสารอินทรีย์ที่ไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูง วิธีการกลั่นแบบนี้นิยมใช้ในการกลั่นแยกสารจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติเช่นน้ำมันหอมระเหย สำหรับการกลั่นด้วยไอน้ำในห้องปฏิบัติการทำได้ 2 วิธี คือ การกลั่นโดยผ่านไอน้ำจากภายนอกเข้าสู่ขวดบรรจุสาร (External steam source) ซึ่งนิยมใช้สำหรับกลั่นแยกของผสมที่เป็นตะกอนหรือเป็นยางเหนียว และการกลั่นโดยผสมน้ำกับสารที่ต้องการแยกภายในขวดเดียวกัน (Internal steam source) ซึ่งวิธีนี้สามารถใช้ได้กับสารที่มีปริมาณน้อย ๆ การจัดเครื่องมือสำหรับการกลั่นด้วยไอน้ำเป็นดังภาพที่ 1.10

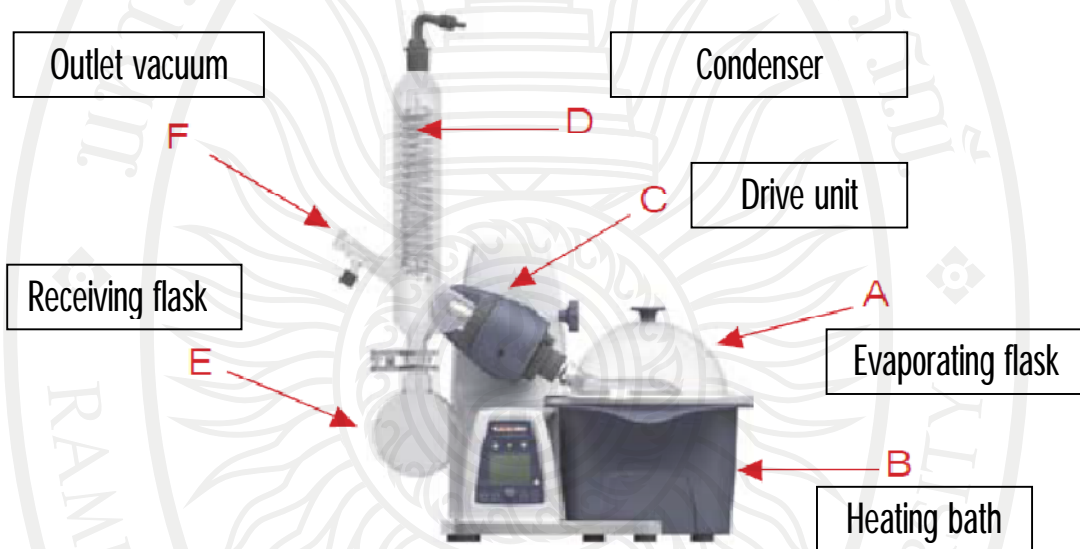


ภาพที่ 1.10 การจัดเครื่องมือสำหรับการกลั่นด้วยไอน้ำในห้องปฏิบัติการ
ที่มา : (ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558: 71)

4) การกลั่นแบบลดความดัน

เทคนิคการกลั่นแบบนี้ใช้สำหรับแยกของเหลวผสมที่มีจุดเดือดสูง และสลายตัวก่อนที่จะถึงจุดเดือด ซึ่งโดยปกติแล้วการลดความดันจะส่งผลทำให้จุดเดือดของสารลดต่ำลงด้วย โดยทั่วไปสำหรับสารอินทรีย์ ถ้าลดความดันจาก 760 มิลลิเมตรปรอท ไปเป็น 20 มิลลิเมตรปรอท จะลดจุดเดือดลงได้ประมาณ 90-120 องศาเซลเซียส วิธีในการลดความดัน สามารถทำได้โดยใช้ท่อน้ำดูดอากาศ เครื่องลดความดันที่ใช้ปั๊ม หรือ เครื่องลดความดันที่ใช้น้ำมัน ซึ่งสามารถเลือกใช้ตามจุดเดือดของสารที่ต้องการกลั่น โดยการใช้เครื่องลดความดัน

แบบใช้น้ำมันจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้ปั้มน้ำ หรือท่อน้ำดูดอากาศ โดยสามารถลดความดันได้ต่ำถึง 1 มิลลิเมตรปรอท ในขณะที่การใช้เครื่องลดความดันแบบปั้มน้ำ หรือท่อน้ำดูดอากาศจะลดความดันได้เพียง 15-20 มิลลิเมตรปรอท เท่านั้น ในปัจจุบันมีการนำหลักการของการกลั่นแบบลดความดันหรือภายใต้สภาวะสุญญากาศมาสร้างเป็นเครื่องมือที่เรียกว่าเครื่องกลั่นระเหยสุญญากาศแบบหมุน (Rotary evaporator) ซึ่งเครื่องกลั่นชนิดนี้นิยมใช้กันมากในปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ ดังภาพที่ 1.11



ภาพที่ 1.11 เครื่องกลั่นระเหยสุญญากาศแบบหมุน
ที่มา : (ปาลิยา เพียรโคกรวด, 2556: 12)

วิธีการใช้เครื่องมือนี้จะใส่สารตัวอย่างลงในขวดรองรับสารผสม (Evaporating flask) จากนั้นเมื่อให้ความร้อนภายใต้สภาวะสุญญากาศพร้อมทั้งมีการหมุนขวดเพื่อให้ความร้อนกระจายอย่างทั่วถึงในอ่างให้ความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ (Heating bath) จนกระทั่งถึงจุดเดือดของสารจะระเหยกลายเป็นไอเมื่อถึงส่วนควบแน่นจะกลั่นตัวอยู่ในภาชนะรองรับ (Receiving flask)

1.4.5 โครมาโทกราฟี

โครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคที่แยกสารผสมออกจากกันโดยอาศัยการกระจายตัวของสารที่แตกต่างกันในเฟสคงที่ (Stationary phase) และเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) ซึ่งการกระจายตัวของสารในแต่ละเฟสที่ไม่เท่ากันจะทำให้สารเคลื่อนออกมาจากเฟสเคลื่อนที่ได้ไม่พร้อมกันจึงทำให้เกิดการแยกขึ้น ทั้งนี้สารที่สามารถกระจายตัวอยู่ในเฟสเคลื่อนที่จะถูกแยกออกมาก่อนสารที่สามารถกระจายตัวได้ดีในเฟสคงที่ เทคนิคโครมาโทกราฟีอาจจำแนกได้เป็น 5 ประเภท คือ โครมาโทกราฟีแบบดูดซับ (Adsorption chromatography) โครมาโทกราฟีแบบแบ่งส่วน (Partition chromatography) โครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchange chromatography) โครมาโทกราฟีแบบแยกตามขนาด (Gel-filtration chromatography หรือ Size-exclusion chromatography) และโครมาโทกราฟีแบบจับจำเพาะหรือแบบสัมพรรคภาพ (Affinity chromatography) ดังตารางที่ 1.9

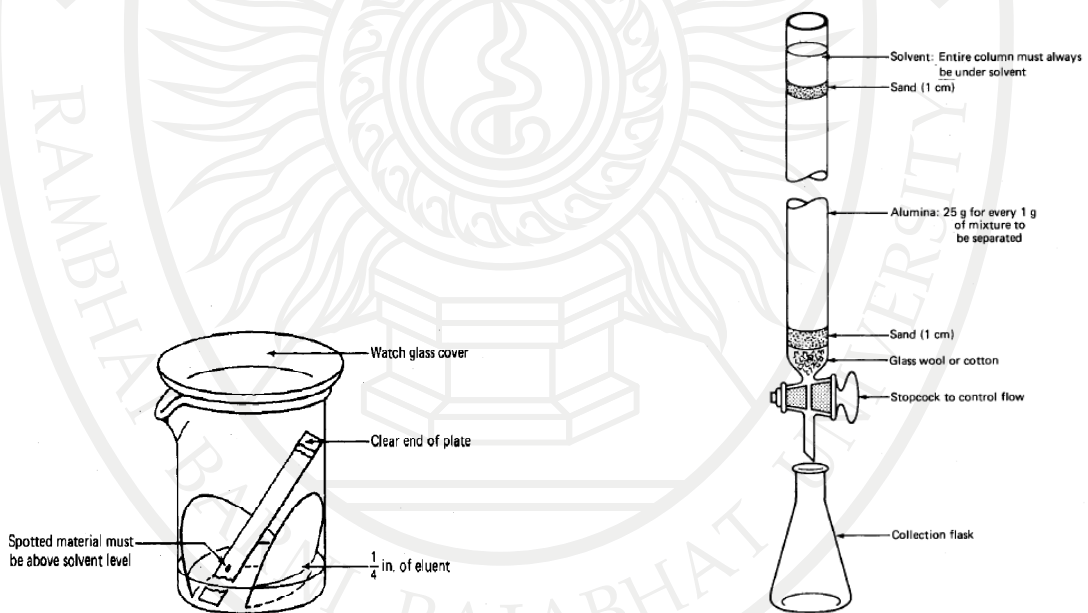
ตารางที่ 1.9 ประเภทของโครมาโทกราฟี

ประเภทของโครมาโทกราฟี	หลักการที่ใช้ในการแยกสาร
โครมาโทกราฟีแบบดูดซับ	แยกสารตามสมบัติการดูดซับ
โครมาโทกราฟีแบบแบ่งส่วน	แยกสารตามสมบัติการแบ่งละลาย
โครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนไอออน	แยกสารโดยการแลกเปลี่ยนประจุ
โครมาโทกราฟีแบบแยกตามขนาด	แยกสารตามขนาดของโมเลกุล
โครมาโทกราฟีแบบจับจำเพาะ	แยกสารตามความจำเพาะตัวของการจับกันของสารชีวโมเลกุล

ที่มา : (ศุภวรรณ ตันตยานนท์ และคณะ, 2547: 295)

เทคนิคทางโครมาโทกราฟีที่นิยมใช้กันในการเคมีอินทรีย์คือ โครมาโทกราฟีแบบดูดซับ ซึ่งเฟสคงที่เป็นตัวดูดซับที่สามารถดูดซับสารไว้บนพื้นผิวได้แตกต่างกัน ตัวดูดซับที่มีขั้วสูงจะดูดซับสารที่มีขั้วได้ดีกว่าสารที่ไม่มีขั้วดังนั้นสารที่ไม่มีขั้วจะถูกชะด้วยเฟสเคลื่อนที่ออกมาก่อนสารที่มีขั้ว ตัวดูดซับที่นิยมใช้กันคือซิลิกาเจล (Silica gel) ซึ่งสามารถใช้แยกสารได้เกือบทุกชนิด ส่วนอะลูมินา (Alumina) นิยมใช้แยกสารที่เป็นเบส การเลือกตัวทำละลายในเฟสเคลื่อนที่ที่มีส่วนสำคัญในแยก ตัวทำละลายที่มีขั้วสูงจะพาสารเดินทางอย่างรวดเร็วจนทำให้ไม่

เกิดการแยก จึงควรเลือกตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำก่อนแล้วค่อย ๆ เพิ่มขั้วของตัวทำละลาย เพื่อให้การแยกมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างของโครมาโทกราฟีแบบดูดซับ ได้แก่ โครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์ (Column chromatography) และโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง (Thin layer chromatography, TLC) ซึ่งโครมาโทกราฟีทั้งสองชนิดนี้มีความเหมาะสมกับการใช้งานที่ต่างกัน กล่าวคือ โครมาโทกราฟีแบบแผ่นบางจะนิยมใช้สำหรับงานคุณภาพวิเคราะห์และแยกสารปริมาณน้อย เป็นวิธีที่สะดวก และรวดเร็วกว่าแบบคอลัมน์ โดยเทคนิคนี้จะมีตัวดูดซับเคลือบอยู่บนแผ่นกระจกบาง หรือบนแผ่นพลาสติก และมีทิศทางการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่จากด้านล่างของแผ่น TLC ในลักษณะที่ขึ้นทางด้านบน ดังภาพที่ 1.12 ก ในขณะที่โครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์ มีเฟสคงที่เป็นตัวดูดซับบรรจุไว้ในคอลัมน์ และมีเฟสเคลื่อนที่เป็นตัวทำละลายเคลื่อนที่ไหลผ่านตัวดูดซับลงมา ตัวเคลื่อนที่จะพาสารเคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วที่ต่างกันโดยมีทิศทางการเคลื่อนที่จากด้านบนลงสู่ด้านล่าง ดังภาพที่ 1.12 ข



ก. โครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง

ข. โครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์

ภาพที่ 1.12 เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบางและแบบคอลัมน์

ที่มา : (Zubrick, J. W., 1988: 203, 211)

1.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารอินทรีย์ในเบื้องต้น

การพิสูจน์เอกลักษณ์สารอินทรีย์มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการที่จะทำให้ทราบว่าสารอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นหรือแยกได้จากธรรมชาตินั้นเป็นสารชนิดใดหรือมีโครงสร้างอย่างไร ซึ่งการวิเคราะห์สารอินทรีย์นี้ต้องประมวลความรู้ทั้งในเรื่องสมบัติทางกายภาพ เช่น สี สถานะกลิ่น สมบัติการละลาย จุดหลอมเหลว และจุดเดือด สมบัติทางเคมีของสารอินทรีย์ในด้านการเกิดปฏิกิริยากับสารหรือรีเอเจนต์บางชนิด ซึ่งจะนำไปสู่การระบุชนิดหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ได้ สำหรับขั้นตอนในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารอินทรีย์ (วิจิตร เอื้อประเสริฐ และคณะ, 2547: 290) ในระดับนี้ มีขั้นตอนที่สำคัญ 5 ขั้นตอน คือ

1) การตรวจสอบเบื้องต้น

เป็นการตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นด้าน สถานะ สี กลิ่น รวมไปถึงจนถึงสมบัติในการติดไฟ ซึ่งสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะติดไฟได้ การทดสอบการติดไฟนี้ทำได้โดยการนำสารประมาณ 0.1 กรัม เผาบนเบ้าด้วยเปลวไฟโดยตรง ถ้าเป็นสารอินทรีย์ประเภทอิมมัตวจะติดไฟให้เปลวไฟที่ไม่มีสีและไม่มีเขม่าเกิดขึ้น ในขณะที่สารอินทรีย์ไม่อิมมัตว หรือสารอะโรมาติก จะทำให้เกิดเขม่า แต่ถ้าเผาแล้วหลงเหลือขี้เถ้าแสดงว่าสารนั้นเป็นเกลือของโลหะ โดยขี้เถ้าที่นำมานำมาละลายน้ำแล้วมีฤทธิ์เป็นเบสแสดงว่าเป็นโลหะแอลคาไลน์หรือแอลคาไลน์เอิร์ท แต่ถ้าเป็นขี้เถ้าที่ไม่ละลายในกรดเกลือแสดงว่าเป็นโลหะหนัก

2) การหาจุดเดือด จุดหลอมเหลว

สารที่เป็นของแข็งควรหาจุดหลอมเหลว โดยสารบริสุทธิ์จะมีช่วงการหลอมเหลวแคบไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส ส่วนสารที่เป็นของเหลวควรหาจุดเดือดซึ่งของเหลวบริสุทธิ์จะมีจุดเดือดที่คงที่ หากสารที่จะนำมาทดสอบยังไม่บริสุทธิ์ควรทำให้บริสุทธิ์ก่อนโดยสารที่เป็นของแข็งให้ทำบริสุทธิ์ด้วยวิธีการตกผลึก ส่วนของเหลวให้ใช้การกลั่น

3) การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในสารอินทรีย์โดยทั่วไป ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และแฮโลเจน ซึ่งการตรวจวิเคราะห์ธาตุเหล่านี้มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนธาตุให้อยู่ในรูปของสารประกอบอย่างง่ายหรือไอออนที่สามารถตรวจสอบได้ก่อน กรณีการตรวจหาคาร์บอนและไฮโดรเจนทำได้โดยการออกซิไดส์ด้วยคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ (CuO) ซึ่งเปลี่ยนธาตุคาร์บอนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเปลี่ยนธาตุไฮโดรเจนไปเป็นไอน้ำ (H_2O) สำหรับการตรวจสอบคาร์บอนไดออกไซด์ทำได้โดยใช้สารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์ (Ba(OH)_2) จะทำให้เกิดเป็นตะกอนสีขาวของแบเรียม

คาร์บอเนต (BaCO_3) ขึ้น ส่วนไอออน้ำจะควบแน่นเห็นเป็นหยดน้ำเมื่อให้ความเย็น สำหรับการตรวจหาซัลเฟออร์ ไนโตรเจน และแฮโลเจน ทำได้โดยการหลอมสารอินทรีย์กับโลหะโซเดียมเกิดเป็นสารประกอบ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โซเดียมไซยาไนด์ (NaCN) และโซเดียมแฮไลด์ (NaX) ตามลำดับ เรียกวิธีการนี้ว่า โซเดียมฟิวชัน (Sodium fusion) ซึ่งไอออนจากสารประกอบเหล่านี้สามารถตรวจสอบได้โดยง่ายโดยใช้ปฏิกิริยาการเกิดสี หรือตะกอน ดังตารางที่ 1.10

ตารางที่ 1.10 วิธีการทดสอบไอออนซัลไฟด์ ไซยาไนด์ แฮไลด์

ไอออนที่ทดสอบ	รีเอเจนต์ที่ใช้ทดสอบ	ผลการทดสอบบวก (Positive test)
ซัลไฟด์ (S^{2-})	$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}/\text{CH}_3\text{COOH}$	ตะกอนดำ
	$\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}$ (Sodium nitroprusside)	สารละลายสีม่วงแกมน้ำเงิน
ไซยาไนด์ (CN^-)	$\text{FeSO}_4/\text{dil. H}_2\text{SO}_4$	ตะกอนสีน้ำเงินเข้ม
แฮไลด์ (X^-)	AgNO_3	ตะกอนสีขาว-เหลือง ขึ้นกับชนิดแฮไลด์

ที่มา : (วิจิตร เอื้อประเสริฐ และคณะ, 2547: 290)

4) การหาคลัสการละลาย

เป็นการทดสอบสมบัติการละลายของสารอินทรีย์ในตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ และหมายรวมถึงปฏิกิริยา กรด-เบส ด้วย สำหรับตัวทำละลายที่ใช้ คือ น้ำ (H_2O), โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร (5%w/v NaOH), โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร (5%w/v NaHCO_3) กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร (5%v/v HCl) และ กรด H_2SO_4 เข้มข้น (Conc. H_2SO_4) ซึ่งผลการทดสอบการละลายในตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด ข้างต้น จะสามารถแบ่งคลัสการละลายได้เป็น 8 กลุ่ม คือ กรดแก่ที่ละลายน้ำได้ (Water soluble strong acid) กรดอ่อนที่ละลายน้ำได้ (Water soluble weak acid) เบสที่ละลายน้ำได้ (Water soluble base) สารเป็นกลางที่ละลายน้ำได้ (Water soluble neutral compound) กรดแก่ไม่ละลายน้ำ (Strong acid) กรดอ่อนที่ไม่ละลายน้ำ (Weak acid) เบสที่ไม่ละลายน้ำ (Basic compound) และสารเป็นกลางที่ไม่ละลายน้ำ (Neutral compound) ดังตารางที่ 1.11

วิธีในการทดสอบหาคلاسการละลายจะเริ่มต้นจากการใช้สารตัวอย่าง 1 เมล็ด ถั่วเขียวหากเป็นของแข็ง หรือใช้สาร 4 หยด หากเป็นของเหลว นำไปทดสอบในตัวทำละลาย ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ทั้งนี้ให้เริ่มต้นจากการใช้น้ำในการทดสอบเป็นลำดับแรกแล้วจึงทดสอบ ด้วยตัวทำละลายชนิดอื่น ๆ ตามลำดับดังนี้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต กรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟิวริก โดยผลการทดสอบด้วยน้ำจะแบ่งเป็น 2 กรณี ใหญ่ ๆ คือ ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ

กรณีแรกถ้าทดสอบด้วยน้ำแล้วพบว่าสารตัวอย่างละลายน้ำให้ทดสอบด้วย กระดาษลิตมัส ซึ่งถ้าเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีน้ำเงินเป็นแดงแสดงว่าเป็นกรด ต้องทำการ ทดสอบต่อด้วยโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร เพื่อแยกว่าจัดเป็น กรดแก่ที่ละลายน้ำได้ หรือ กรดอ่อนที่ละลายน้ำได้ โดยหากสารตัวอย่างสามารถทำให้เกิด ฟองแก๊สในตัวทำละลายนี้ได้ แสดงว่าสารตัวอย่างมีคลาสการละลายเป็นกรดแก่ที่ละลายน้ำได้ นั้นเอง แต่ถ้าหากสารตัวอย่างละลายน้ำและเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน ให้ทดสอบสารกับไฮรอน (III) คลอไรด์ซึ่งเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร (1%w/v FeCl₃) เพื่อเป็นการยืนยันว่าเป็นสารในกลุ่มเบสอ่อนที่ละลายน้ำหรือไม่ โดยสารกลุ่มนี้จะต้องให้ ตะกอนสีน้ำตาลแดงเมื่อทำปฏิกิริยากับสารนี้ ในกรณีที่สารตัวอย่างละลายน้ำแต่ไม่เปลี่ยนสี กระดาษลิตมัสทั้งสองสี หรือเห็นการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจนให้ทดสอบกับไฮรอน (III) คลอไรด์ เช่นเดียวกัน ซึ่งถ้าผลการทดสอบไม่ทำให้สารละลายสีม่วง เขียว ชมพู และตะกอนสีน้ำตาลแดง แสดงว่าจัดอยู่ในกลุ่มสารเป็นกลางที่ละลายน้ำ

กรณีที่สองหากทดสอบแล้วพบว่าสารตัวอย่างไม่ละลายน้ำ ให้ทดสอบการ ละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร ซึ่งถ้าสารตัวอย่างละลายในตัว ทำละลายนี้ ให้ทดสอบด้วยโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร เพื่อ แยกว่าเป็น กรดอ่อนที่ไม่ละลายน้ำ หรือ กรดแก่ที่ไม่ละลายน้ำ โดยสังเกตจากการเกิดฟอง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งถ้าเกิดฟองแก๊สแสดงว่าสารตัวอย่างเป็นกรดแก่ที่ไม่ละลายน้ำ สำหรับสารตัวอย่างที่ไม่สามารถละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ทดสอบกับตัวทำละลาย ไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร หากสารตัวอย่างสามารถละลายได้แสดงว่าเป็น เบสที่ไม่ละลายน้ำ แต่ถ้าหากไม่ละลายให้ทดสอบกับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น เป็นลำดับสุดท้าย

ตาราง 1.11 การหาคลัสการละลายและการหาหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์

ตัวทำละลาย					คลัสการละลาย (Solubility class)	หมู่ฟังก์ชัน (Functional group)			
น้ำ	5% NaOH	5% NaHCO ₃	5% HCl	Conc. H ₂ SO ₄		Neutral (Carbonyl/ Alcohol/ Hydrocarbon)	Phenolic	Carboxylic	Amine
ละลาย (ลิตมัส: น้ำเงิน→แดง)	-	ละลาย (ได้ฟองแก๊ส CO ₂)	-	-	กรดแก่ที่ละลายน้ำได้ (Water soluble strong acid)		√	√	
ละลาย (ลิตมัส: ไม่เปลี่ยนสีทั้งสองสี)	-	ไม่เกิดฟองแก๊ส CO ₂	-	-	กรดอ่อนที่ละลายน้ำได้ (Water soluble weak acid) หมายเหตุ: ต้องทดสอบกับ FeCl ₃ ให้สารละลายสีม่วง เขียว ชมพู หรือสีอื่นที่ต่างจาก blank test		√		
ละลาย (ลิตมัส: แดง→น้ำเงิน)	-	-	-	-	เบสที่ละลายน้ำได้ (Water soluble base) หมายเหตุ: ต้องทดสอบกับ FeCl ₃ ให้ตะกอนสีน้ำตาลแดง				√
ละลาย (ลิตมัส: ไม่เปลี่ยนสีทั้งสองสี)	-	-	-	-	สารเป็นกลางที่ละลายน้ำได้ (Water soluble neutral compound) หมายเหตุ: ต้องทดสอบกับ FeCl ₃ และไม่ให้สารละลายสีม่วง เขียว ชมพู และตะกอนสีน้ำตาลแดง	√			
ไม่ละลาย	ละลาย	ละลาย (ได้ฟองแก๊ส CO ₂)	-	-	กรดแก่ไม่ละลายน้ำ (Strong acid)		√	√	
ไม่ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย		-	กรดอ่อนที่ไม่ละลายน้ำ (Weak acid)		√		
ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	-	ละลาย	-	เบสที่ไม่ละลายน้ำ (Basic compound)				√
ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	-	ไม่ละลาย	ละลาย	สารเป็นกลางที่ไม่ละลายน้ำ (Neutral compound)	√			

ที่มา : (เฟด็จ ลิทธิสุนทร และคณะ, 2543: 133)

ซึ่งสารอินทรีย์โดยส่วนใหญ่จะสามารถละลายได้ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น แต่จะมีสารบางชนิดที่เมื่อละลายแล้วจะเกิดปฏิกิริยาเคมีให้ผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนไปจากเดิม หรืออาจได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ละลาย ในกรณีนี้ยังคงถือว่าสามารถละลายได้ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น และจัดอยู่ในกลุ่มสารเป็นกลางที่ไม่ละลายน้ำ

5) การหาหมู่ฟังก์ชัน

เมื่อทดสอบหาคลาสการละลายได้แล้ว คลาสการละลายนี้จะเป็นแนวทางนำไปสู่การหาหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งจากตารางที่ 1.12 โดยสามารถแบ่งการหาหมู่ฟังก์ชันที่เป็นไปได้ ออกเป็น 3 กรณี คือ หมู่ฟังก์ชันกลุ่มกรด กลุ่มเบส และกลุ่มที่เป็นกลาง

กรณีที่ 1 กลุ่มสารที่เป็นกรด หากสารตัวอย่างจัดอยู่ในคลาสรดอ่อนที่ละลายน้ำ หรือกรดอ่อนที่ไม่ละลายน้ำ หมู่ฟังก์ชันของสารในกลุ่มนี้ที่เป็นไปได้คือฟีนอล (Phenolic compound) ซึ่งต้องทำการทดสอบโดยใช้รีเอเจนต์เพิ่มเติมดังตารางที่ 1.11 เพื่อยืนยันว่าเป็นสารประกอบฟีนอล เช่น สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) น้ำโบรมีน ($\text{Br}_2/\text{H}_2\text{O}$) แต่ถ้าสารตัวอย่างจัดอยู่ในคลาสรดแก่ทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำจำเป็นต้องทดสอบหมู่ฟังก์ชันทั้งฟีนอลและคาร์บอกซิลิก ทั้งนี้เนื่องจากสารบางชนิดอาจมีหมู่ฟังก์ชันมากกว่าหนึ่งชนิดคือมีทั้งฟีนอลและคาร์บอกซิลิกในโมเลกุลเดียวกัน

กรณีที่ 2 กลุ่มสารที่เป็นเบส หมู่ฟังก์ชันที่เป็นไปได้คือเอมีน (Amine) ซึ่งสารประกอบเอมีนแบ่งออกเป็นอะลิเฟติกเอมีน (Aliphatic amine) และอะโรมาติกเอมีน (Aromatic amine) ที่สามารถแยกความแตกต่างของเอมีนแต่ละชนิดได้โดยใช้การทดสอบด้วยโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (Sodium nitroprusside test) ปฏิกิริยาไดแอโซไทเซชันและควบแน่น (Diazotization and coupling) และน้ำโบรมีน

กรณีที่ 3 กลุ่มสารที่เป็นกลาง หมู่ฟังก์ชันที่เป็นไปได้อาจมีหลายชนิด ได้แก่ กลุ่มสารประกอบคาร์บอนิล คือ แอลดีไฮด์และคีโตน กลุ่มแอลกอฮอล์ และกลุ่มไฮดรอกซิลคาร์บอน ซึ่งการทดสอบควรเริ่มจากการหาหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลก่อนโดยการนำสารตัวอย่างทดสอบกับ 2,4-ไดไนโตรฟีนิลไฮดราซีน (2,4-Dinitrophenylhydrazine หรือ 2,4-DNP) ผลบวกของการทดสอบจะสังเกตเห็นตะกอนสีเหลือง สีส้ม หรือสีแดง สารในกลุ่มคาร์บอนิลนี้สามารถแยกความแตกต่างระหว่างแอลดีไฮด์และ คีโตนได้โดยใช้ Schiff's reagent โดยแอลดีไฮด์จะให้ผลบวกกับรีเอเจนต์นี้เกิดเป็นสารละลายสีชมพูถึงม่วง นอกจากนี้การระบุชนิดของสารประกอบแอลดีไฮด์และคีโตนให้ละเอียดว่าเป็นอะโรมาติกอะลิเฟติกที่มีหมู่เมทิลหรือมีหมู่แอลฟาไฮดรอกซี (α -Hydroxy) นั้น จำเป็นต้องใช้รีเอเจนต์หลายชนิดตามตารางที่ 1.11 ในกรณีที่สารตัวอย่างไม่มีหมู่คาร์บอนิลจะไม่พบตะกอนสีเหลืองเมื่อทดสอบด้วย 2,4-DNP ให้ทำการ

ทดสอบเพื่อหาหมู่ฟังก์ชันแอลกอฮอล์ต่อโดยทดสอบกับสารซิริกแอมโมเนียมไนเตรต ซึ่งผลบวกจะให้สีส้มแดง แต่หากไม่เป็นเช่นนั้นให้สรุปได้ว่าสารตัวอย่างไม่ใช่แอลกอฮอล์ให้ทำการทดสอบหมู่ฟังก์ชันไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัวเป็นลำดับสุดท้ายด้วยการฟอกจางสีโบรมีนหรือต่างทับทิม

ตารางที่ 1.12 รีเอเจนต์ที่ใช้ทดสอบหมู่ฟังก์ชัน

หมู่ฟังก์ชัน	หมู่ฟังก์ชันย่อย	รีเอเจนต์	ผลการทดสอบบวก
Carbonyl (Aldehyde/ketone)	Aldehyde/ketone	2,4-DNP	ตะกอนสีเหลือง ส้มแดง
	Aldehyde	Schiff's reagent	สารละลายสีชมพู-ม่วง
	Methyl ketone/aldehyde	Iodoform test	ตะกอนสีเหลืองฟาง
	Aldehyde/ α -hydroxy ketone	Tollens' reagent	โลหะเงินมันวาว (Silver mirror)
	Aliphatic aldehyde/ α -hydroxy ketone	Benedict's reagent	ตะกอนสีแดงอิฐ
Alcohol	Alcohol (R-OH)	Ceric ammonium nitrate reagent	สารละลายสีส้มแดง
	Alcohol ที่มีโครงสร้างแบบ $\text{CH}_3\text{-CH(R)-OH}$	Iodoform test	ตะกอนสีเหลืองฟาง
	$1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$ Alcohol	Lucas reagent	3° Alcohol ชุ่มทันที 2° Alcohol ชุ่ม 2-5 นาทีที่อุณหภูมิห้อง หรือนำไปอุ่น ส่วน 1° Alcohol ไม่ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง

ที่มา : (เฟด็จ ลิขิตสุนทร และคณะ, 2543: 135)

ตารางที่ 1.12 รีเอเจนต์ที่ใช้ทดสอบหมู่ฟังก์ชัน (ต่อ)

หมู่ฟังก์ชัน	หมู่ฟังก์ชันย่อย	รีเอเจนต์	ผลการทดสอบบวก
Unsaturated hydrocarbon	Alkene/alkyne	KMnO_4	สารละลายสีม่วงจางหายไป กลายเป็นใสไม่มีสีและเกิดตะกอนสีน้ำตาลดำ
		$\text{Br}_2/\text{CH}_2\text{Cl}_2$	สารละลายสีส้มจางหายไป กลายเป็นใสไม่มีสี
Carboxylic acid	-	5% NaHCO_3	เกิดฟองแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์
Phenolic	-	5% FeCl_3	สารละลายสีเข้ม ม่วง แดง น้ำเงิน หรือสีแตกต่างจาก Blank test
		Ceric ammonium nitrate reagent	ตะกอนสีน้ำตาล หรือน้ำเงินแกมเขียว เมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย
		$\text{Br}_2/\text{H}_2\text{O}$	ตะกอนหนักสีขาว
Amine	Aromatic amine	$\text{Br}_2/\text{H}_2\text{O}$	ตะกอนสีขาวขุ่น
	1°, 2°, 3° Aromatic amine	Sodium Nitroprusside test (Modified Ramini, Modified Simon)	สีสารละลายใน Modified Ramini, Modified Simon ตามลำดับเป็นดังนี้ 1° น้ำตาลแดง, น้ำตาลแดง 2° เขียวแกมฟ้า, ม่วง 3° เขียวแกมฟ้า, เขียวแกมฟ้า
	1°, 2° Aliphatic amine	Sodium Nitroprusside test (Ramini, Simon)	สีสารละลายใน Ramini, Simon ตามลำดับเป็นดังนี้ 1° ม่วง, เหลือง-น้ำตาลแดง 2° แดงเข้ม, ฟ้า-น้ำเงินเข้ม
	1° Aromatic amine	Diazotization and coupling	Diazonium salt เสถียรที่อุณหภูมิต่ำ, เกิดสีข้มสีแดง

1.6 สรุป

การเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ให้ปลอดภัยและเรียนรู้อย่างเข้าใจได้โดยง่ายนั้น ผู้เรียนต้องมีความรู้พื้นฐานที่สำคัญสำหรับใช้ในการทำปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ ทั้งในด้านความปลอดภัยต่อตนเอง และผู้อื่นที่ร่วมทำปฏิบัติการ ดังนั้นผู้เรียนควรปฏิบัติตามกฎระเบียบและข้อควรปฏิบัติในการทำปฏิบัติการเคมีเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงาน และสามารถแก้ไขปัญหากรณีเกิดอุบัติเหตุได้อย่างเหมาะสม ก่อนทำปฏิบัติการเคมีทุกครั้งผู้เรียนควรศึกษาเกี่ยวกับสารเคมีที่ต้องใช้ในสัปดาห์นั้น ๆ อย่างละเอียด ตามข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ เพื่อจะได้ป้องกันและระมัดระวังในการใช้สารเคมี และสามารถใช้สารเคมีได้อย่างปลอดภัย และเหมาะสมกับลักษณะของงานหรือตามวัตถุประสงค์ นอกจากนี้ผู้เรียนควรวางแผนการทดลอง ตลอดจนวางแผนการจัดการกับสารเคมี หรือของเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองไว้ล่วงหน้า เพื่อเป็นการลดปัญหาขยะสารเคมี และลดปัญหาการปนเปื้อนของสารเคมีอันตรายในสิ่งแวดล้อม สำหรับปฏิบัติการใด ๆ ที่มีการใช้เทคนิคพื้นฐานทางเคมี เช่น การแยกสารอินทรีย์ ให้บริสุทธิ์ การวิเคราะห์สารอินทรีย์ ผู้เรียนควรศึกษาเนื้อหาในส่วนนี้ให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น เพื่อที่จะสามารถประยุกต์ใช้ความรู้พื้นฐานในการทำปฏิบัติการจริงในแต่ละปฏิบัติการได้

แบบฝึกหัดบทที่ 1

1. เมื่อเกิดอุบัติเหตุผิวหนังถูกสารที่เป็นพิษควรปฏิบัติตนอย่างไร
2. MSDS คืออะไร และมีประโยชน์อย่างไร
3. หากต้องการทราบว่าสารเคมีที่ใช้ในการทดลองส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร ควรสังเกตจาก MSDS ที่ส่วนใด
4. สารเคมีกรดใดที่ใช้ในงานเคมีวิเคราะห์ที่ต้องการความละเอียดในการวิเคราะห์สูง
5. การบำบัดสารในกลุ่มไนไตรล์ก่อนทิ้งลงท่อระบายน้ำมีวิธีการอย่างไร
6. การทิ้งกรดหรือเบสที่เป็นของเสียในห้องปฏิบัติการมีหลักในการปฏิบัติอย่างไร
7. หลักการในการเลือกตัวทำละลายที่ใช้ในการตกผลึกและใช้ในการสกัดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
8. จุดเดือดและจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์มีความแตกต่างจากสารที่ไม่บริสุทธิ์อย่างไร
9. การกลั่นแบบธรรมดาแตกต่างจากการกลั่นลำดับส่วนอย่างไร
10. หากต้องการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมควรเลือกใช้วิธีการกลั่นแบบใดจึงจะเหมาะสม
11. ถ้าต้องการวิเคราะห์สารปริมาณน้อยว่าเป็นสารชนิดใดควรเลือกโครมาโทกราฟีแบบใด
12. ถ้าเฟสคงที่ในคอลัมน์เป็นสารที่ขี้ด้า เมื่อทำการแยกสาร สภาพขี้ดของสารที่จะแยกออกมาก่อนจะเป็นอย่างไร
13. สารอินทรีย์ชนิดหนึ่งเมื่อทดสอบการละลายแล้วพบว่าจัดอยู่ในกลุ่ม กรดแก่ที่ละลายน้ำ ควรนำสารอินทรีย์นี้ไปทดสอบเพื่อหาหมู่ฟังก์ชันใดบ้างและใช้รีเอเจนต์ใดในการทดสอบ
14. สารอินทรีย์ชนิดหนึ่งเมื่อทดสอบกับ 2,4-DNP แล้วพบว่าเกิดตะกอนสีส้ม และเมื่อนำมาทดสอบกับสารละลาย Schiff's reagent ไม่ปรากฏสีชมพูหรือม่วง แต่ให้ตะกอนสีเหลือง ฟางเมื่อทดสอบกับ Iodoform test จากผลการทดสอบ สารอินทรีย์นี้มีหมู่ฟังก์ชันชนิดใด
15. โซโคลเฮกซีนควรจัดอยู่ในคลาสการละลายใด และควรใช้รีเอเจนต์ชนิดใดในการทดสอบเพื่อยืนยันว่าเป็นโซโคลเฮกซีน

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2548). แนวทางการจัดการของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการ.

กรุงเทพฯ : หจก. มีเดีย เพรส.

กรมประมง. (2559). คู่มือความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ. (ออนไลน์). แหล่งที่มา :

http://www.fisheries.go.th/train-gr/003/S_Lap/S_Lap01.doc. 16 เมษายน 2559.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2548). การจำแนกประเภทและการติดฉลากสารเคมีที่เป็น

ระบบเดียวกันทั่วโลก. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.si.mahidol.ac.th/project/sicsm/news_files/15_1.pdf. 16 เมษายน 2559.

ประวิตร ชูศิลป์. (2549, มกราคม-ธันวาคม). อันตรายจากสารเคมี (Chemical Hazard).

วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, 7(1-2), 44-48.

ปาสิยา เพ็ชรโคกกรวด. (2556, มกราคม-มีนาคม). Rotary evaporator. *SPCNews*, 32, 12.

เผด็จ สิทธิสุนทร และคณะ. (2543). คู่มือปฏิบัติการเคมีอินทรีย์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พงษ์ศักดิ์ ชัยศิริประเสริฐ และ ปรีศนา สิริอาษา. (2545). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้

สารเคมี. กรุงเทพฯ : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร.

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2558). การกลั่นด้วยไอน้ำ.

(ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302275/chapter7.pdf. 16 เมษายน 2559.

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2558). เครื่องแก้วและอุปกรณ์ที่

ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีอินทรีย์. (ออนไลน์). แหล่งที่มา :

http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302275/chapter2.pdf. 16 เมษายน 2559.

วิจิตร เอื้อประเสริฐ และคณะ. (2547). คู่มือปฏิบัติการเคมีอินทรีย์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์

แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คูภววรรณ ตันตยานนท์ และคณะ. (2547). ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์บนพื้นฐานของความ

ปลอดภัยทางเคมีและการลดมลพิษ. กรุงเทพฯ : คิว พรินท์ แมเนจเม้นท์
จำกัด.

ศูนย์บริหารความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล. (2555).

แนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ :
ทองสุขพรินท์.

สุธีรัตน์ บุญส่งแท้. (2553). คู่มือการแยกประเภทและการจัดการของเสียจาก

ห้องปฏิบัติการ. พิษณุโลก : คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

Arctic Silver Incorporated. (2012). **MSDS # CMQ2_1**. (Online). Available :

http://www.arcticsilver.com/PDF/thermcom/CMQ2_MSDS_3.pdf.

24 September 2016.

Tantayanon, S. (2009). **Small scale laboratory: Organic chemistry at university**

level. Bangkok : Department of chemistry, Chulalongkorn university.

Zubrick, J. W. (1988). **The organic chem lab survival manual**. New York : John Wiley

& Sons.

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 2

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 2 ปฏิกริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของสารประกอบอะลิฟาติก

2.1 สมการทั่วไปของปฏิกริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์

2.2 กลไกการเกิดปฏิกริยาแบบ S_N1

2.3 กลไกการเกิดปฏิกริยาแบบ S_N2

2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกริยาแทนที่แบบ S_N1 และ S_N2

2.5 การทดลองประจำบท

ปฏิบัติการที่ 2.1 เรื่อง การสังเคราะห์เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์

ปฏิบัติการที่ 2.2 เรื่อง ผลของโครงสร้างสารตั้งต้นในปฏิกริยา S_N1 และ S_N2

ปฏิบัติการที่ 2.3 เรื่อง ผลของตัวทำละลายในปฏิกริยา S_N1

2.6 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อได้ศึกษาบทเรียนนี้แล้ว นักศึกษาสามารถ

1. สังเคราะห์สารโดยใช้ปฏิกริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของสารประกอบอะลิฟาติกได้
2. แยกสารที่สังเคราะห์ให้บริสุทธิ์ได้ด้วยเทคนิคการใช้กรวยแยก และการกรอง
3. อธิบายเกี่ยวกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเกิดปฏิกริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของสารประกอบอะลิฟาติก เช่น ผลของโครงสร้าง ผลของตัวทำละลาย
4. เลือกเทคนิคในการพิสูจน์เอกลักษณ์สารอินทรีย์ที่สังเคราะห์ได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

กิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. การทดลองแบ่งเป็น 3 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง
2. มอบหมายให้นักศึกษาอ่านเอกสารประกอบการสอน ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 ส่วนหน้าในบทที่ 2 ก่อนเข้าเรียนรายวิชานี้ และจัดเตรียมแผนการทดลองโดยสัปดาห์ที่ 3 ให้เขียนแผนการทดลองจากปฏิบัติการที่ 2.1 ส่วนสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ให้เขียนแผนการทดลองจากปฏิบัติการที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

3. จัดให้มีการทดสอบก่อนเรียนเป็นระยะเวลา 10 นาที โดยข้อสอบมีลักษณะเป็นคำถามแบบถูกผิดให้นักศึกษาตัดสินใจเลือก และแก้ไขข้อความที่ผิดให้ถูกต้อง
4. ผู้สอนอธิบายหลักการและทฤษฎี วัตถุประสงค์การทดลอง วิธีการทดลอง ตลอดจนจนหลักการที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง
5. มอบหมายให้ผู้เรียนทำปฏิบัติการเป็นกลุ่มตามปฏิบัติการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 ในสัปดาห์ที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ โดยมีผู้สอนคอยให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิด
6. อภิปรายผลการทดลองร่วมกันในชั้นเรียนโดยผู้สอนตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นความคิดให้นักศึกษาตอบคำถามเป็นรายบุคคล
7. ผู้สอนสรุปเนื้อหาเพิ่มเติม
8. มอบหมายให้นักศึกษาเขียนรายงานผลการทดลองส่งเป็นการบ้านในสัปดาห์ถัดไปโดยให้จัดทำรายงานเป็นรายบุคคล

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 บทที่ 2
2. เครื่องแก้วและอุปกรณ์ทางเคมี

การวัดผลและการประเมินผล

1. จากการอภิปรายเนื้อหา และตอบคำถามในชั้นเรียน
2. จากรายงานผลทดลอง
3. สังเกตพฤติกรรมในด้านเทคนิคและความปลอดภัยในการทดลองของนักศึกษา
4. จากผลการทดสอบก่อนเรียน
5. จากผลการทดสอบปลายภาคการศึกษา

บทที่ 2

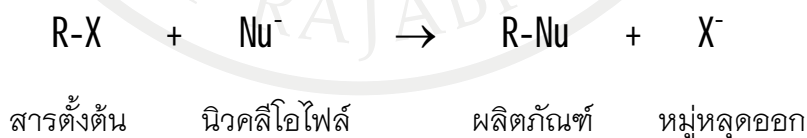
ปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของสารประกอบอะลิฟาติก

สารอินทรีย์แบ่งได้เป็นสองกลุ่มใหญ่คือ สารประกอบอะลิฟาติก (Aliphatic compound) และ สารประกอบอะโรมาติก (Aromatic compound) โดยสารทั้งสองชนิดนี้แตกต่างกันตรงที่ การมีวงอะโรมาติกเป็นองค์ประกอบโดยสารประกอบใดที่มีส่วนของวงอะโรมาติกจะจัดอยู่ในกลุ่มของอะโรมาติก แต่หากไม่มีวงอะโรมาติกจะจัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบอะลิฟาติก ซึ่งสารประกอบอะลิฟาติกนี้อาจมีคาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นสายโซ่ตรง (Linear chain) ต่อเป็นกิ่ง (Branch chain) หรือเป็นวง (Alicyclic) ก็ได้ และอาจมีได้ทั้งพันธะเดี่ยวทั้งหมดที่เป็นสารอิ่มตัว (Saturated hydrocarbon) เรียกว่าสารประกอบแอลเคน หรือมีพันธะคู่อย่างน้อยหนึ่งพันธะซึ่งเรียกว่า แอลคีน หรือมีพันธะสามอย่างน้อยหนึ่งพันธะที่เรียกว่า แอลไคน์ โดยทั้งแอลคีน และแอลไคน์จัดเป็นสารประเภทไม่อิ่มตัว (Unsaturated hydrocarbon)

ในบทนี้จะกล่าวถึงปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของสารประกอบอะลิฟาติก ชนิดอิ่มตัวที่มีแฮโลเจนเป็นองค์ประกอบซึ่งเรียกดังกล่าวว่าแฮโลอัลคิลแฮไลด์ (Alkyl halide) โดยปฏิกิริยาแทนที่นี้ถือเป็นปฏิกิริยาพื้นฐานในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ ที่นักเคมีอินทรีย์ทุกคนต้องเรียนรู้เพื่อให้เข้าใจกลไกและปัจจัยในการเกิดปฏิกิริยา อันจะนำไปสู่การพัฒนาเพื่อสังเคราะห์สารที่มีโครงสร้างซับซ้อนในลำดับต่อไป ซึ่งรายละเอียดของกลไกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเกิดปฏิกิริยาเป็นดังนี้

2.1 สมการทั่วไปของปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์

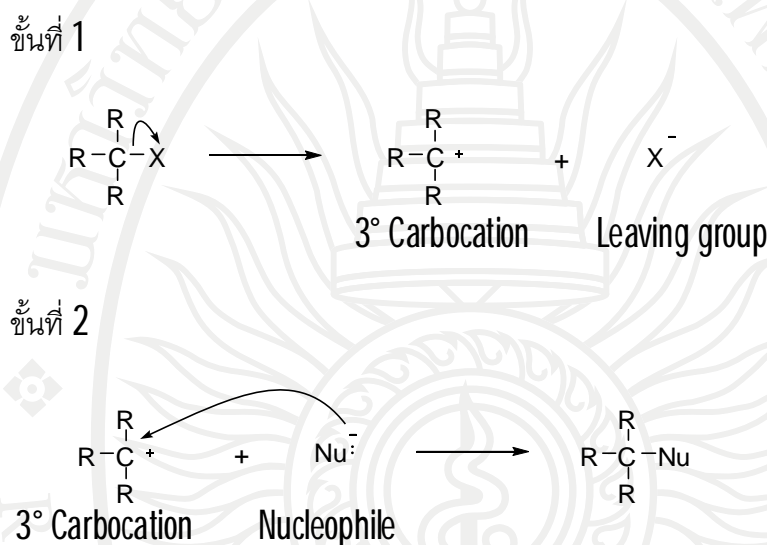
ปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ (สารที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง) บนสารประกอบอะลิฟาติก เป็นปฏิกิริยาที่มีการแทนที่อะตอมหรือหมู่อะตอมบนสารตั้งต้นซึ่งเป็นสารจำพวกอะลิฟาติก และทำให้มีอะตอมหรือกลุ่มอะตอมหลุดออกมาจากสารตั้งต้นซึ่งจะเรียกว่า หมู่หลุดออก (Leaving group) โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการทั่วไปได้ดังนี้



เมื่อ R หมายถึงหมู่แฮโลอัลคิล ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญของปฏิกิริยาการแทนที่ที่จะกำหนดว่าปฏิกิริยาจะเกิดผ่านกลไกแบบใด โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของสารประกอบอะลิฟาติกสามารถจำแนกได้เป็นสองกลไกหลักคือ แบบ S_N1 และ S_N2

2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N1

กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N1 (Unimolecular nucleophilic substitution) จะเกิดผ่านสารมัธยันต์ (Intermediate) เป็นคาร์บอนสามแทนที่มีประจุบวกที่เรียกว่า คาร์โบแคตไอออน (Carbocation) โดยขั้นเริ่มต้นของปฏิกิริยาซึ่งเป็นขั้นช้าและขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดคาร์โบแคตไอออนก่อน จากนั้นนิวคลีโอไฟล์จะเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์โบแคตไอออนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ดังภาพที่ 2.1

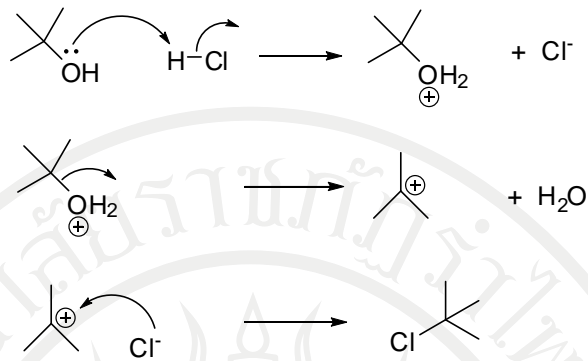


ภาพที่ 2.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_N1

ตัวอย่างปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_N1 เช่นการสังเคราะห์เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ (t-Butyl chloride) จากเทอร์เชียรีบิวทิลแอลกอฮอล์ (t-Butyl alcohol) ดังสมการ

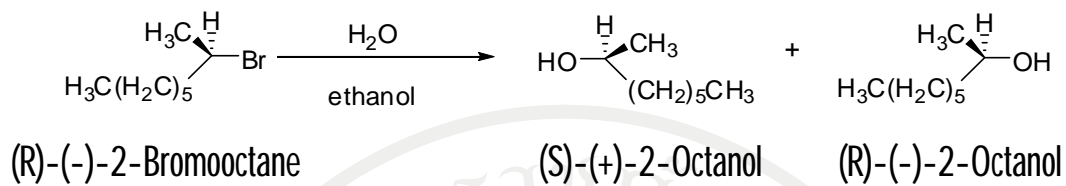


โดยมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังภาพที่ 2.2 ซึ่งในขั้นตอนแรกหมู่แอลกอฮอล์ (-OH) ซึ่งเป็นหมู่หลุดออกที่ไม่ดีนัก (Poor leaving group) จะถูกโปรตอนเตต (Protonated) ด้วยกรดไฮโดรคลอริก เพื่อให้เกิดเป็นออกซิเนียมไอออน (-OH₂⁺) ซึ่งเป็นหมู่หลุดออกที่ดีกว่า จากนั้นน้ำจะเกิดการแตกตัวหลุดออกมาเป็นหมู่หลุดออก และทำให้สารตั้งต้นเปลี่ยนไปเป็นเทอร์เชียรีคาร์โบแคตไอออนซึ่งขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นที่เร็วขึ้นได้ช้า และกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ในขั้นต่อมาคลอไรด์ไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์โบแคตไอออนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นในที่สุด



ภาพที่ 2.2 กลไกการสังเคราะห์เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์จากเทอร์เชียรีบิวทิลแอลกอฮอล์

สำหรับสเตอริโอเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาแบบ S_N1 ค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งตามทฤษฎีแล้วผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นของปฏิกิริยาแบบ S_N1 ควรเกิดสารผสมราซิมิก (Racemic mixture) ทั้งนี้เพราะคาร์โบแคตไอออนมีโครงสร้างที่มีลักษณะแบนราบ ซึ่งนิวคลีโอไฟล์สามารถเข้าแทนที่ได้ทั้งสองด้านเท่า ๆ กัน จึงมีโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคอนฟิกูเรชันแบบตรงข้าม (Inversion of configuration) ได้เท่ากันกับการเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคอนฟิกูเรชันแบบเดิม (Retention of configuration) ซึ่งพบว่าเป็นจริงได้ในหลายกรณีแต่ในบางครั้งอาจพบผลิตภัณฑ์ที่มีคอนฟิกูเรชันแบบตรงข้ามมากกว่าจะมีคอนฟิกูเรชันแบบเดิม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเกิดไอออนแพร์ (Ion-pair) ซึ่งเป็นหมู่หลุดออกที่ยังคงอยู่ใกล้ ๆ กับด้านที่แตกออกของพันธะทำให้นิวคลีโอไฟล์มีโอกาสเข้าทำปฏิกิริยาด้านตรงข้ามกับหมู่หลุดออกได้มากกว่าเพราะอีกด้านถูกบดบังด้วยไอออนแพร์ แต่อย่างไรก็ตามนิวคลีโอไฟล์ก็ยังสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์โบแคตไอออนอิสระได้บ้างจึงมีโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคอนฟิกูเรชันแบบเดิมได้ด้วย ตัวอย่างเช่นปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของสารประกอบแอลคิลแฮไลด์โบรมออคเทน ((R)-(-)-2-Bromooctane) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์ออกทานอลสองชนิดที่มีคอนฟิกูเรชันแตกต่างกัน (Carey, F. A., 2000: 318) ดังภาพที่ 2.3 โดย (S)-(+)-2-ออกทานอล ((S)-(+)-2-Octanol) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคอนฟิกูเรชันแบบตรงข้าม ในขณะที่ (R)-(-)-2-ออกทานอล ((R)-(-)-2-Octanol) กลับเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคอนฟิกูเรชันแบบเดิมดังภาพที่ 2.3 ซึ่งจะเห็นว่าร้อยละการเกิดคอนฟิกูเรชันแบบตรงข้ามมีค่าเท่ากับ 66 และที่เหลืออีกร้อยละ 34 เป็นการเกิดแบบสารผสมราซิมิกหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีคอนฟิกูเรชันแบบ R และ S ร้อยละ 17 และ 83 ตามลำดับ ดังนั้นมีสารผสมราซิมิกเกิดขึ้นร้อยละ 17 ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เหลืออีกร้อยละ 66 จัดเป็นว่ามีคอนฟิกูเรชันแบบตรงข้าม

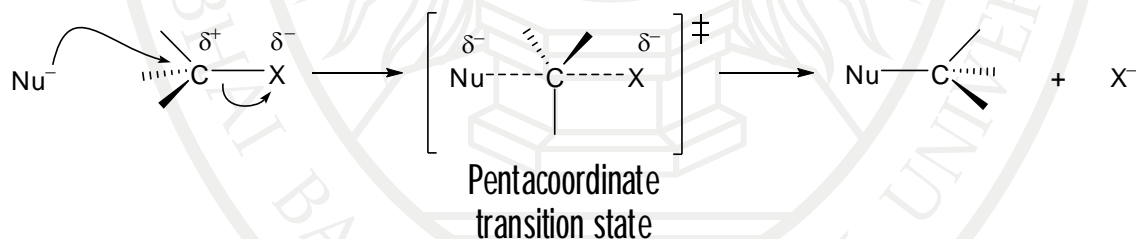


66% Net inversion corresponds to 83% S, 17% R

ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ (R)-(-)-2-โบรโมออกเทน
ที่มา : (Carey, F. A., 2000: 318)

2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N2

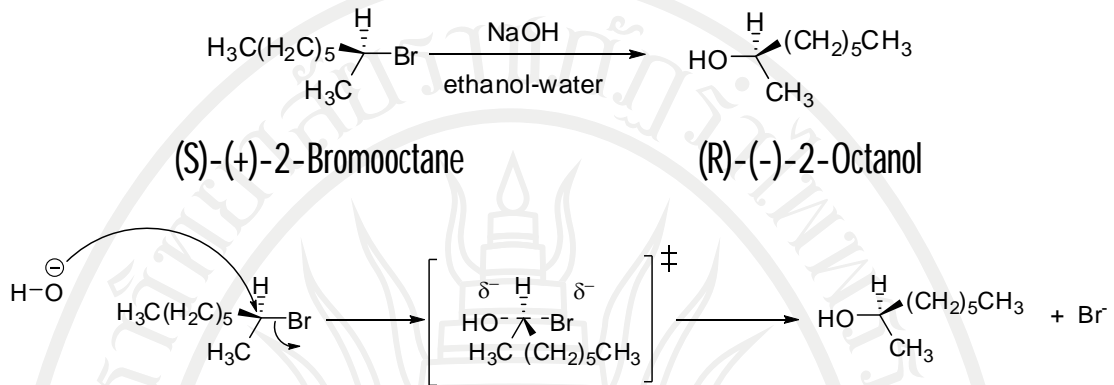
กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N2 (Bimolecular nucleophilic substitution) เป็นกลไกแบบขั้นตอนเดียวโดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับสารสองชนิดคือ สารตั้งต้น และนิวคลีโอไฟล์ การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดผ่านทรานซิชันสเตต (Transition state) ซึ่งเป็นคาร์บอนอะตอมที่มี 5 แชน ที่เรียกว่าเพนตะโคออร์ดิเนต (Pentacoordinate) โดยการหลุดออกของหมู่หลุดออกจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการสร้างพันธะระหว่างสารตั้งต้นกับนิวคลีโอไฟล์โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีการจัดเรียงอะตอมในที่ว่างสามมิติ หรือที่เรียกว่าคอนฟิกูเรชันแบบตรงกันข้ามกับสารตั้งต้น ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่แบบ S_N2

ตัวอย่างการเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคอนฟิกูเรชันแบบตรงข้ามของกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N2 เช่น การทำปฏิกิริยาของ (S)-(+)-2-โบรโมออกเทน ((S)-(+)-2-Bromooctane) กับเบสไฮดรอกไซด์ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ (R)-(-)-2-ออกทานอล ((R)-(-)-2-Octanol) ดังสมการ ซึ่งจะเห็นว่าคอนฟิกูเรชันของสารตั้งต้นจากเดิมเป็น S จะเปลี่ยนเป็นตรงข้ามคือ R ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาจะเริ่มจากนิวคลีโอไฟล์คือไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) เข้าทำปฏิกิริยาที่สารตั้งต้นในด้านที่ตรงข้ามกับหมู่หลุดออกคือโบรไมด์ (-Br) ขณะเดียวกันโบรไมด์เริ่มแตกพันธะออกจากสารตั้งต้น เกิดเป็น

เพนตะโคออร์ดิเนตทรานซิชันสเตอริต จนได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีคอนฟิกรูเรชันตรงกันข้ามกับสารตั้งต้นในที่สุด ดังภาพที่ 2.5

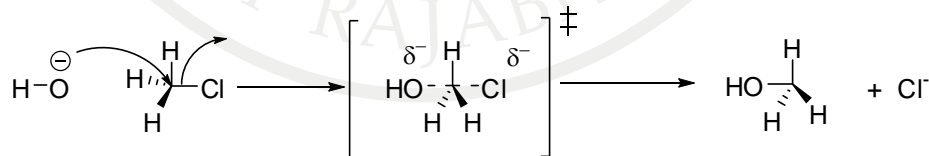


ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาและกลไกการเกิดปฏิกิริยาของ (S)-(+)-2-โบรโมออกเทน กับเบสไฮดรอกไซด์

อีกตัวอย่างหนึ่งของปฏิกิริยาการแทนที่ที่เกิดผ่านกลไกแบบ $\text{S}_{\text{N}}2$ คือ การทำปฏิกิริยากันระหว่างสารประกอบคลอโรมีเทนกับไฮดรอกไซด์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทานอลและไฮดรอกไซด์ ดังสมการ



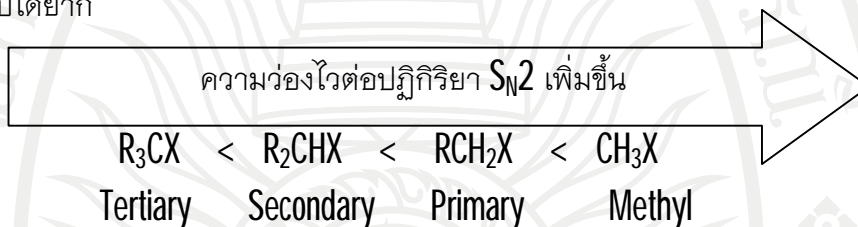
เมื่อพิจารณาจากสมการจะเห็นว่า คลอโรมีเทนเป็นสารตั้งต้นจำพวกแอลคิลแฮไลด์ซึ่งบริเวณคาร์บอนอะตอมที่มีความเป็นบวกสูงจะอยู่ติดกับฮาโลเจนซึ่งมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ฮาโลเจนนี้สามารถหลุดออกเป็นหมู่หลุดออกได้ง่ายเมื่อถูกสารที่ทำหน้าที่เป็นนิวคลีโอไฟล์คือไฮดรอกไซด์ (OH^-) ที่อยู่ในสารประกอบไฮดรอกไซด์เข้าแทนที่ โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาสามารถเขียนได้ดังภาพที่ 2.6 ดังนี้



ภาพที่ 2.6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ $\text{S}_{\text{N}}2$ ระหว่างคลอโรมีเทนและไฮดรอกไซด์ไอออน

2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_N1 และ S_N2

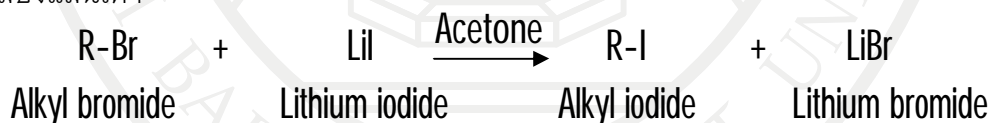
ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N2 ได้แก่ โครงสร้างของสารตั้งต้น ชนิดของนิวคลีโอไฟล์ ชนิดของหมู่หลุดออก และตัวทำละลาย โดยโครงสร้างของสารตั้งต้นที่จะเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_N2 จะมีลักษณะที่ไม่เกาะก่ต่อการเข้าชนของนิวคลีโอไฟล์ โดยลำดับความว่องไวต่อปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_N2 แสดงดังภาพที่ 2.7 กล่าวคือ สารตั้งต้นแบบเมทิล (Methyl) มีความว่องไวที่สุด รองลงมาคือสารตั้งต้นที่มีโครงสร้างแบบปฐมภูมิ (1°, Primary) ทูตยภูมิ (2°, Secondary) ส่วนสารตั้งต้นที่เป็นแบบตติยภูมิ (3°, Tertiary) ไม่เกิดผ่านกลไกนี้ เนื่องจากผลของความเกาะก่ (Steric effect) ของหมู่แอลคิล ซึ่งจะทำให้การเข้าแทนที่ของนิวคลีโอไฟล์เป็นไปได้ยาก



ภาพที่ 2.7 ลำดับความว่องไวต่อปฏิกิริยาการแทนที่แบบ S_N2

ที่มา : (Carey, F. A., 2000: 310)

ตัวอย่างเช่น การทำปฏิกิริยาระหว่างแอลคิลโบรไมด์ (R-Br) และลิเทียมไอโอไดด์ในอะซิโตน (LiI/acetone) เกิดผลิตภัณฑ์เป็นแอลคิลไอโอไดด์ (R-I) และลิเทียมโบรไมด์ (LiBr) ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2.1 โดยพบว่าเมทิลโบรไมด์ (CH₃Br) ซึ่งโครงสร้างมีความเกาะก่น้อยว่องไวต่อปฏิกิริยา S_N2 มากกว่าสารประกอบเทอร์เชียรีบิวทิลโบรไมด์ (CH₃)₃CBr ประมาณสองแสนเท่า



ตารางที่ 2.1 ผลของโครงสร้างของสารตั้งต้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา S_N2

แอลคิลโบรไมด์	โครงสร้าง	ชนิด	อัตราการเกิดปฏิกิริยาสัมพัทธ์
เมทิลโบรไมด์	CH ₃ Br	ไม่มีหมู่แทนที่	221,000
เอทิลโบรไมด์	CH ₃ CH ₂ Br	ปฐมภูมิ	1,350
ไอโซโพรพิลโบรไมด์	(CH ₃) ₂ CH ₂ Br	ทูตยภูมิ	1
เทอร์เชียรีบิวทิลโบรไมด์	(CH ₃) ₃ CBr	ตติยภูมิ	น้อยมากจนวัดไม่ได้

ที่มา : (Carey, F. A., 2000: 310)

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเป็นหมู่หลุดออกกับค่า pK_a

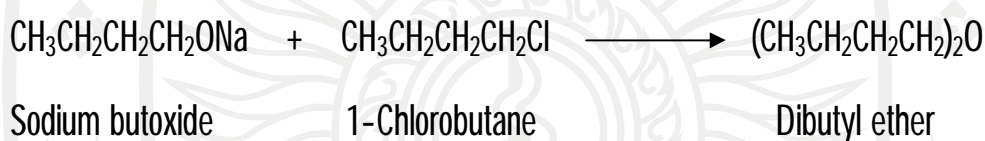
หมู่หลุดออก (Conjugate base)	ค่า pK_a ของคู่กรด (Conjugate Acid)	ความสามารถในการ เป็นหมู่หลุดออก
I^-	< 0	ดี
Br^-	< 0	
$(CH_3)_2S$	< 0	
H_2O	< 0	
$p-CH_3C_6H_4SO_3^-$	0.2	
$CF_3CO_2^-$	2	
$H_2PO_4^-$	4.8	
$CH_3CO_2^-$	9.1	ปานกลาง
CN^-	9.2	
NH_3	10	
$C_6H_5O^-$	10	
RNH_2, R_2NH, R_3N	10	แย้
$C_2H_5S^-$	10.6	
HO^-	15.7	
CH_3O^-	15	แย้มาก
NH_2^-	36	
CH_3^-	49	

ความสามารถในการเป็นหมู่หลุดออกลดลง

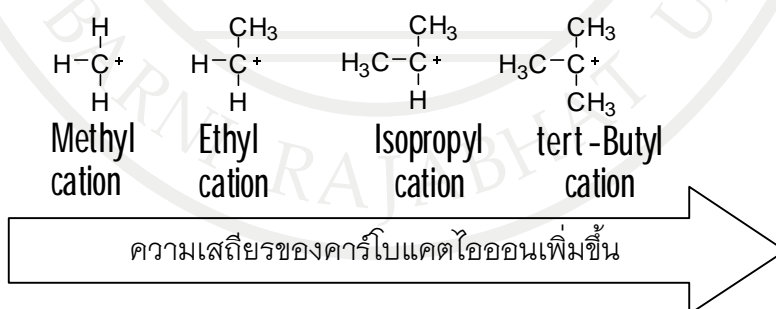
ที่มา : (Pine, S. H., and other, 1980: 379)

อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ ชนิดของหมู่หลุดออก สารที่เป็นหมู่หลุดออกที่ดี (Good leaving group) จะต้องสามารถกระจายประจุลบได้ดี ตัวอย่างเช่น แฮไลด์ในหมู่เดียวกันมีความเป็นหมู่หลุดออกที่ต่างกันโดยพบว่าสามารถเรียงลำดับความสามารถในการเป็นหมู่หลุดออกได้ดังนี้ $I^- > Br^- > Cl^- > F^-$ ทั้งนี้เนื่องจากไอโอดีนมีขนาดไอออนที่ใหญ่กว่าไอออนอื่น ๆ ในหมู่เดียวกัน อีกทั้งไอโอดีนยังมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีต่ำที่สุดในหมู่ 7A จึงมีความสามารถในการกระจายประจุลบได้ดีกว่า นอกจากนี้การพิจารณาความสามารถในการเป็นหมู่หลุดออกที่ดีได้จากสภาพความเป็นกรด-เบส โดยสารที่มีความเป็นกรดสูง (pK_a ต่ำ) จะมี

คู่เบส (Conjugated base) ที่ค่อนข้างอ่อนและเป็นหมู่หลุดออกที่ดี ดังตารางที่ 2.2 นิวคลีโอไฟล์ที่เกิดปฏิกิริยาแทนที่ได้ดีต้องมีลักษณะไม่เกาะเกาะเช่นเดียวกันเพราะหากมีความเกาะเกาะมากจะเกิดปฏิกิริยาการขัดแย้งขั้นกับปฏิกิริยาแทนที่ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาแทนที่ลดลง นอกจากนี้ตัวทำละลายที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาแบบ S_N2 ควรเป็นตัวทำละลายที่ไม่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับนิวคลีโอไฟล์ได้ (Aprotic solvent) โดยหากเป็นตัวทำละลายที่สร้างพันธะไฮโดรเจนได้ (Protic solvent) ตัวทำละลายนี้จะล้อมรอบนิวคลีโอไฟล์ทำให้ความว่องไวของนิวคลีโอไฟล์ต่อการเกิดปฏิกิริยาลดลง ตัวอย่างที่แสดงให้เห็นถึงผลของตัวทำละลายที่มีต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยา S_N2 ได้แก่ การเตรียมไดบิวทิลอีเทอร์ (Dibutyl ether) เมื่อใช้ตัวทำละลายชนิดอะโปรติก เช่น ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethyl sulfoxide, DMSO) พบว่าได้ผลิตภัณฑ์สูงถึงร้อยละ 95 ในขณะที่หากใช้ตัวทำละลายชนิดโปรติก ตัวอย่างเช่น 1-บิวทานอล (1-Butanol) กลับทำให้ร้อยละผลผลิตลดเหลือเพียงร้อยละ 60 เท่านั้น (ลำเนียง อภิสันติยาคม, 2555: 58) ดังสมการ



สำหรับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N1 ได้แก่โครงสร้างของสารตั้งต้น โดยสารตั้งต้นที่เกิดปฏิกิริยาการแทนที่ผ่านกลไกนี้เป็นสารที่สามารถเกิดเป็นคาร์โบแคตไอออนที่เสถียร โดยลำดับความเสถียรของคาร์โบแคตไอออนสามารถเรียงลำดับได้เป็นดังนี้ $\text{Methyl} < 1^\circ < 2^\circ < 3^\circ$ ดังภาพที่ 2.8 และนอกจากนี้คาร์โบแคตไอออนประเภทแอลลิลและเบนซิลคาร์โบแคตไอออนก็มีความเสถียรและสามารถเกิดปฏิกิริยา S_N1 ได้ดีเช่นกัน



ภาพที่ 2.8 ลำดับความเสถียรของคาร์โบแคตไอออน
ที่มา : (Carey, F. A., 2000: 141)

สำหรับผลของหมู่หลุดออกเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการเกิดปฏิกิริยา S_N2 ซึ่งหากสารตั้งต้นเป็นแอลคิลแฮไลด์ที่มีหมู่แฮไลด์เป็นหมู่หลุดออกที่ดีก็จะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า นอกจากโครงสร้างของสารตั้งต้นแล้วอัตราการเกิดปฏิกิริยายังขึ้นอยู่กับสภาวะ (Condition) ของปฏิกิริยาด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งชนิดของตัวทำละลายที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่อย่างมาก สำหรับปฏิกิริยาแบบ S_N1 ตัวทำละลายที่เหมาะสมควรเป็นตัวทำละลายที่สามารถช่วยเพิ่มความเสถียรให้กับคาร์โบแคตไอออน (Stabilized carbocation) ซึ่งได้แก่ตัวทำละลายที่มีขั้วและสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ (Polar protic solvent) เนื่องจากขึ้นกำหนดอัตราของปฏิกิริยาเกิดผ่านสารมัธยันต์ที่มีประจุบวก ซึ่งตัวทำละลายที่มีขั้วจะช่วยทำให้พลังงานของสถานะทรานซิชันลดต่ำลง ตัวอย่างเช่น การศึกษาผลของตัวทำละลายที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาโซลโวไลซิส (Solvolysis) ของเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ (t-Butyl chloride) ดังสมการ



t-Butyl chloride Alcohol t-Butyl ether Hydrochloric

ผลการทดลองเมื่อใช้ตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.3 ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นตามค่าไดอิเล็กทริก (Dielectric constant, ϵ) หรือสภาพขั้วของตัวทำละลาย

ตารางที่ 2.3 อัตราการเกิดปฏิกิริยาโซลโวไลซิสผ่านกลไกแบบ S_N1 ของเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ เทียบกับสภาพขั้วของตัวทำละลาย

ตัวทำละลาย	ค่าคงตัวไดอิเล็กทริก	อัตราการเกิดปฏิกิริยาสัมพัทธ์
กรดแอซิดิก	6	1
เมทานอล	33	4
กรดฟอร์มิก	58	5,000
น้ำ	78	150,000

ที่มา : (Carey, F. A., 2000: 321)

สำหรับห้องปฏิบัติการ ในการศึกษาปฏิกิริยาโซลโวไลซิสของเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ (Svoronos, P., Sarlo, E. & Kulawiec, R. J., 1997: 165) สามารถทำได้โดยใช้ปฏิกิริยาสะเทินผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดแก่ที่ได้จากปฏิกิริยาโซลโวไลซิสซึ่งในที่นี้คือ กรดไฮโดรคลอริก เมื่อสังเกต

จากปฏิกิริยาหากใช้เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ 1 โมล จะทำให้เกิดกรดไฮโดรคลอริกในจำนวนที่เท่ากันคือ 1 โมล ซึ่งกรดที่เกิดขึ้นนี้จะถูกสะเทินด้วยเบสแก๊ซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบปริมาณ และมีค่าคงที่ ที่ได้ถูกเติมไว้ในสารละลายตั้งแต่ที่แรก รวมทั้งเติมอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟธาเลิน (Phenolphthalein) ลงไปพร้อมกันด้วยเมื่อปฏิกิริยาสะเทินเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์จนสารละลายเบสแก่หมดพอดีจะทำให้สีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีจะเป็นเวลาที่ใช้ในการเกิดโซลโวไลซิสและถ้าหากเราเปลี่ยนชนิดของตัวทำละลายจะส่งผลทำให้ช่วงเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเร็วช้าไม่เท่ากันสีของอินดิเคเตอร์ก็จะเปลี่ยนที่ช่วงเวลาแตกต่างกันด้วย โดยตัวทำละลายแต่ละชนิดที่มีสภาพขั้วที่แตกต่างกันจะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาแทนที่ที่ไม่เท่ากันโดยการใช้ตัวทำละลายที่มีสภาพขั้วสูงจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแทนที่แบบ S_N1 ได้รวดเร็วกว่าตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำ ตัวอย่างเช่น น้ำ (H_2O) เป็นตัวทำละลายที่มีสภาพขั้วสูงเนื่องจากมีค่าคงที่ไดโพลีทริกสูงกว่าตัวทำละลายอื่น ดังตารางที่ 2.4 ทำให้การใช้ตัวทำละลายที่เป็นน้ำหรือมีน้ำเป็นตัวทำละลายผสมในสัดส่วนที่สูงกว่าจะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วกว่า

ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่ไดโพลีทริกของตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ

ตัวทำละลาย	ค่าคงตัวไดโพลีทริก	ชนิดตัวทำละลาย
เฮกเซน	1.9	ตัวทำละลายอะโปรติก
เบนซีน	2.3	
ไดเอทิลอีเทอร์	4.3	
คลอโรฟอร์ม	4.8	
อะซิโตน	21	
แอซิโตไนไตรด์	38	
แอซิติก	6.1	ตัวทำละลายโปรติก
ฟลูออโรแอซิติก	8.6	
เทอร์เชียรีบิวทานอล	12.5	
เอทานอล	24.5	
เมทานอล	32.7	
น้ำ	78	

ที่มา : (Carey, F. A. & Sundberg, R. J., 2007: 359)

2.5 การทดลองประจำบท

สำหรับการทดลองในบทที่ 2 นี้จะแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

ปฏิบัติการที่ 2.1 เรื่อง การสังเคราะห์สารเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์

ปฏิบัติการที่ 2.2 เรื่อง ผลของโครงสร้างสารตั้งต้นในปฏิกิริยา S_N1 และ S_N2

ปฏิบัติการที่ 2.3 เรื่อง ผลของตัวทำละลายในปฏิกิริยา S_N1

การทดลองแรกเป็นการสังเคราะห์สารเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ตามปฏิบัติการที่ 2.1 โดยใช้เทอร์เชียรีบิวทิลแอลกอฮอล์เป็นสารตั้งต้น ซึ่งนักศึกษาจะได้ฝึกทักษะในการสังเคราะห์สารอินทรีย์อย่างง่าย และฝึกการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นโดยวิธีการหาจุดเดือดแบบเฮมไมโครและทดสอบปฏิกิริยาของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้กับรีเอเจนต์ต่าง ๆ เทียบกับสารตั้งต้น เช่น การทำปฏิกิริยากับลูคัสรีเอเจนต์ (Lucas reagent) สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในเอทานอล ($AgNO_3/ethanol$) และซีริกแอมโมเนียมไนเตรต (Ceric ammonium nitrate reagent) โดยแต่ละรีเอเจนต์ใช้ระบุชนิดของสารได้ต่างกัน ดังตารางที่ 2.5

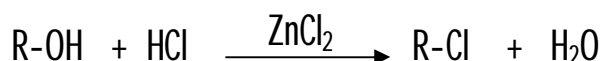
ตารางที่ 2.5 ชนิดของรีเอเจนต์สำหรับการระบุชนิดของสารอินทรีย์

รีเอเจนต์	ทดสอบชนิดของสาร	ผลบวก
Ceric ammonium nitrate reagent	Alcohol	สารละลายสีส้มแดง
$AgNO_3/ethanol$	3° -Alkyl halide	ตะกอนสีขาว
Lucas reagent	3° -Alcohol	เกิดตะกอนสีขาวทันที

สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต เป็นสารที่ใช้ทดสอบหมู่ไฮดรอกซิลของสารที่มีหมู่ฟังก์ชันแอลกอฮอล์ ซึ่งเมื่อแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับสารละลายนี้จะได้สารละลายสีส้มแดง ดังสมการ (คูภวรรณ ต้นตยานนท์ และคณะ, 2547: 33)

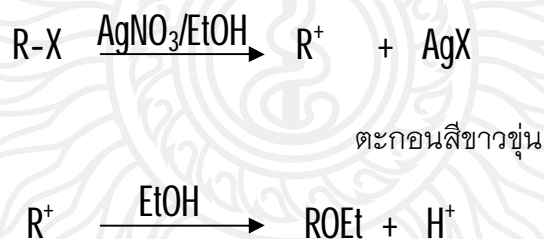


และในกรณีที่ทราบแล้วว่าสารตัวอย่างเป็นแอลกอฮอล์จะสามารถจำแนกชนิดของแอลกอฮอล์ได้โดยใช้ลูคัสรีเอเจนต์ซึ่งเป็นสารละลายที่ประกอบด้วยสังกะสีคลอไรด์และกรดไฮโดรคลอริก ($ZnCl_2/HCl$) ซึ่งเมื่อแอลกอฮอล์เกิดปฏิกิริยากับลูคัสรีเอเจนต์จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบแอลคิลคลอไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ ดังสมการ

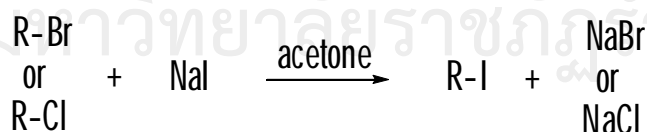


โดยแอลกอฮอล์แต่ละชนิดจะทำปฏิกิริยากับลูคัสรีเอเจนต์ด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากกลไกการเกิดปฏิกิริยาเกิดผ่าน $\text{S}_{\text{N}}1$ ดังนั้นแอลกอฮอล์ชนิดตติยภูมิ (3° -Alcohol) ซึ่งสามารถเกิดคาร์โบแคตไอออนที่เสถียรที่สุดจึงเกิดปฏิกิริยากับลูคัสรีเอเจนต์ได้รวดเร็วที่สุด โดยจะสังเกตเห็นสารละลายจะขุ่นทันทีเมื่อเติมลูคัสรีเอเจนต์ ส่วนแอลกอฮอล์ชนิดทุติยภูมิ (2° -Alcohol) จะสังเกตเห็นสารละลายขุ่นภายใน 2-5 นาที ในขณะที่แอลกอฮอล์ปฐมภูมิจะไม่ทำปฏิกิริยากับลูคัสรีเอเจนต์ที่อุณหภูมิห้องจึงเห็นเป็นสารละลายใส (ศุภวรรณ ดันตยานนท์ และคณะ, 2547: 34)

สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในเอทานอล ($\text{AgNO}_3/\text{ethanol}$) เป็นสารละลายที่สามารถใช้ตรวจสอบแอลคิลแฮไลด์ได้ โดยแอลคิลแฮไลด์ที่เป็นเทอร์เชียรีแอลคิลแฮไลด์จะเกิดปฏิกิริยากับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในเอทานอลได้ตะกอนของซิลเวอร์แฮไลด์ที่ไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายเอทานอลจึงเกิดเป็นตะกอนสีขาวขุ่นดังสมการ



สำหรับการทดลองที่สองตามปฏิบัติการที่ 2.2 เป็นการศึกษาผลของโครงสร้างสารตั้งต้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา $\text{S}_{\text{N}}1$ และ $\text{S}_{\text{N}}2$ (ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546: 123) โดยในการศึกษาปฏิกิริยา $\text{S}_{\text{N}}1$ ของแอลคิลแฮไลด์ ในห้องปฏิบัติการสามารถทำได้โดยการทำปฏิกิริยาของแอลคิลแฮไลด์กับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในเอทานอลจะเกิดเป็นตะกอนของซิลเวอร์แฮไลด์ (AgX) แยกตัวออกมาดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น ส่วนปฏิกิริยา $\text{S}_{\text{N}}2$ สามารถศึกษาได้จากการใช้สารประกอบแอลคิลโบรไมด์หรือสารประกอบแอลคิลคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไอโอไดด์ในแอซิโตน ($\text{NaI}/\text{acetone}$) จะเกิดผลิตภัณฑ์เป็นแอลคิลไอโอไดด์ และเกลือโซเดียมโบรไมด์ (NaBr) หรือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งละลายได้น้อยในแอซิโตน และจะตกตะกอนแยกออกมาให้สังเกตเห็นดังสมการ



การทดลองสุดท้ายของบทนี้คือ การทดลองตามปฏิบัติการที่ 2.3 ซึ่งเป็นการศึกษาผลของตัวทำละลายที่มีต่ออัตราการเกิด S_{N1} โดยนักศึกษาจะได้ศึกษาผลของตัวทำละลายในการเกิดปฏิกิริยา S_{N1} โดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์อีกสามชนิด คือ ตัวทำละลายชนิดโพลาร์โปรติก ได้แก่ เมทานอล และเอทานอล ตัวทำละลายชนิดโพลาร์อะโปรติก ได้แก่ แอซิโตน ที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน ซึ่งสัดส่วนของตัวทำละลายที่แตกต่างกันจะมีผลต่อสภาพขั้วของตัวทำละลาย นักศึกษาจะได้เปรียบเทียบผลของตัวทำละลายทั้งในแง่ของสภาพขั้ว และชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งจะสามารถทำให้นักศึกษาเข้าใจผลของตัวทำละลายต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา S_{N1} มากยิ่งขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ปฏิบัติการที่ 2.1 การสังเคราะห์เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์สารเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์โดยใช้ปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_N1
2. เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารอินทรีย์ที่สังเคราะห์ได้เทียบกับสารตั้งต้น

สารเคมี

1. เทอร์เชียรีบิวทานอล
2. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร
4. แคลเซียมคลอไรด์ปราศจากน้ำ
5. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร
6. สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต
7. ลูคัสรีเอเจนต์
8. น้ำมันพาราฟิน

อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. กรวยแยกขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ที่ตั้งกรวยแยก
4. ขาดั่ง และที่จับ
5. ขวดรูปกรวยขนาด 50, 125 มิลลิลิตร
6. หลอดหยดสาร
7. ปีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร สำหรับทำเป็นอ่างน้ำมัน
8. เทอร์โมมิเตอร์ที่สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 200 องศาเซลเซียส
9. แท่งแก้วคน
10. หลอดแคปิลารีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1 มิลลิเมตร สูงประมาณ 7.5 เซนติเมตร
11. เตาให้ความร้อน
12. กรวยกรอง
13. กระดาษกรอง
14. กระดาษลิตมัส
15. กระจกนาฬิกา

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การสังเคราะห์เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์

ใส่เทอร์เชียรีบิวทิลแอลกอฮอล์ ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงในกรวยแยก จากนั้นค่อย ๆ เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร ลงไปผสม แล้วเขย่ากรวยแยกประมาณ 20 นาที โดยต้องเปิดก๊อกเปิดปิดเป็นครั้งคราวเพื่อลดความดันภายในกรวยแยก ทิ้งให้แยกชั้นไขชั้นกรดทิ้งไป เติมสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ลงในกรวยแยกอย่างระมัดระวังแล้วเขย่ากรวยแยกโดยวนเป็นวงกลม อย่าเพิ่งปิดจุก เพราะความดันภายในจะสูงมากเมื่อปฏิกิริยาลดความรุนแรงลงแล้วจึงปิดจุก แล้วเขย่ากรวย 2-3 ครั้ง โดยเปิดก๊อกเปิดปิดเป็นครั้งคราวทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้นชัดเจน แล้วไขชั้นน้ำทิ้งไป ล้างชั้นสารอินทรีย์อีกครั้งด้วยน้ำ จากนั้นเทเทอร์เชียรีคลอไรด์ทางปากกรวยแยกใส่ขวดรูปกรวยขนาดเล็กและแห้ง ทำให้แห้งด้วยเกลือโซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำ สุดท้ายให้แยกสารดู่น้ำออกโดยการกรอง นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ในตอนที่ 2 และ 3 ต่อไป

ตอนที่ 2 ทดสอบการละลายน้ำและทดสอบกับรีเอเจนต์ต่าง ๆ

2.1 ทดสอบการละลาย

นำหลอดทดลอง 2 หลอดมาเติมน้ำกลั่น 4 มิลลิลิตร หลอดที่ 1 เติมเทอร์เชียรีบิวทิลแอลกอฮอล์จำนวน 4 หยด เขย่าและสังเกตการละลาย ส่วนหลอดที่ 2 เติมผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จากตอนที่ 1 จำนวน 4 หยด เขย่าและสังเกตการละลาย บันทึกผลการทดลอง

2.2 ปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรตในเอทานอล

นำสารตัวอย่างใส่ในหลอดทดลองที่แห้งจำนวน 4 หยด จากนั้นเติมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร ลงไป 2 มิลลิลิตร แล้วเขย่าหลอด ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนสารละลายขุ่นและบันทึกเวลา ถ้าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิห้องภายใน 5 นาที นำไปแช่อ่างน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนสารละลายเริ่มขุ่นหรือครบ 5 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลง

2.3 ปฏิกิริยากับซีริกแอมโมเนียมไนเตรต

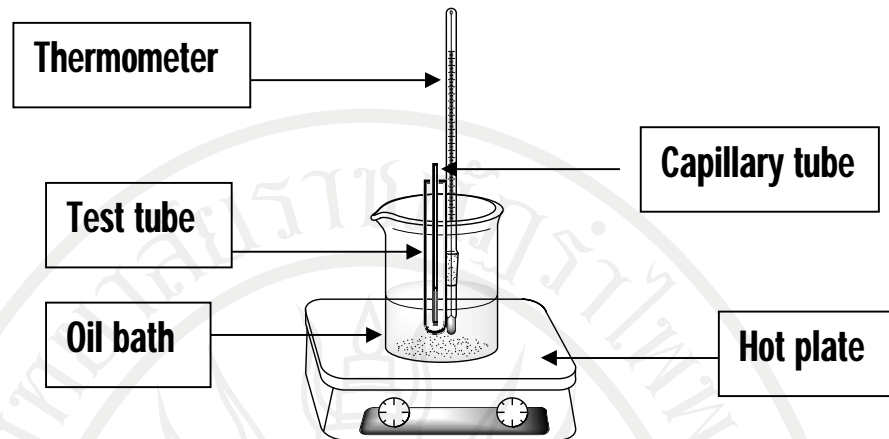
นำหลอดทดลองมา 2 หลอด ใส่สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต หลอดละ 5 หยด แล้วเติมน้ำกลั่น 5 หยด เขย่าหลอดทดลอง หยดสารตัวอย่างลงไปจำนวน 1 หยด เขย่า และสังเกตการเปลี่ยนแปลง

2.4 ปฏิกริยากับลูคัสรีเอเจนต์

นำหลอดทดลองใส่สารตัวอย่าง 5 หยด เติม ลูคัสรีเอเจนต์ 2 มิลลิลิตร เขย่า หลอด สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลง ถ้าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทันทีที่อุณหภูมิห้องให้นำหลอดไปจุ่มอ่างน้ำร้อนและสังเกตการเปลี่ยนแปลง หากไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายใน 30 นาที ให้หยุดอุ่น บันทึกผล

ตอนที่ 3 การหาจุดเดือดด้วยวิธีซีมิไมโคร

นำผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จากตอนที่ 1 บรรจุในหลอดทดลอง 1 มิลลิลิตร จากนั้นนำหลอดทดลองผูกติดกับเทอร์โมมิเตอร์แล้วจุ่มลงไปใอ่างน้ำมันจากนั้นใส่หลอดแคปิลารีโดยให้ปลายเปิดจุ่มลงไปหลอดทดลอง ปลายปิดตันของหลอดแคปิลารีอยู่ด้านบน ดังภาพที่ 2.9 ค่อย ๆ อุ้มน้ำมันที่ละน้อยและคนน้ำมันตลอดเวลาเพื่อให้ความร้อนกระจายสม่ำเสมอเมื่อของเหลวในหลอดทดลองได้รับความร้อนจะมีฟองอากาศปุดออกมาจากปลายหลอดแคปิลารีช้า ๆ เมื่อเริ่มเกิดฟองอากาศอย่างรวดเร็วและเป็นสายติดต่อกันจากหลอดแคปิลารีให้อ่านเทอร์โมมิเตอร์และบันทึกอุณหภูมิ จุดนี้คือจุดเดือดของของเหลวการอ่านอุณหภูมิครั้งแรกนี้อาจผิดพลาดได้บ้าง ถ้าไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในขณะที่จนวนจะถึงจุดเดือดของของเหลวถ้าต้องการอ่านจุดเดือดให้ถูกต้องยิ่งขึ้น ต้องหยุดให้ความร้อนแก่อ่างน้ำมันทันทีซึ่งทำได้โดยปิดเตาให้ความร้อน จากนั้นยกอ่างน้ำมันขึ้นเล็กน้อยแล้วสอดแผ่นกระเบื้องเคลือบเข้าไปไว้ใต้อ่างน้ำมัน หรือในกรณีที่ไม่มีแผ่นกระเบื้องอาจเลื่อนทั้งระบบลงจากเตาแล้ววางที่พื้นโต๊ะโดยต้องระมัดระวังให้หลอดทดลองที่บรรจุสารตัวอย่างยังคงอยู่ในน้ำมันตลอดเวลาซึ่งเมื่อระบบเย็นตัวลงอัตราเร็วของการเกิดฟองอากาศจะช้าลง ๆ จนถึงฟองสุดท้าย และของเหลวจะถูกดูดเข้าไปในหลอดแคปิลารี จากนั้นให้บันทึกอุณหภูมิ ณ ขณะนี้ทันทีเพราะเป็นอุณหภูมิที่ความดันไอของของเหลวในหลอดแคปิลารีเท่ากับความดันบรรยากาศเมื่อหาจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จากตอนที่ 1 เรียบร้อยแล้ว ให้ทำการทดลองซ้ำเพื่อหาจุดเดือดของสารตั้งต้น



ภาพที่ 2.9 อุปกรณ์สำหรับหาจุดเดือดด้วยวิธีซีมิไมโคร

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

สาขาวิชา.....กลุ่ม.....วันที่ทำการทดลอง.....

บันทึกผลการทดลองที่ 2.1

การสังเคราะห์เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์

วัตถุประสงค์

.....

ตอนที่ 1 การสังเคราะห์เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์

สมการแสดงปฏิกิริยา

จากสมการ

สารตั้งต้นคือ.....ผลิตภัณฑ์คือ.....นิวมวลไอไฟล์คือ.....

กลไกการเกิดปฏิกิริยา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์เทียบกับสารตั้งต้น

	สารตั้งต้น (t-Butanol)	ผลิตภัณฑ์ (t-Butyl chloride)	Blank
โครงสร้างของสาร			
ทดสอบการละลาย			
AgNO ₃ /ethanol			
Ceric ammonium nitrate reagent			
Lucas reagent			

ตอนที่ 3 การหาจุดเดือดด้วยวิธีเคมีไมโคร

	t-Butyl chloride	t-Butanol
อุณหภูมิขณะมีฟองอากาศปุดออกเป็นสาย °C °C
อุณหภูมิขณะที่ฟองอากาศปุดสุดท้ายออกมาและของเหลวไหลกลับเข้าหลอดแคปิลารี °C °C
จุดเดือดของของเหลว* °C °C

*จุดเดือดของของเหลว ให้รายงานอุณหภูมิขณะที่ฟองอากาศปุดสุดท้ายออกมาและของเหลวไหลกลับเข้าหลอดแคปิลารี

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายวิธีในการทดสอบว่าชั้นใดในกรวยแยกเป็นชั้นสารอินทรีย์

.....

.....

.....

2. การเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอนเตตระไฮไดรไลต์ 1 โดยมวลต่อปริมาตร ในการทดลองตอนที่ 1 ทำเพื่ออะไร

.....

.....

.....

3. วิธีที่ใช้ทดสอบว่าสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นเทอร์เชียรีบิวทิลแอลกอฮอล์มีวิธีใดบ้างจงอธิบาย

.....

.....

.....

4. ให้เปรียบเทียบจุดเดือดของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งอธิบายว่าเหตุใดจึงมีแนวโน้มเช่นนั้น

.....

.....

.....

5. เหตุใดจุดเดือดจึงเท่ากับอุณหภูมิขณะที่ฟองอากาศที่สุดท้ายออกมาและของเหลวไหลกลับเข้าหลอดแคปิลารี

.....

.....

.....

ปฏิบัติการที่ 2.2 ผลของโครงสร้างสารตั้งต้นในปฏิกิริยา S_N1 และ S_N2

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของโครงสร้างสารตั้งต้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา S_N1 และ S_N2

สารเคมี

1. นอร์มอลบิวทิลคลอไรด์ (n-Butyl chloride)
2. เซคัลตารีบิวทิลคลอไรด์ (s-Butyl chloride)
3. เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ (t-Butyl chloride)
4. นอร์มอลบิวทิลโบรไมด์ (n-Butyl bromide)
5. โบรโมเบนซีน (Bromobenzene)
6. สารละลายไซเตียมไอโอไดด์ในแอซิโตน ร้อยละ 18 โดยมวลต่อปริมาตร (18% NaI/acetone)
7. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในเอทานอล ร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร (1% $AgNO_3$ /ethanol)

อุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาดเล็ก
2. จุกยาง
3. ที่ใส่หลอดทดลอง
4. อ่างน้ำร้อน
5. เต้าให้ความร้อน
6. ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 ปฏิกิริยากับไซเตียมไอโอไดด์ในแอซิโตน

การทดสอบให้ทำชุดควบคุมเปรียบเทียบ

เตรียมหลอดทดลอง 5 หลอด แล้วใส่นอร์มอลบิวทิลคลอไรด์ เซคัลตารีบิวทิลคลอไรด์ เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ นอร์มอลบิวทิลโบรไมด์ และโบรโมเบนซีน อย่างละ 2 หยดลงในหลอดทดลองที่ 1-5 ตามลำดับ แล้วเติมสารละลายไซเตียมไอโอไดด์ในแอซิโตน ร้อยละ 18 โดยมวลต่อปริมาตร หลอดละ 1 มิลลิลิตร ปิดจุกหลอดทดลองแล้วเขย่าอย่างแรง บันทึกเวลาเมื่อเริ่มสังเกตเห็นตะกอน ถ้าหลอดใดไม่มีตะกอนเกิดขึ้นภายในเวลา 3 นาที ให้นำไปแช่

น้ำอุ่นที่มีอุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที โดยระวังไม่ให้แอซิดไนโตรระเหยไปจนแห้ง (ถ้าสารละลายยางวอด ต้องเติมแอซิดไนโตรลงไปอีกจนระดับเท่าเดิม) สังเกตว่ามีตะกอนเกิดขึ้นหรือไม่ บันทึกเวลาไว้ถ้ามีตะกอน เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเกิดตะกอนของสารประกอบแฮไลด์แต่ละชนิด

ตอนที่ 2 ปฏิกริยากับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในเอทานอล

การทดสอบให้ทำชุดควบคุมเปรียบเทียบ

เตรียมหลอดทดลอง 5 หลอด แล้วใส่นอร์มอลบิวทิลคลอไรด์ เซตลดาโรบิวทิลคลอไรด์ เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ นอร์มอลบิวทิลโบรไมด์ และโบรโมเบนซีน อย่างละ 2 หยด ลงในหลอดทดลองที่ 1-5 ตามลำดับ แล้วเติมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร หลอดละ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันอย่างแรง บันทึกเวลาเมื่อเริ่มสังเกตเห็นตะกอน หลังจากเวลาผ่านไปนาน 5 นาที ให้อุ่นหลอดที่ไม่เกิดตะกอนในอ่างน้ำอุ่นที่มีอุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที โดยระวังไม่ให้ เอทานอลระเหยไปจนแห้ง (ถ้าสารละลายลดลง ต้องเติมเอทานอลลงไปอีกจนระดับเท่าเดิม) สังเกตว่ามีตะกอนเกิดขึ้นหรือไม่ บันทึกเวลาไว้ถ้ามีตะกอน เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเกิดตะกอนของสารประกอบแฮไลด์แต่ละชนิด

ตอนที่ 3 เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N1 และ S_N2

การทดสอบให้ทำชุดควบคุมเปรียบเทียบ

เตรียมหลอดทดลอง 2 หลอด แล้วใส่เอทานอล 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด จากนั้นเติมน้ำ 5 หยด และเติมโบรโมฟินอลบลู 2 หยด สำหรับหลอดที่ 1 ให้เติมนอร์มอลบิวทิลคลอไรด์ 5 หยด ส่วนหลอดที่ 2 ให้เติมเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ 5 หยด แล้วทำการเขย่าหลอดให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผลการทดลอง

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

สาขาวิชา.....กลุ่ม.....วันที่ทำการทดลอง.....

บันทึกผลการทดลองที่ 2.2

ผลของโครงสร้างสารตั้งต้นในปฏิกิริยา S_N1 และ S_N2

วัตถุประสงค์

.....

ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 ปฏิกิริยากับ NaI ในแอซิโตน (S_N2)

ชนิดของแอลคิลแฮไลด์	ผลที่สังเกตเห็น				
	n-Butyl chloride	s-Butyl chloride	t-Butyl chloride	n-Butyl bromide	Bromo-benzene
โครงสร้างของ แอลคิลแฮไลด์					
ที่อุณหภูมิห้อง (ใช้เวลานานาที)					
ที่ 50°C (ใช้เวลานานาที)					

ตอนที่ 2 ปฏิกริยากับ AgNO_3 ในเอทานอล ($\text{S}_{\text{N}}1$)

ชนิดของแอลคิลแฮไลด์	ผลที่สังเกตเห็น				
	n-Butyl chloride	s-Butyl chloride	t-Butyl chloride	n-Butyl bromide	Bromo-benzene
โครงสร้างของแอลคิลแฮไลด์					
ที่อุณหภูมิห้อง (ใช้เวลานานาที)					
ที่ 60°C (ใช้เวลานานาที)					

ตอนที่ 3 เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาแบบ $\text{S}_{\text{N}}1$ และ $\text{S}_{\text{N}}2$

แอลคิลแฮไลด์	นิวคลีโอไฟล์	ผลที่สังเกตเห็น (สี/ความขุ่น)
n-Butyl chloride	Ethanol	
t-Butyl chloride	Ethanol	
Blank		

แอลคิลแฮไลด์ที่เกิดปฏิกิริยาคือ..... และเกิดผ่านกลไกแบบ.....

สมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงเรียงลำดับอัตราการเกิดปฏิกิริยาจากเร็วไปช้าของสารประกอบนอร์มอล บิวทิลคลอไรด์ เซกซ์ตารีบิวทิลคลอไรด์ และเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ กับรีเอเจนต์ โซเดียมไฮไดรด์ในแอซิโตน และ ซิลเวอร์ไนเตรตในเอทานอลพร้อมทั้งให้เหตุผล

.....

.....

.....

.....

2. ระหว่างนอร์มอลบิวทิลคลอไรด์และนอร์มอลบิวทิลโบรไมด์เมื่อทำปฏิกิริยากับ รีเอเจนต์โซเดียมไฮไดรด์ในแอซิโตน สารใดเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่ากัน จงอธิบาย เหตุผล

.....

.....

.....

.....

3. ในการทดลองแอลคิลแฮไลต์ในการทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮไดรด์ในแอซิโตน จงอธิบายว่าเพราะเหตุใดจึงต้องใช้แอซิโตนเป็นตัวทำละลาย

.....

.....

.....

.....

4. จากการทดลองในตอนที่ 3 จงอธิบายเหตุผลที่ทำให้สีของโบรมีนฟีนอลบลูเกิดการเปลี่ยนแปลง

.....

.....

.....

.....

ปฏิบัติการที่ 2.3 ผลของตัวทำละลายในปฏิกิริยา S_N1

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของตัวทำละลายต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา S_N1

สารเคมี

1. เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์
2. เอทานอล
3. เมทานอล
4. แอซิโตน
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์
6. ฟีนอล์ฟทาลิน
7. น้ำกลั่น

อุปกรณ์

1. พาราฟิล์ม
2. หลอดทดลอง
3. ปิเปต
4. ที่ใส่หลอดทดลอง

วิธีการทดลอง

1. เตรียมหลอดทดลอง และใช้ปิเปตตวงปริมาตรตัวทำละลายใส่ในหลอดทดลอง โดยให้มีปริมาตรรวม 2.00 มิลลิลิตร และสัดส่วนตัวทำละลายเป็นดังตารางที่ 2.6 กำหนด
2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 0.15 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองทุก ๆ หลอด
3. เติมอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลิน 1 หยด ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด เขย่าให้ผสมกัน
4. เติมเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ 0.15 มิลลิลิตร หยด ลงไปในแต่ละหลอดทดลอง เริ่มจับเวลาตั้งแต่เริ่มใส่สาร เมื่อใส่เสร็จแล้วให้เขย่าหลอดทดลอง แล้วทำการปิดหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์ม
5. บันทึกเวลาที่ใช้ในตั้งแต่เริ่มใส่เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์จนอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี เปรียบเทียบตัวทำละลายแต่ละชนิด

ตารางที่ 2.6 อัตราส่วนผสมของตัวทำละลาย

ตัวทำละลายผสม	อัตราส่วนผสม
เมทานอล/น้ำ	50:50
	60:40
	70:30
เอทานอล/น้ำ	50:50
	60:40
	70:30
แอสिटอน/น้ำ	50:50
	60:40
	70:30

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

สาขาวิชา.....กลุ่ม.....วันที่ทำการทดลอง.....

บันทึกผลการทดลองที่ 2.3

ผลของตัวทำละลายในปฏิกิริยา S_N1

วัตถุประสงค์

.....
.....

ผลการทดลอง

ตัวทำละลายผสม	อัตราส่วน	ปริมาณตัวทำละลายผสม		ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)
		ตัวทำละลายอินทรีย์ (มิลลิลิตร)	น้ำ (มิลลิลิตร)	
เมทานอล/น้ำ	50:50			
	60:40			
	70:30			
เอทานอล/น้ำ	50:50			
	60:40			
	70:30			
แอกซิโตน/น้ำ	50:50			
	60:40			
	70:30			

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

.....
.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. สภาพขั้วของแอสิตอนใกล้เคียงกับเอทานอล จะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_N1 เท่ากันหรือไม่อย่างไร จงอธิบาย

.....

.....

.....

.....

.....

2. ตัวทำละลายผสมใดที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮไลซิสของเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์เกิดเร็วที่สุด

.....

.....

.....

.....

.....

3. จงอธิบายว่าเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้นเหตุใดต้องปิดหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์ม

.....

.....

.....

.....

.....

4. ถ้าการทดลองนี้เปลี่ยนสารตั้งต้นจากเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์เทอร์เชียรีบิวทิลโบรไมด์จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นหรือช้าลง จงอธิบาย

.....

.....

.....

.....

.....

2.6 สรุป

ปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของสารประกอบอะลิฟาติก เป็นปฏิกิริยาพื้นฐานที่สำคัญของนักเคมีอินทรีย์ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ โดยมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาหลักสองแบบคือ S_N1 และ S_N2 โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วหรือช้าขึ้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ทั้งโครงสร้างของสารตั้งต้น ชนิดของหมู่หลุดออก นิวคลีโอไฟล์ ตลอดจนตัวทำละลาย สารตั้งต้นที่มีโครงสร้างเกะกะน้อยจะเกิดปฏิกิริยาแทนที่ได้ดีผ่านกลไกแบบ S_N2 ในขณะที่สารตั้งต้นที่สามารถแตกตัวให้คาร์โบแคตไอออนที่เสถียรจะเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ผ่านกลไกแบบ S_N1 ได้ดี ส่วนชนิดของหมู่หลุดออกที่สามารถกระจายประจุลบได้ดีจะเป็นหมู่หลุดออกที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาแทนที่เพิ่มสูงขึ้น และตัวทำละลายที่เหมาะสมในปฏิกิริยา S_N2 ต้องเป็นตัวทำละลายที่ไม่ลดความว่องไวของนิวคลีโอไฟล์ลง ในขณะที่ปฏิกิริยา S_N1 ตัวทำละลายต้องช่วยทำให้สถานะทรานซิชันมีความเสถียรมากขึ้น และสามารถแตกตัวเป็นคาร์โบแคตไอออนได้ง่าย ซึ่งการทดลองที่นักศึกษาได้เรียนรู้จะสามารถทำให้เข้าใจเนื้อหาของปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของสารประกอบอะลิฟาติกได้เป็นอย่างดี

แบบฝึกหัดบทที่ 2

1. จงอธิบายความหมายของคำต่อไปนี้
 - 1.1 S_N1
 - 1.2 S_N2
 - 1.3 Retention
 - 1.4 Inversion
 - 1.5 Racemic mixture
2. ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบใดบ้าง
3. ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N1 เกิดได้เร็ว
4. ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N2 เกิดได้เร็ว
5. ชนิดของตัวทำละลายมีอะไรบ้าง แต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างไร
6. นิวคลีโอไฟล์มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_N1 หรือไม่ จงอธิบาย
7. ถ้าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาแบบ S_N1 มีคอนฟิเกอเรนซ์แบบตรงข้ามมากกว่าแบบเดิม จงอธิบายว่าเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
8. จงอธิบายความสัมพันธ์ของ ค่า pK_a ของคู่กรดกับความสามารถในการเป็นหมู่หลุดออก
9. จงอธิบายว่า ระหว่าง OH^- และ H_2O สารใดเป็นหมู่หลุดออกที่ดีกว่ากัน
10. จงอธิบายปัจจัยที่ทำให้คาร์โบแคตไอออนมีความเสถียร

เอกสารอ้างอิง

- ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2546). **ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2302275-2302276 (ฉบับปรับปรุงใหม่)**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศุภวรรณ ตันตยานนท์ และคณะ. (2547). **ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์บนพื้นฐานของความปลอดภัยทางเคมีและการลดมลพิษ**. กรุงเทพฯ : ดิว พรินท์ แมเนจเม้นท์ จำกัด. สำเนียง อภิลักษณ์ดิยาคม. (2555). **กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์เบื้องต้น**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Carey, F. A. & Sundberg, R. J. (2007). **Advance organic chemistry**. 5th ed., New York : Springer.
- Carey, F. A. (2000). **Organic chemistry**. 4th ed., New York : The McGraw-Hill companies, Inc.
- Pine, S. H. and other. (1980). **Organic chemistry**. 4th ed., New York : The McGraw-Hill companies, Inc.
- Svoronos, P., Sarlo, E. & Kulawiec, R. J. (1997). **Organic chemistry laboratory manual**. New York : A Times Mirror Higher Education Group.

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 3

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 3 ปฏิกิริยาการแทนที่ของสารประกอบอะโรมาติก

3.1 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_EAr

3.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่แบบ S_EAr

3.3 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_NAr

3.4 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่แบบ S_NAr

3.5 การทดลองประจำบท

ปฏิบัติการที่ 3.1 เรื่องผลของหมู่แทนที่ในปฏิกิริยา S_EAr

ปฏิบัติการที่ 3.2 เรื่องการสังเคราะห์อนุพันธ์ 2,4-ไดไนโตรฟีนอลอะนิลีน

3.6 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อได้ศึกษาบทเรียนนี้แล้ว นักศึกษาสามารถ

1. สังเคราะห์สารโดยใช้ปฏิกิริยาแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์และนิวคลีโอไฟล์ของสารประกอบอะโรมาติกได้
2. อธิบายเกี่ยวกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์และนิวคลีโอไฟล์ของสารประกอบอะโรมาติกได้
3. เลือกเทคนิคในการพิสูจน์เอกลักษณ์สารอินทรีย์ที่สังเคราะห์ได้ถูกต้อง

กิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. การทดลองจะแบ่งเป็น 2 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง สำหรับการจัดการเรียนสอนในสัปดาห์ที่ 6 จะใช้การทดลองตามปฏิบัติการที่ 3.1 เรื่องผลของหมู่แทนที่ในปฏิกิริยา S_EAr และ ปฏิบัติการที่ 3.2 เรื่องการสังเคราะห์อนุพันธ์ 2,4-ไดไนโตรฟีนอลอะนิลีน โดยทำเฉพาะตอนที่ 1 ส่วนสัปดาห์ที่ 7 ใช้การทดลองตามปฏิบัติการที่ 3.2 ตอนที่ 2
2. มอบหมายให้นักศึกษาอ่านเอกสารประกอบการสอน ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 ส่วนหน้าในบทที่ 3 ก่อนเข้าเรียนในสัปดาห์ที่ 6-7 และจัดเตรียมแผนการทดลอง โดย ให้เขียนแผนการทดลองจากปฏิบัติการที่ 3.1 และ 3.2 ส่งพร้อมกันในสัปดาห์ที่ 6
3. จัดให้มีการทดสอบก่อนเรียนเป็นระยะเวลา 10 นาที โดยข้อสอบมีลักษณะเป็นคำถามแบบถูกผิดให้นักศึกษาตัดสินใจเลือก

4. ผู้สอนอธิบายหลักการและทฤษฎี วัตถุประสงค์การทดลอง วิธีการทดลอง ตลอดจนหลักการที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

5. มอบหมายให้ผู้เรียนทำปฏิบัติการเป็นกลุ่มตามปฏิบัติการที่ 3.1 และ 3.2 ตอนที่ 1 ในสัปดาห์ที่ 6 ส่วนปฏิบัติการที่ 3.2 ตอนที่ 2 ให้ทำการทดลองในสัปดาห์ที่ 7 โดยมีผู้สอนคอยให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิด

6. อภิปรายผลการทดลองร่วมกันในชั้นเรียนโดยผู้สอนตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นความคิดให้นักศึกษาตอบคำถามเป็นรายบุคคล

7. ผู้สอนสรุปเนื้อหาเพิ่มเติม

8. มอบหมายให้นักศึกษาเขียนรายงานผลการทดลองส่งเป็นการบ้านในสัปดาห์ถัดไปโดยให้จัดทำรายงานเป็นรายบุคคล

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 บทที่ 3
2. เครื่องแก้วและอุปกรณ์ทางเคมี

การวัดผลและการประเมินผล

1. จากการอภิปรายเนื้อหา และตอบคำถามในชั้นเรียน
2. จากรายงานผลทดลอง
3. จากผลการทดสอบก่อนเรียน
4. จากผลการทดสอบปลายภาคการศึกษา
5. จากการสังเกตพฤติกรรมของนักศึกษา

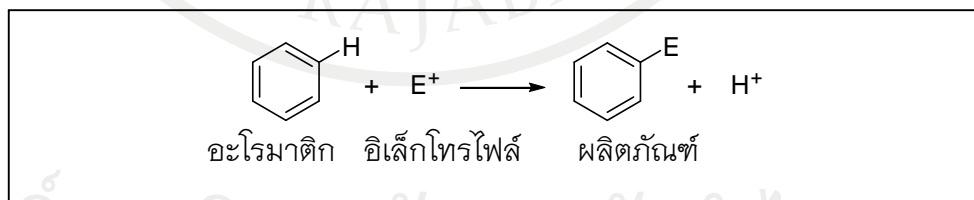
บทที่ 3

ปฏิกิริยาแทนที่ของสารประกอบอะโรมาติก

สารประกอบอะโรมาติก (Aromatic compound) เป็นสารที่มีกลิ่นเฉพาะตัวจึงทำให้มีชื่อเรียกว่า อะโรมา (Aroma) ซึ่งแปลว่า กลิ่น สารที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้จะมีคุณสมบัติเป็นเอกลักษณ์แตกต่างจากสารในกลุ่มอื่นคือ เป็นสารประกอบวงแหวนพอลิอินที่มีพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวแบบคอนจูเกต โดยออร์บิทัลของอะตอมคาร์บอนเป็นแบบ sp^2 และต้องมีจำนวนไพอิเล็กตรอน (π -electron) ภายในวงแหวนเท่ากับ $4n+2$ (โดยที่ n เป็นเลขจำนวนเต็ม) ไพอิเล็กตรอนนี้สามารถเคลื่อนที่ (Delocalization) ได้ตลอดรอบวงแหวน ซึ่งสมบัติเหล่านี้ทำให้สารประกอบอะโรมาติกมีความเสถียร และมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง (สำเนียง อภิสันติยาคม, 2555: 77) และจากการที่สารประกอบอะโรมาติกมีความเสถียรสูงนี้จึงทำให้สารประกอบอะโรมาติกเกิดปฏิกิริยาการเติม (Addition) ได้ยากกว่าสารประกอบแอลคีนโดยทั่วไปเนื่องจากการเติมจะทำให้สูญเสียความเป็นอะโรมาติก นอกจากนี้สารประกอบอะโรมาติกไม่ไวต่อปฏิกิริยาการแทนที่เช่นในสารประกอบอะลิฟาติก และด้วยสมบัติที่สารประกอบอะโรมาติกมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์ซึ่งขาดแคลนอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่าการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยามีความแตกต่างจากสารประกอบอะลิฟาติกเป็นอย่างมาก สำหรับบทนี้กล่าวถึงสมการทั่วไป กลไกในการเกิดปฏิกิริยาแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์และนิวคลีโอไฟล์บนสารประกอบอะโรมาติกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความไวในการเกิดปฏิกิริยา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

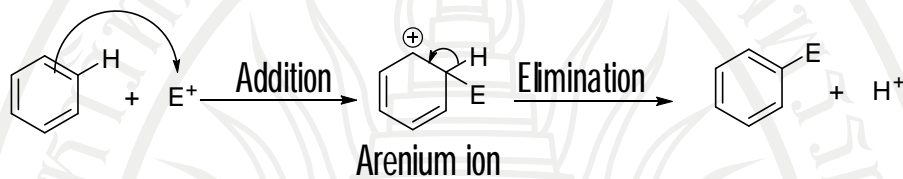
3.1 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_EAr

ปฏิกิริยาแทนที่แบบอิเล็กโตรฟิลิกของสารประกอบอะโรมาติกเป็นปฏิกิริยาที่สารประกอบอะโรมาติกทำปฏิกิริยากับอิเล็กโตรไฟล์ ซึ่งมีสมการทั่วไปดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 สมการทั่วไปของปฏิกิริยาแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์ของสารประกอบอะโรมาติก

โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาเกิดผ่านกลไกที่เรียกว่า **Electrophilic aromatic substitution (S_EAr)** ซึ่งจะแบ่งเป็นสองขั้นตอน สำหรับขั้นตอนแรกเป็นขั้นของการเติมอิเล็กโทรไฟล์บนสารประกอบอะโรมาติกทำให้เกิดเป็นสารมัธยันต์ที่มีประจุบวกที่เรียกว่าเอเรเนียมไอออน (**Arenium ion**) หรือเบนซีนเนียมไอออน (**Benzenonium ion**) ส่วนขั้นตอนที่สองเป็นขั้นของการกำจัด หรือการขจัด (**Elimination**) โดยมีการกำจัดโปรตอนออกไปเพื่อให้ได้ความเป็นอะโรมาติกกลับคืนมาทำให้สุดท้ายเป็นการแทนที่โปรตอนหรือไฮโดรเจนด้วยอิเล็กโทรไฟล์ ดังภาพที่ 3.2

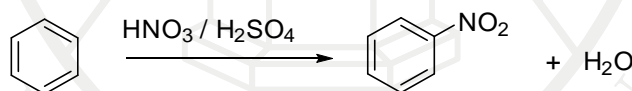


ภาพที่ 3.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์ของสารประกอบอะโรมาติก

การเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์ของสารประกอบอะโรมาติกที่พบบ่อย ได้แก่ ปฏิกิริยาไนเตรชัน (**Nitration**) ปฏิกิริยาแฮโลจิเนชัน (**Halogenation**) ปฏิกิริยาเอซิลเลชัน (**Acylation**) โดยแต่ละปฏิกิริยามีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ปฏิกิริยาไนเตรชัน

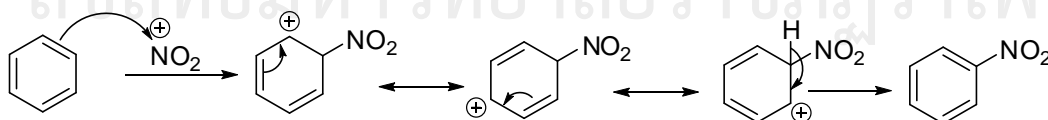
ปฏิกิริยาไนเตรชันเป็นปฏิกิริยาการแทนที่ไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีนด้วยหมู่ไนโตร (**-NO₂**) โดยมีไนโตรเนียมไอออน (**⁺NO₂**) เป็นอิเล็กโทรไฟล์



ไนโตรเนียมไอออนเกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างกรดสองชนิดคือ กรดไนตริกและกรดซัลฟิวริก ดังสมการ

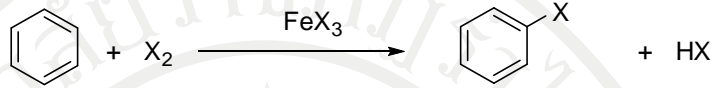


จากนั้นไนโตรเนียมไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยากับวงแหวนเบนซีน เกิดเบนซีนเนียมไอออน และกำจัดโปรตอนออกจนสุดท้ายได้เป็นไนโตรเบนซีนดังสมการ

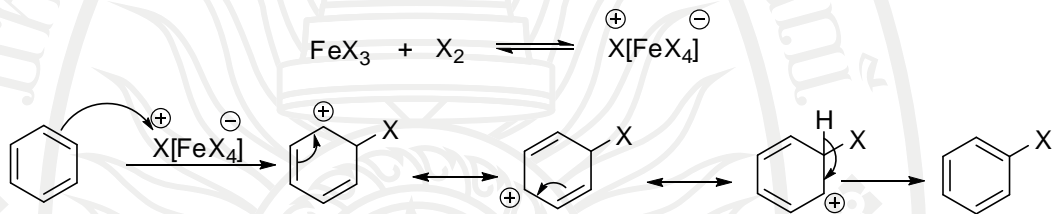


3.1.2 ปฏิกิริยาแฮโลจิเนชัน

ปฏิกิริยาแฮโลจิเนชันเป็นปฏิกิริยาการแทนที่ไฮโดรเจนบนวงแหวนเบนซีนด้วยอะตอมแฮโลเจนหรือธาตุในหมู่ที่ 7 โดยจำเป็นต้องมีตัวเร่งในปฏิกิริยา ดังสมการ

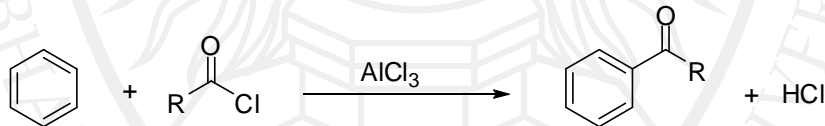


กลไกของปฏิกิริยาเริ่มต้นจากการทำให้เกิดอิเล็กโทรไฟล์แฮโลเนียมไอออน โดยตัวเร่งเข้าจับกับโมเลกุลของแฮโลเจน จากนั้นแฮโลเนียมไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยากับวงแหวนเบนซีนเกิดเบนซีนเนียมไอออน และกำจัดโปรตอนออกจนสุดท้ายได้เป็นแฮโลเบนซีนดังสมการ

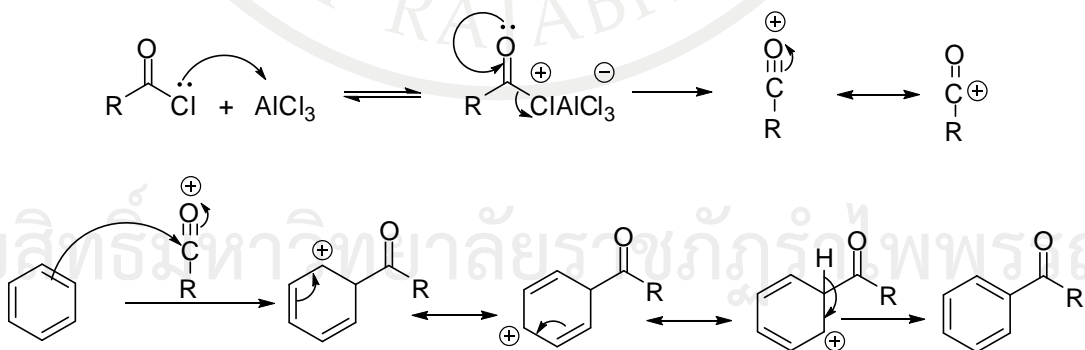


3.1.3 ปฏิกิริยาเอซิลเลชัน

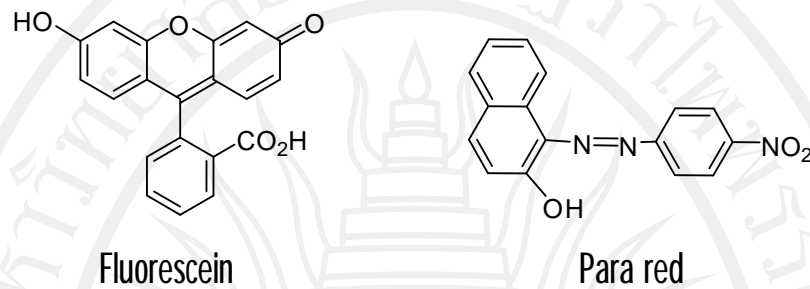
ปฏิกิริยาเอซิลเลชันเป็นปฏิกิริยาที่วงแหวนเบนซีนทำปฏิกิริยากับเอซิลแฮไลด์โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นอลูมิเนียมไตรคลอไรด์ (AlCl_3) ดังสมการ



กลไกการเกิดปฏิกิริยาจะเริ่มจากการสร้างอิเล็กโทรไฟล์โดยเอซิลแฮไลด์รวมตัวกับอลูมิเนียมไตรคลอไรด์แล้วแตกตัวให้เอซิลแคตไอออน จากนั้นเอซิลแคตไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยากับวงแหวนเบนซีน จนสุดท้ายได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอซิลเบนซีน

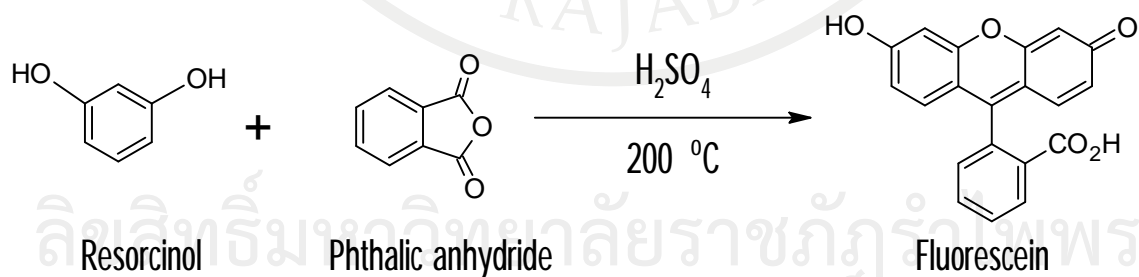


ตัวอย่างการนำปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์ของสารประกอบอะโรมาติกไปใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์เช่นการสังเคราะห์พาราเรด (Para red, 1-(p-Nitophenylazo)-2-naphthol) สีย้อมผ้าในกลุ่มเอโซ (Azo dye) และสารฟลูออเรสซิน (Fluorescein) ซึ่งเป็นสีย้อมในกลุ่มแซนทีน (Xanthenes) โดยมีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 3.3



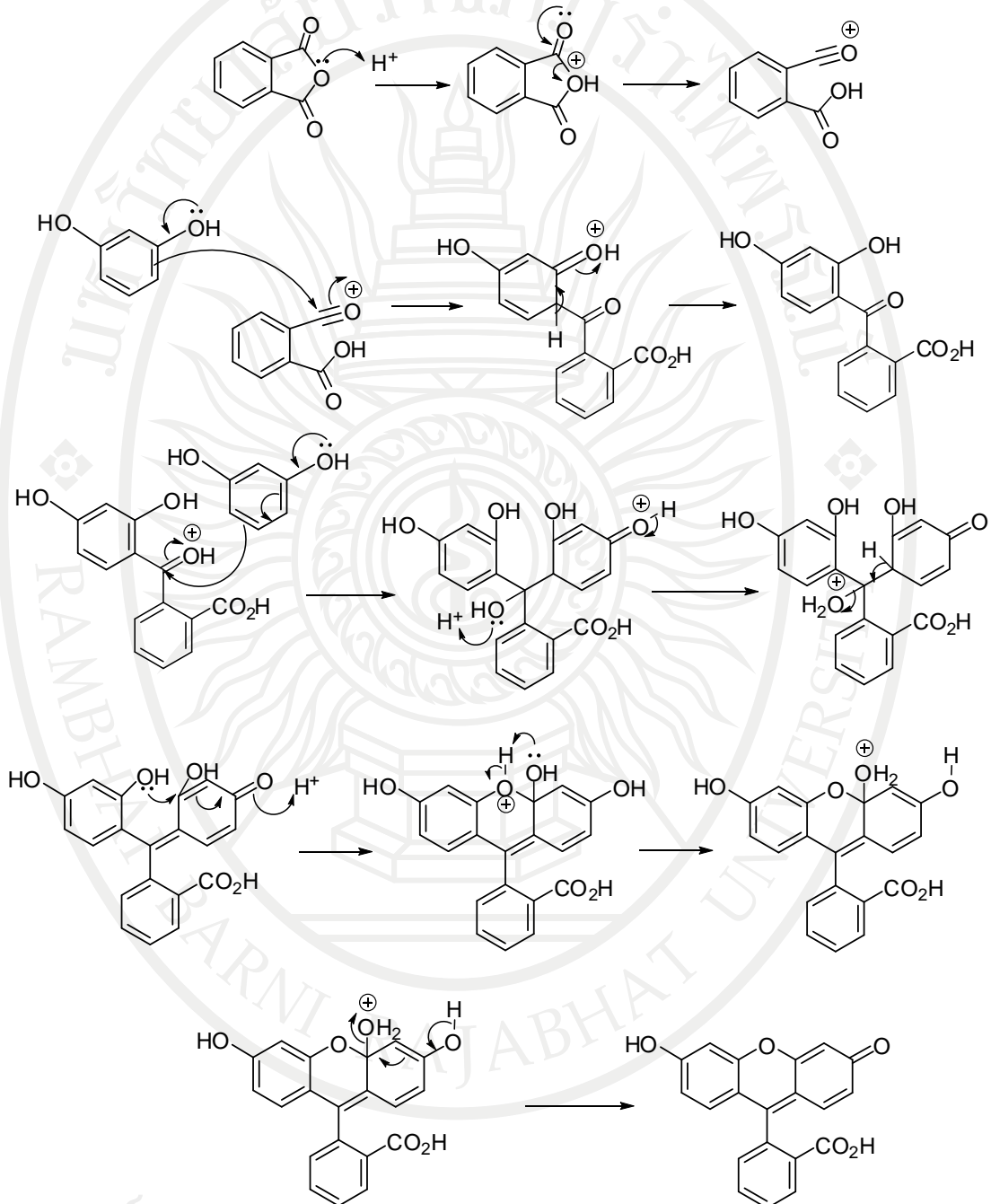
ภาพที่ 3.3 โครงสร้างของฟลูออเรสซิน และพาราเรด

ฟลูออเรสซิน (McCullagh, J. V. & Daggett, K. A., 2007: 1799) เป็นสีย้อมในกลุ่มแซนทีนมีลักษณะเป็นของแข็งสีส้มเข้มจนถึงสีแดงสามารถละลายได้ทั้งในน้ำและแอลกอฮอล์ สารนี้มีประโยชน์ในหลายด้าน เช่น ในวงการชีววิทยาของเซลล์นิยมใช้อนุพันธ์ของสารนี้ (Isocyanate derivative) เป็นตัวติดตามการทำงานของเซลล์ (Fluorescein tracer) โดยใช้ร่วมกับฟลูออเรสเซนซ์ไมโครสโคปี (Fluorescent microscopy) หรืออาจใช้สารนี้ติดเข้ากับแอนติบอดี (Antibody) เพื่อศึกษาโปรตีนจำเพาะ ในทางการแพทย์ใช้เกลือโซเดียมของสารฟลูออเรสซินในการตรวจสอบโรคที่เกี่ยวข้องกับดวงตา เช่น การฉีดสีฟลูออเรสซิน (Fluorescein angiography) สีโซเดียมฟลูออเรสซินนี้มีโครโมฟอร์ (หมู่ฟังก์ชันที่สามารถดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า) ที่สามารถดูดซับพลังงานจากแสงกระตุ้นที่มีความยาวคลื่นในช่วงของแสงสีฟ้า (465-490 นาโนเมตร) และคายพลังงานออกมาในช่วงแสงสีเขียว (520-530 นาโนเมตร) สำหรับวิธีการสังเคราะห์ฟลูออเรสซินจะอาศัยปฏิกิริยาฟิเดลคราฟท์เอซิลเลชัน (Friedel-Crafts acylation) แบบต่อเนื่องสองขั้นตอนดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ฟลูออเรสซิน

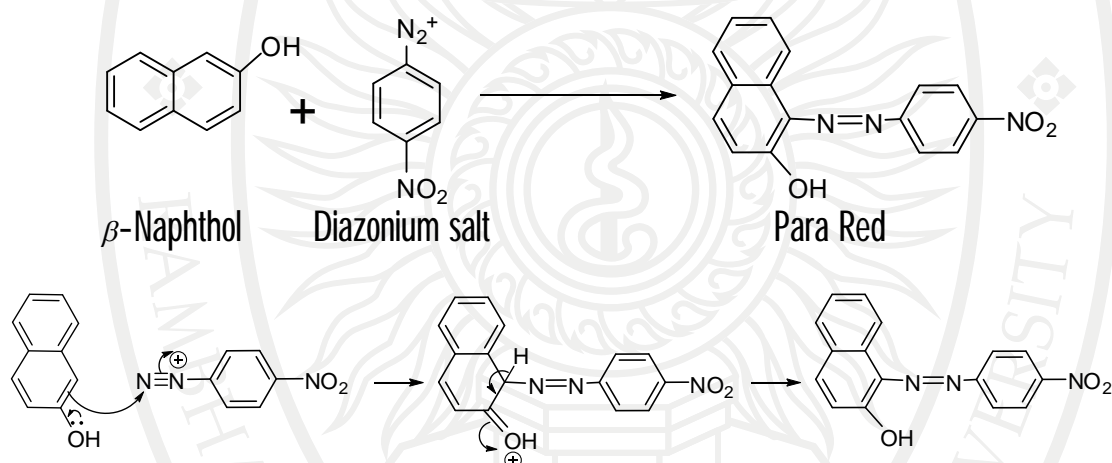
กลไกการเกิดปฏิกิริยาใช้รีซอร์ซินอล (Resorcinal) 2 โมเลกุล โดยมีกรดซัลฟิวริกทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังภาพที่ 3.5



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 3.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์ฟลูออเรสซิน

พาราเรด (Al-Rubaie, L. A. R. & Mhessn, R. J., 2012: 465) เป็นสีย้อมผ้าในกลุ่มเอโซที่ผลิตขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1880 โดย Von Gallois และ Ullrich การสังเคราะห์สีย้อมชนิดนี้ทำได้โดยการใช้สารประกอบอะโรมาติกเอมีนชนิดปฐมภูมิ (1° -Aromatic amine) คือ พาราไนโตรอะนิลีน (p-Nitroaniline, 4-nitroaniline) ทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกได้เกลือไดแอโซเนียม (Diazonium salt) ซึ่งมีความเสถียรที่อุณหภูมิต่ำและจะสลายตัวที่อุณหภูมิสูงเกิดเป็นแก๊สไนโตรเจนกับฟีนอล สารไดแอโซเนียมที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำมาทำปฏิกิริยาคู่ควบ (Coupling) เชื่อมต่อกับสารประกอบพอลินิวเคลียร์อะโรมาติกเบตาแนฟทอล (β -Naphthol, 2-naphthol) ที่ตำแหน่งออร์โธได้เป็นสีย้อมตามสมการเคมีในภาพที่ 3.6 สีย้อมที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นสีแดงสดและถ้าเปลี่ยนชนิดของเอมีนและสภาพความเป็นกรดเบสของปฏิกิริยาจะทำให้สีย้อมที่ได้มีสีเปลี่ยนไป เช่น สีส้ม หรือ เหลือง



ภาพที่ 3.6 ปฏิกิริยาและกลไกการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์พาราเรด

เทคนิคในการเตรียมสีย้อมเอโซนี้สามารถนำมาใช้ในการแยกความแตกต่างของสารประกอบในกลุ่มเอมีนระหว่างอะโรมาติกเอมีนปฐมภูมิ และ อะลิฟาติกเอมีนปฐมภูมิได้ โดยเกลือไดแอโซเนียมของอะโรมาติกเอมีนปฐมภูมิจะเสถียรที่อุณหภูมิต่ำแต่สำหรับเกลือไดแอโซเนียมของอะลิฟาติกเอมีนปฐมภูมินั้นไม่เสถียรที่อุณหภูมิต่ำและจะสลายตัวเกิดเป็นสารประกอบอื่น

3.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_EAr

ในกรณีที่วงแหวนเบนซีนมีหมู่แทนที่ต่ออยู่ ชนิดของหมู่แทนที่วงแหวนเบนซีนจะมีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์อย่างมาก ซึ่งอาจทำให้วงแหวน

เบนซีนวงไวต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น (จัดว่าหมู่แทนที่เหล่านี้เป็น **Activating group**) หรืออาจจะทำให้วงแหวนเบนซีนวงไวต่อปฏิกิริยาน้อยลง (จัดว่าหมู่แทนที่เหล่านี้เป็น **Deactivating group**) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

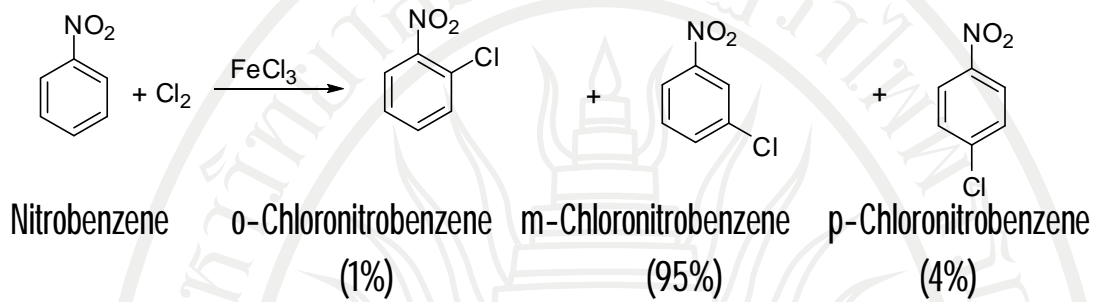
ตารางที่ 3.1 ผลของหมู่แทนที่ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

ผลของหมู่แทนที่ (Electronic effect)	ตัวอย่างหมู่แทนที่	ผลต่ออัตราการ เกิดปฏิกิริยา (Activation)	ตำแหน่งที่เข้า แทนที่ (Direction)
ให้ e^- ผ่าน Conjugation	$-NR_2$, $-OR$	Very activating	ortho, para
ให้ e^- ผ่าน Inductive effect	Alkyl	Activating	ortho, para
ให้ e^- ผ่าน Conjugation และ ดึง e^- ผ่าน Inductive effect	F, Cl, Br, I	Deactivating	ortho, para
ดึง e^- ผ่าน Inductive effect	$-CF_3$, $-NR_3^+$	Deactivating	meta
ดึง e^- ผ่าน Conjugation	$-NO_2$, $-CN$, $-COR$, $-SO_3R$	Very deactivating	meta

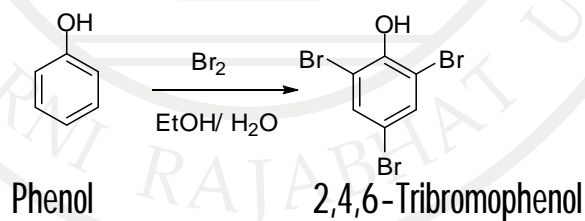
ที่มา : (Clayden, J. and other., 2005: 568)

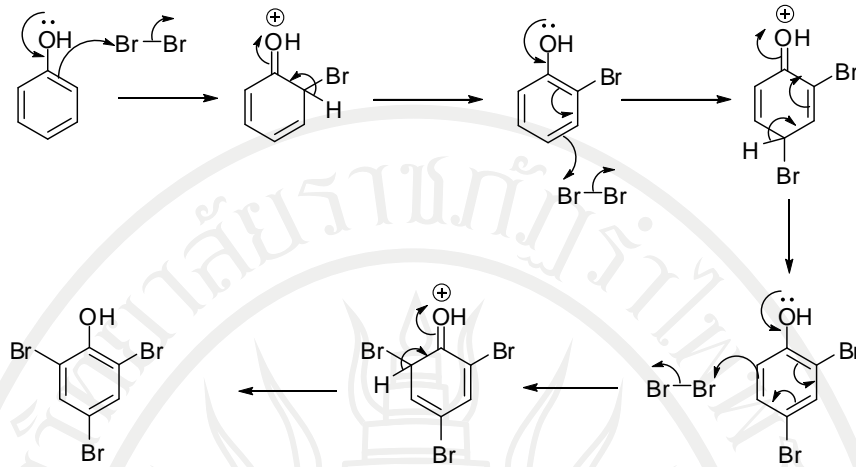
โดยทั่วไปหมู่ดึงอิเล็กตรอน ไม่ว่าจะเป็นโดยผลของอินดักทีฟ (Inductive effect) เช่น หมู่ $-CF_3$ หรือผลของเรโซแนนซ์ (Resonance effect) เช่น หมู่ $-NO_2$, $-CO_2CH_3$, $-SO_3H$ จะทำหน้าที่เป็น **Deactivating group** และมักจะทำให้เกิดการแทนที่ที่ตำแหน่งเมตา (Meta, m-) กับตำแหน่งของหมู่แทนที่นั้น (Meta directing effect) ทั้งนี้เนื่องมาจากหมู่แทนที่ดังกล่าวเหนี่ยวนำทำให้เกิดการเคลื่อนที่ (Delocalization) ของอิเล็กตรอนออกจากวงแหวนเบนซีนจึงทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในวงแหวนเบนซีนโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ตำแหน่งออร์โธ (Ortho, o-) และพารา (Para, p-) มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนลดลง ในขณะที่ตำแหน่งเมตาจะถูกครอบงำน้อยกว่าตำแหน่งอื่นจึงเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่า อีกเหตุผลหนึ่งก็คือเบนซีนนิยมไอออนที่มีหมู่แทนที่ต่อตำแหน่งเมตา ที่เกิดขึ้นยังมีพลังงานต่ำกว่าอินเทอร์มีเดียตที่มีหมู่แทนที่ต่ออยู่ที่ตำแหน่งออร์โธหรือพาราอีกด้วย ตัวอย่างผลของหมู่ดึงอิเล็กตรอนต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

การแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์ของสารประกอบอะโรมาติก เช่น การเกิดปฏิกิริยาคลอริเนชันของไนโตรเบนซีนเกิดผลิตภัณฑ์เป็นเมตาคลอโรไนโตรเบนซีน (*m*-Chloronitrobenzene) ร้อยละ 95 (สำเนียง อภิสันติยาคม, 2555: 91) ดังสมการ ทั้งนี้เนื่องจากหมู่ไนโตรจัดเป็นหมู่ที่ควบคุมให้เข้าที่ตำแหน่งเมตา (Meta-deactivating director)



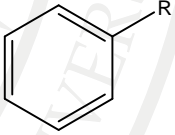
ในทางตรงกันข้าม หมู่แทนที่ที่ให้อิเล็กตรอน ไม่ว่าจะโดยผลของอินดักทีฟ เช่น $-CH_3$ หรือผลของเรโซแนนซ์ เช่น $-OR$, $-OH$, $-NH_2$ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์เกิดเร็วขึ้น (Activating group) และมักทำให้เกิดการแทนที่ที่ตำแหน่งออร์โทและพารา (Ortho, para directing group) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเข้าไปในวงแหวนเบนซีนทำให้ความหนาแน่นอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ตำแหน่งออร์โทและพารา ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาโบรมิเนชัน (Bromination) ของฟีนอล (Clayden, J. and other, 2005: 555) ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาใด ๆ เลย และสามารถเกิดการแทนที่ที่ตำแหน่งออร์โทและพาราทุกตำแหน่งเกิดเป็น 2,4,6-ไตรโบรมิฟีนอล (2,4,6-Tribromophenol) ทั้งนี้เพราะฟีนอลมีหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งเป็นหมู่ที่ให้อิเล็กตรอนที่ดีและเป็นหมู่ที่เหนี่ยวนำให้เข้าแทนที่ที่ตำแหน่งออร์โทและพารา (Ortho, para directing group)





หมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นหมู่ให้อิเล็กตรอนที่ดีเนื่องจากมีออกซิเจนซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่สามารถให้อิเล็กตรอนแก่วงเบนซินผ่านเรโซแนนซ์ได้ แต่เมื่อเทียบกับธาตุไนโตรเจนแล้วพบว่าไนโตรเจนสามารถให้อิเล็กตรอนได้ดีกว่าและทำให้ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์เกิดได้เร็วกว่าด้วย ทั้งนี้เพราะธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีต่ำกว่าธาตุออกซิเจนจึงสามารถให้อิเล็กตรอนแก่วงเบนซินได้ดีกว่าธาตุออกซิเจนดังตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาโบรมิเนชันเทียบกับเบนซินตามตารางที่ 3.2

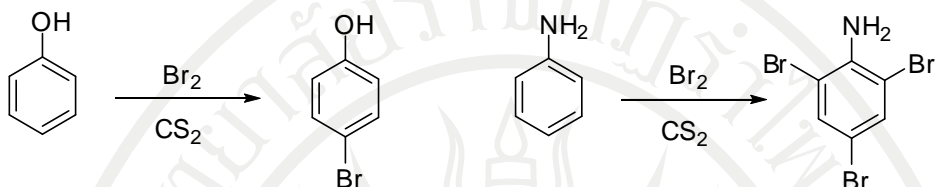
ตารางที่ 3.2 อัตราการเกิดปฏิกิริยาโบรมิเนชันของสารประกอบอะโรมาติกบางชนิด

สารประกอบ	อัตราการเกิดปฏิกิริยา สัมพัทธ์ของปฏิกิริยา โบรมิเนชันของเบนซิน	
เบนซิน	1	R= H; เบนซิน
อะนิโซล	10^9	R= OMe; อะนิโซล
N,N-ไดเมทิลอะนิลีน	10^{14}	R= NMe ₂ ; N,N-ไดเมทิลอะนิลีน

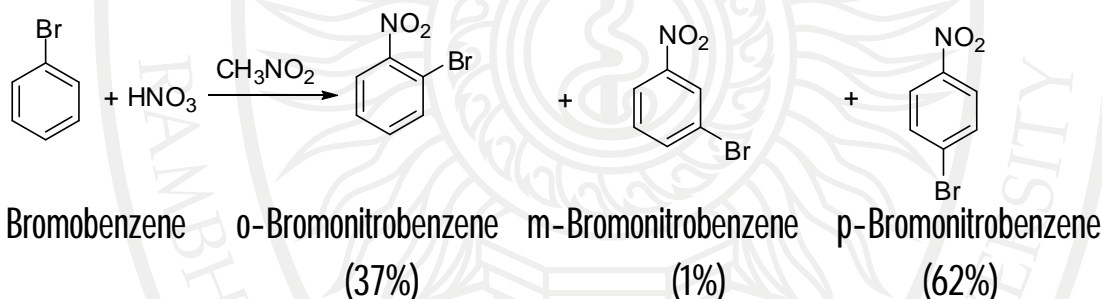
ที่มา : (Clayden, J. and other, 2005: 559)

จากตารางจะเห็นว่าสารประกอบอะนิโซล (Anisole) และสารประกอบ N,N-ไดเมทิลอะนิลีน (N,N-Dimethylaniline) เกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าเบนซิน 10^9 และ 10^{14} เท่า ตามลำดับ และ N,N-ไดเมทิลอะนิลีน สามารถเกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วกว่าอะนิโซลเนื่องจากมีไนโตรเจนซึ่งสามารถให้อิเล็กตรอนแก่วงเบนซินได้ดีกว่านั่นเอง อีกตัวอย่างหนึ่งที่เห็นได้อย่างชัดเจนว่าไนโตรเจนสามารถทำให้วงแหวนอะโรมาติกว่องไวต่อปฏิกิริยามากกว่าออกซิเจนคือปฏิกิริยาโบรมิเนชันในตัวทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส ซึ่งปฏิกิริยานี้

จะช่วยลดความว่องไวของฟีนอลจากการแทนที่สามตำแหน่งเหลือเพียงตำแหน่งเดียวคือ ได้เฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีการแทนที่ตรงตำแหน่งพาราเท่านั้นแต่อะนีนกลับเกิดปฏิกิริยาทุกตำแหน่งที่เป็นออร์โธและพารา (Clayden, J. and other, 2005: 559)



ในกรณีที่หมู่แทนที่บนวงแหวนเบนซีนเป็นแฮไลเจนซึ่งเป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอนโดยผลของอินดักทีฟแต่เป็นหมู่ให้อิเล็กตรอนโดยผลของเรโซแนนซ์พบว่ามันจะแสดงสมบัติเป็นหมู่ที่ลดความว่องไว (Deactivating group) เนื่องจากอิทธิพลของอินดักทีฟแต่เป็นหมู่ที่เหนี่ยวนำให้เข้าที่ตำแหน่งออร์โธและพารา (Ortho, para directing group) เนื่องจากผลของเรโซแนนซ์ ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาไนเตรชันของโบรมобенซีนจะเกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นออร์โธและพารา ร้อยละ 37 และ 62 ตามลำดับซึ่งมากกว่าเมตา ดังสมการ (สำเนียง อภิสิทธิ์ยาตม, 2555: 93)



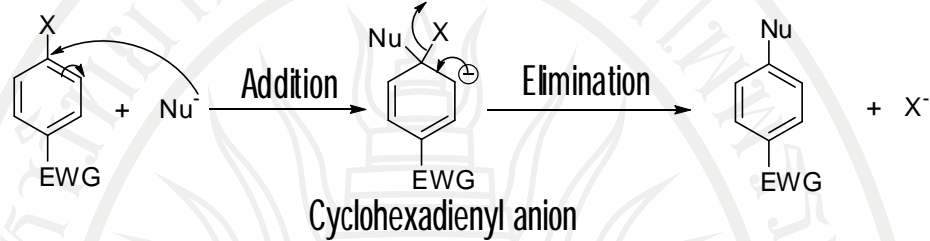
3.3 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_NAr

โดยปกติแล้วสารประกอบอะโรมาติกมักเกิดปฏิกิริยาแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์ผ่านกลไกการแทนที่บนอะโรมาติกด้วยอิเล็กโตรไฟล์ (S_EAr) เนื่องจากสารประกอบอะโรมาติกมีความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูง แต่ถ้าวงแหวนเบนซีนมีหมู่แทนที่ที่เป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอน เช่น หมู่ไนโตร (-NO₂) หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) หมู่ฟลูออไรด์ (-F) หมู่ดึงอิเล็กตรอนเหล่านี้จะลดความหนาแน่นของอิเล็กตรอนบนวงอะโรมาติกลง ส่งผลให้สามารถเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์บนวงอะโรมาติกได้ โดยเกิดผ่านกลไกการแทนที่บนสารประกอบอะโรมาติกด้วยนิวคลีโอไฟล์ (Nucleophilic aromatic substitution, S_NAr) โดยกลไกแบ่งเป็นสองแบบดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

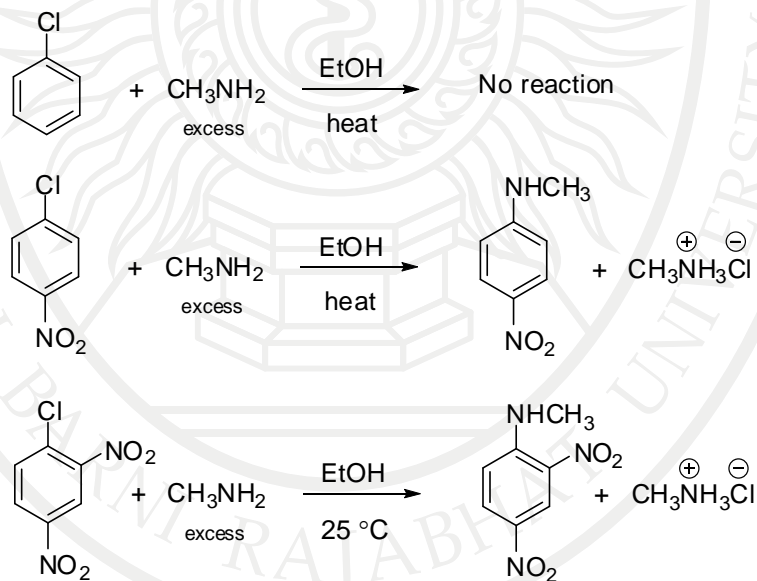
3.3.1 กลไกแบบการเติม-การขจัด

กลไกแบบการเติม-การขจัด (Addition-Elimination) ขั้นตอนแรกเป็นการเติม นิวคลีโอไฟล์เข้าไปที่วงแหวนเบนซีนทำให้เกิดสารมัธยันต์ไซโคลเฮกซะไดอีนิลแอนไอออน (Cyclohexadienyl anion) จากนั้นในขั้นที่สองเป็นการกำจัดหมู่หลุดออก เพื่อคืนความเป็นอะโรมาติกกลับมาอีกครั้ง ดังภาพที่ 3.7



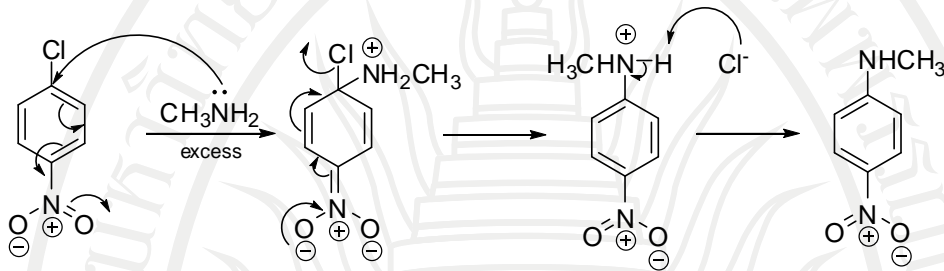
ภาพที่ 3.7 กลไกการเกิดปฏิกิริยา S_NAr แบบการเติม-การขจัด

ตัวอย่างเช่นปฏิกิริยาระหว่างเมทิลเอมีน (Methylamine) กับคลอโรเบนซีน (Chlorobenzene) p-คลอโรไนโตรเบนซีน (p-Chloronitrobenzene) และ 2,4-ไดไนโตรคลอโรเบนซีน (2,4-Dinitrochlorobenzene) ดังสมการ (สำเนียง อภิสันติยาคม, 2555: 95)

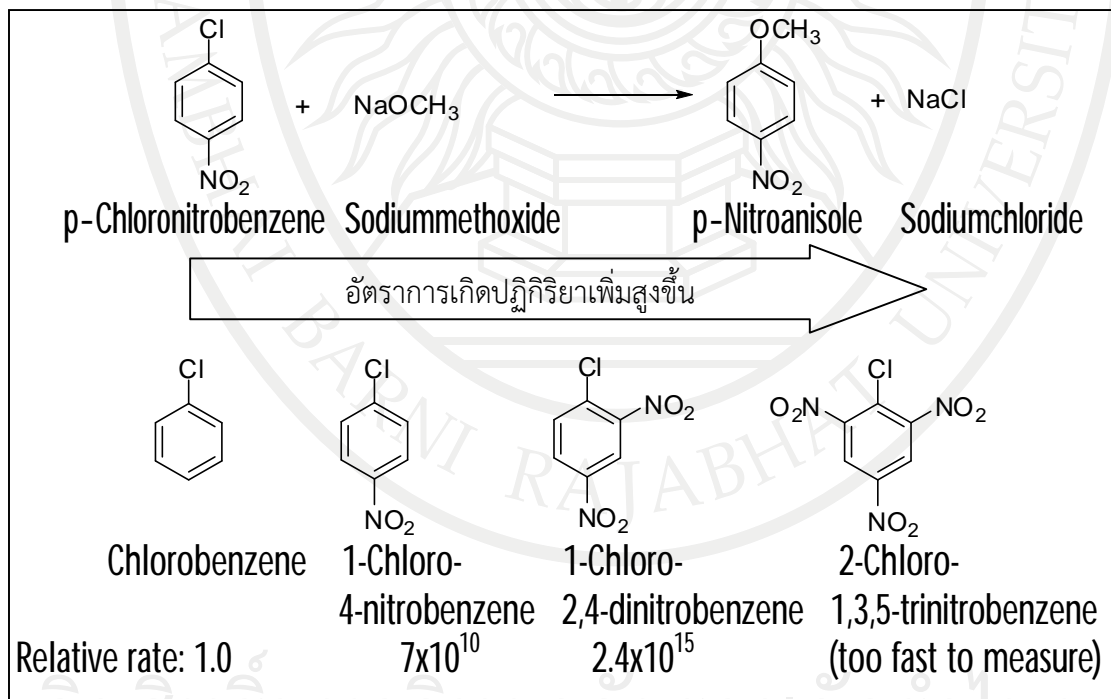


จากสมการจะเห็นว่าเมื่อสารตั้งต้นเป็นคลอโรเบนซีนไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ได้เลยทั้งนี้เพราะความหนาแน่นของอิเล็กตรอนบนวงเบนซีนของคลอโรเบนซีนยังมีค่อนข้างสูง นิวคลีโอไฟล์ซึ่งชอบเข้าทำปฏิกิริยาในบริเวณที่มีความหนาแน่นอิเล็กตรอนน้อย จึงไม่เข้าทำปฏิกิริยากับคลอโรเบนซีน แต่เมื่อมีหมู่ไนโตร ($-NO_2$) เพิ่มเข้าไปในวงแหวนเบนซีนสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ โดยหากมีหมู่ไนโตร 1 หมู่ สามารถเกิดปฏิกิริยาได้เมื่อให้ความร้อน

แต่เมื่อเพิ่มหมู่ไนโตรเป็น 2 หมู่ พบว่าสามารถเกิดปฏิกิริยาแทนที่ได้ที่อุณหภูมิต่ำลงคือเพียง 25 องศาเซลเซียส จากสถานะของปฏิกิริยาข้างต้นสามารถเรียงลำดับความว่องไวต่อปฏิกิริยา S_NAr จากมากไปน้อยได้ดังนี้ 2,4-ไดไนโตรคลอโรเบนซีน **p**-คลอโรไนโตรเบนซีน และ คลอโรเบนซีน ที่เป็นเช่นนี้เพราะหมู่ไนโตรเป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอนที่ช่วยลดความหนาแน่นอิเล็กตรอนของวงแหวนอะโรมาติกลงยิ่งมีจำนวนหมู่ไนโตรมากก็จะช่วยลดอิเล็กตรอนลงได้มากและทำให้ว่องไวต่อปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์มากยิ่งขึ้น โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาเป็นดังนี้



อีกตัวอย่างหนึ่งของปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์บนสารประกอบอะโรมาติก คือปฏิกิริยาของ **p**-คลอโรไนโตรเบนซีน กับโซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium methoxide) ในเอทานอล ดังสมการ ซึ่งเมื่อเปลี่ยนสารตั้งต้นที่มีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไนโตรที่ดึงอิเล็กตรอนมากขึ้นจะเห็นว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงกว่ากรณีที่ไม่ได้มีหมู่ดึงอิเล็กตรอนอย่างมาดังภาพที่ 3.8

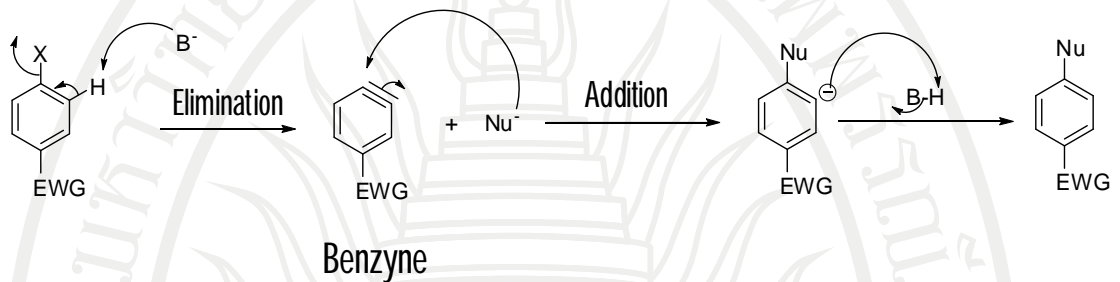


ภาพที่ 3.8 อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบอะโรมาติกกับโซเดียมเมทอกไซด์

ที่มา : (Carey, F. A., 2000: 922)

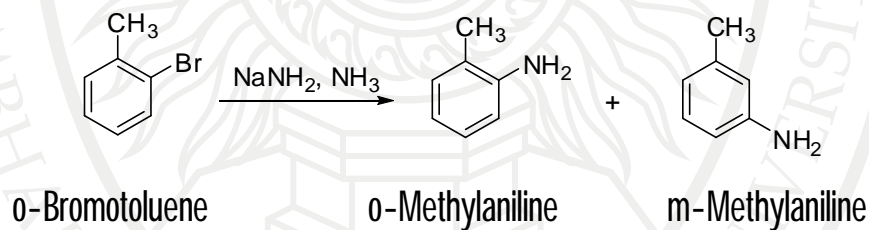
3.3.2 กลไกแบบการขจัด-การเติม

กลไกแบบการขจัด-การเติม (Elimination-Addition) มีขั้นตอนแรกเป็นการทำให้เกิดสารมัธยันต์เบนซีน (Benzyne) ซึ่งเกิดจากการที่เบสแก่เช่น โซเดียมเอไมด์ (NaNH_2) ไปดึงโปรตอนจากวงอะโรมาติก พร้อมทั้งเกิดการกำจัดหมู่หลุดออกได้เป็นพันธะสามขึ้น จากนั้นเป็นการเติมด้วยนิวคลีโอไฟล์ ดึงโปรตอนคืนจากเบสจนได้เป็นผลิตภัณฑ์ในที่สุด ดังภาพที่ 3.9

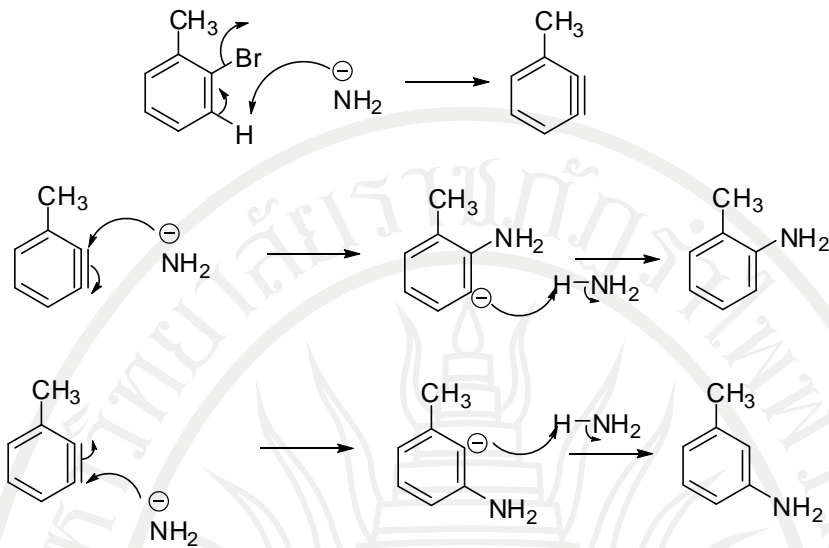


ภาพที่ 3.9 กลไกการเกิดปฏิกิริยา $\text{S}_{\text{N}}\text{Ar}$ แบบการขจัด-การเติม

ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาของ ออร์โทโบรมโทลูอีน (*o*-Bromotoluene) กับโซเดียมเอไมด์ (Sodium amide) ในแอมโมเนียเกิดผลิตภัณฑ์สองชนิดคือ ออร์โทเมทิลอะนิลีน (*o*-Methylaniline) และ เมตาเมทิลอะนิลีน (*m*-Methylaniline) (Carey, F. A., 2000: 928) ดังสมการ



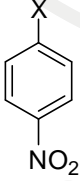
ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยานี้หากเกิดผ่านกลไกแบบการเติม-การขจัดจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เฉพาะออร์โทเมทิลอะนิลีนเพียงอย่างเดียว แต่ในความเป็นจริงแล้วกลับพบว่ามีผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งคือ เมตาเมทิลอะนิลีนเกิดขึ้นในปฏิกิริยานี้ด้วย แสดงให้เห็นว่ากลไกการเกิดปฏิกิริยานั้นไม่ได้เกิดผ่านแบบการเติม-การขจัดแต่เป็นกลไกที่มีการสร้างเบนซีนเกิดขึ้นตามกลไกของแบบการขจัด-การเติม ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 กลไก S_NAr แบบการขจัด-การเติม ของออร์โทโบรมโทลูอินกับโซเดียมเอไมด์

3.4 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_NAr

ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์บนสารประกอบอะโรมาติกจะเกิดได้เร็วหรือช้าขึ้น ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือความหนาแน่นอิเล็กตรอนบนวงแหวนอะโรมาติกซึ่งหากมีความหนาแน่นอิเล็กตรอนน้อยสารประกอบอะโรมาติกนั้นจะว่องไวต่อนิวคลีโอไฟล์มากกว่า นอกจากนี้หมู่หลุดออกที่ดีเช่น แฮไลด์ ($-X$) จะมีส่วนช่วยให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น สำหรับหมู่หลุดออกในกลุ่มแฮไลด์พบว่าลำดับความว่องไวของปฏิกิริยาเป็นดังนี้ $F^- > Cl^- > Br^- > I^-$ ซึ่งตรงกันข้ามกับแนวโน้มของปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ในสารประกอบอะลิฟาติกที่ I^- จะเป็นหมู่หลุดออกที่ดีที่สุดดังตัวอย่างการเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาของไนโตรเบนซีน (Nitrobenzene) ที่มีหมู่แทนที่เป็นแฮไลเจน (X) ชนิดต่าง ๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับโซเดียมเมทอกไซด์ในเมทานอลที่ 50 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 3.11 ซึ่งพบว่าเมื่อมีฟลูออรีนเป็นหมู่แทนที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแฮไลเจนชนิดอื่น ๆ

	อัตราการเกิดปฏิกิริยาสัมพัทธ์	
	X = F	312
X = Cl	1.0	
X = Br	0.8	
X = I	0.4	

ภาพที่ 3.11 อัตราการเกิดปฏิกิริยาของไนโตรเบนซีนที่มีหมู่แทนที่เป็นแฮไลเจน (X) ชนิดต่าง ๆ
ที่มา : (Carey, F. A., 2000: 923)

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากชั้นกำหนดอัตราของปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์บนสารประกอบอะโรมาติก คือชั้นที่ทำให้เกิดคาร์เบนไอออนซึ่งหากหมู่หลุดออกสามารถดึงอิเล็กตรอนออกจากวงอะโรมาติกได้มากจะทำให้คาร์เบนไอออนที่เกิดขึ้นนั้นเสถียร ดังนั้นฟลูออรีน (F) ซึ่งเป็นธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (EN) สูงที่สุด จึงช่วยทำให้คาร์เบนไอออนเสถียรมากที่สุด และเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์บนสารประกอบอะโรมาติกได้เร็วกว่าการมีหมู่หลุดออกที่มีค่า EN ต่ำกว่า นอกจากนี้ตำแหน่งของหมู่หลุดออกและหมู่แทนที่ที่เป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอนยังมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากสารมัธยันต์ที่เกิดขึ้นจะถูกทำให้เสถียรโดยผ่านผลของเรโซแนนซ์โดยในทุก ๆ ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์บนวงแหวนอะโรมาติก หมู่แทนที่ที่เป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอนจะอยู่ที่ตำแหน่งออร์โธและพารากับหมู่หลุดออก ซึ่งหมู่แทนที่นี้จะช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์เร็วขึ้นโดยจะปลดความหนาแน่นอิเล็กตรอนของวงแหวนเบนซีน และยังสามารถทำให้สารมัธยันต์ซึ่งเป็นไซโคลเฮกซะไดอีนิลแอนไอออนเสถียรขึ้นผ่านทางเรโซแนนซ์

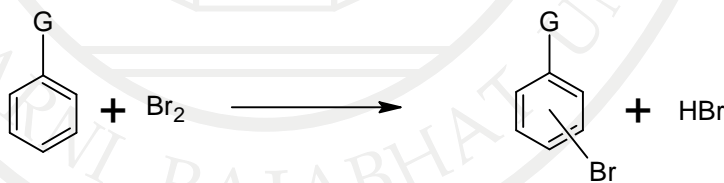
3.5 การทดลองประจำบท

สำหรับการทดลองในบทที่ 3 นี้ แบ่งเป็น 2 การทดลอง คือ

ปฏิบัติการที่ 3.1 ผลของหมู่แทนที่ในปฏิกิริยา S_EAr

ปฏิบัติการที่ 3.2 การสังเคราะห์อนุพันธ์ 2,4-ไดไนโตรฟีนอลอะนิลีน

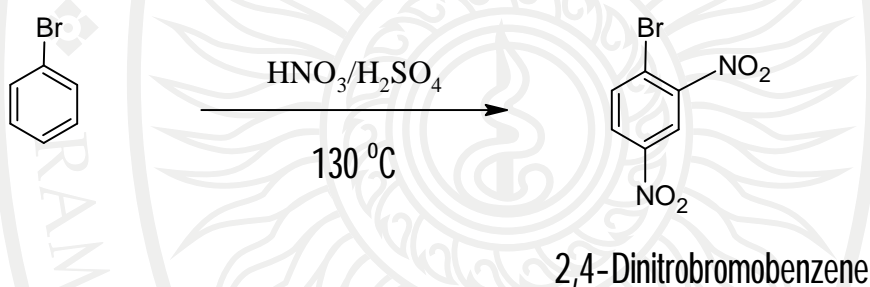
ในการทดลองแรกนักศึกษาจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับผลของหมู่แทนที่บนวงแหวนเบนซีนที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโตรไฟล์ของสารประกอบอะโรมาติกโดยอาศัยปฏิกิริยาโบรมิเนชัน ตามปฏิบัติการที่ 3.1 โดยปฏิกิริยาทั่วไปของปฏิกิริยาโบรมิเนชันเป็นดังภาพที่ 3.12



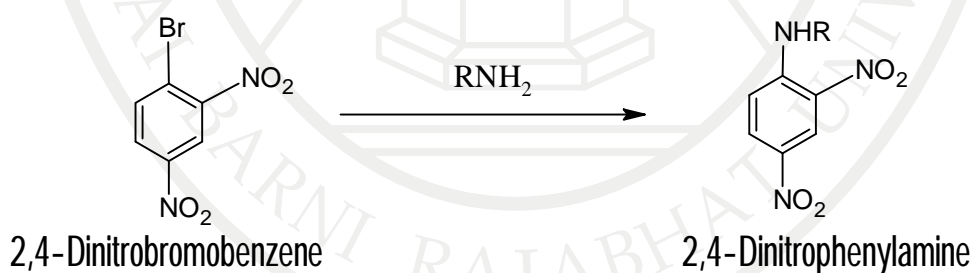
ภาพที่ 3.12 ปฏิกิริยาโบรมิเนชันของสารประกอบอะโรมาติก

ทั้งนี้เมื่อสารละลายโบรมีนซึ่งมีสีส้มแดงทำปฏิกิริยากับสารประกอบอะโรมาติกจะสังเกตเห็นสีของโบรมีนจางลงหรือหายไป สารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่แทนที่ต่าง ๆ กันจะส่งผลให้สีของโบรมีนหายไปด้วยเวลาที่ไมเท่ากันขึ้นกับหมู่แทนที่บนวงแหวนเบนซีนที่มีผลต่อความไวต่อปฏิกิริยา (Gilbert, J. C. & Martin, S. F., 2002: 483)

สำหรับการทดลองที่สองตามปฏิบัติการที่ 3.2 เป็นการสังเคราะห์อนุพันธ์ไดไนโตรฟีนิลของอะลิฟาติก หรืออะโรมาติกเอมีนโดยอาศัยกลไกการปฏิกิริยาทั้ง 2 แบบ คือ S_EAr และ S_NAr โดยในขั้นตอนแรกจะเป็นการทำปฏิกิริยาไดไนเตรชัน (Dinitration) ของโบรโมเบนซีน เพื่อให้ได้สาร 2,4-ไดไนโตรโบรโมเบนซีน (2,4-Dinitrobromobenzene) (Svoronos, P., Sarlo, E. & Kulawiec, R. J., 1997: 188) ผ่านกลไกการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่แบบอิเล็กโตรฟิลิก (S_EAr) ดังภาพที่ 3.13 จากนั้นเป็นการเตรียมอนุพันธ์ไดไนโตรฟีนิลเอมีน (Svoronos, P., Sarlo, E. & Kulawiec, R. J., 1997: 195) ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกที่มีสีแดง เหลือง หรือส้ม ด้วยปฏิกิริยาแทนที่แบบนิวคลีโอฟิลิก (S_NAr) ตามภาพที่ 3.14 ซึ่งมีสิ่งที่น่าสังเกตคือ แม้ว่าเมื่อใช้แอมโมเนีย หรือเอมีนปฐมภูมิเข้าทำปฏิกิริยาก็จะได้เพียงโมโนไดไนโตรฟีนิลเอมีนเท่านั้นเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผลของเรโซแนนซ์ของหมู่ไดไนโตรฟีนิลซึ่งไปลดความสามารถในการเป็นนิวคลีโอไฟล์ของ 2,4-ไดไนโตรฟีนิลเอมีน (2,4-Dinitrophenylamine) ที่เกิดขึ้นอย่างมากจนมันไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาแทนที่ครั้งที่สองได้อีก แม้ว่าบนอะตอมไนโตรเจนจะยังคงมีที่ว่างเหลือก็ตาม



ภาพที่ 3.13 สมการแสดงการสังเคราะห์ 2,4-ไดไนโตรโบรโมเบนซีน



ภาพที่ 3.14 สมการแสดงการสังเคราะห์ 2,4-ไดไนโตรฟีนิลเอมีน

นอกจากนี้นักศึกษายังได้ศึกษาผลของหมู่แทนที่ในวงอะโรมาติกที่มีผลต่อความว่องไวในปฏิกิริยาแทนที่แบบ S_NAr โดยการเปรียบเทียบความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง 2,4-ไดไนโตรโบรโมเบนซีน และ 2,4-ไดไนโตรคลอโรเบนซีน

ปฏิบัติการที่ 3.1 ผลของหมู่แทนที่ในปฏิกิริยา S_EAr

วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา S_EAr ของสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่แทนที่แตกต่างกัน

สารเคมี

1. อะซิทานิไลด์ (Acetanilide)
2. อะนิลีน (Aniline)
3. โทลูอีน (Toluene)
4. กรดแอซติก (Acetic acid)
5. เบนซาลดีไฮด์ (Benzaldehyde)
6. ไนโตรเบนซีน (Nitrobenzene)
7. โบรมเบนซีน (Bromobenzene)
8. ฟีนอล (Phenol)
9. โบรมีนในกรดแอซติก (Br_2/CH_3COOH)

อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. ที่ใส่หลอดทดลอง
3. ปีกเกอร์
4. ที่จับหลอดทดลอง
5. เตาให้ความร้อน
6. หลอดหยด

วิธีการทดลอง

ให้ทำชุดควบคุมเปรียบเทียบ (หลอดบรรจุโบรมีนในแอซติก 2 มิลลิลิตร)

1. เตรียมหลอดทดลอง และใส่สารประกอบอะโรมาติกที่กำหนดให้ลงในแต่ละหลอด (ถ้าสารตัวอย่างเป็นของเหลวใช้ 3 หยด ส่วนของแข็งให้ใช้ 1 เม็ดถั่วเขียว)
2. เติมโบรมีนในกรดแอซติกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ลงในหลอดทดลองที่มีสารอะโรมาติกอยู่ หลอดละ 2 มิลลิลิตร เขย่า เริ่มจับเวลาตั้งแต่ใส่โบรมีนจนสีของโบรมีนจางหายไปหรือเกิดตะกอนขาว

3. สำหรับหลอดที่สีโบรมีนจางหายไปซ้ำให้นำหลอดทดลองไปอุ่นในอ่างน้ำ
4. บันทึกเวลาที่ใช้ในการทำให้สีของโบรมีนจางหายไป ถ้าเวลาผ่านไป 15 นาทีแล้วสีของโบรมีนยังไม่จางหายไปหมดให้สังเกตจากความเข้มของสีโบรมีนเปรียบเทียบกันในแต่ละหลอด
5. จัดอันดับความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบอะโรมาติกแต่ละชนิด
6. รับสารตัวอย่าง **Unknown** จากอาจารย์ผู้สอน 3 ชนิด ให้นักศึกษาเปรียบเทียบความว่องไวในปฏิกิริยาโบรมิเนชัน และระบุโครงสร้างสารให้สัมพันธ์กับความว่องไวต่อปฏิกิริยา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

สาขาวิชา.....กลุ่ม.....วันที่ทำการทดลอง.....

บันทึกผลการทดลองที่ 3.1

ผลของหมู่แทนที่ในปฏิกิริยา S_EAr

วัตถุประสงค์

.....

ผลการทดลอง

สารประกอบ	โครงสร้างสาร	เวลาที่ใช้ในการ พอกจางสีโบรมีน	ประเภทของหมู่ แทนที่
Toluene			
Aniline			
Acetanilide			
Phenol			
Nitrobenzene			
Bromobenzene			
Benzaldehyde			

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงทำนายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาโบรมิเนชันของสารประกอบอะโรมาติกต่อไปนี้

1.1 Toluene

1.2 Aniline

1.3 Phenol

1.4 Nitrobenzene

1.5 Acetanilide

1.6 Benzaldehyde

2. สารประกอบอะโรมาติกที่กำหนดให้ในการทดลองสารใดมีหมู่แทนที่เป็นแบบ Deactivating group

.....

.....

.....

3. สารประกอบอะโรมาติกที่กำหนดให้ในการทดลองสารใดมีหมู่แทนที่เป็นแบบ Activating group

.....

.....

.....

4. ฟีนอล (Phenol) กับ อะซิทานิลด์ (Acetanilide) สารใดจะมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาโบรมิเนชันมากกว่ากัน จงอธิบาย

.....

.....

.....

5. จงเขียนกลไกการเกิดปฏิกิริยาโบรมิเนชันของอะซิทานิลด์

.....

.....

.....

ปฏิบัติการที่ 3.2

การสังเคราะห์อนุพันธ์ 2,4-ไดไนโตรฟีนอลอะนิลีน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์สารประกอบอะโรมาติกโดยผ่านกลไก S_EAr และ S_NAr
2. เพื่อเปรียบเทียบความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา S_NAr

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
2. กรดไนตริกเข้มข้น
3. โบรโมเบนซีน
4. น้ำแข็ง
5. 2,4-ไดไนโตรโบรโมเบนซีน
6. 2,4-ไดไนโตรคลอโรเบนซีน
7. อะนิลีน
8. เอทานอล

อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. อ่างน้ำร้อน
3. แท่งแก้วคนสาร
4. ปีกเกอร์
5. ชุดกรองสุญญากาศ
6. กระดาษกรอง
7. หลอดทดลอง
8. ขวดรูปชมพู่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การสังเคราะห์ 2,4-ไดไนโตรโบรโมเบนซีน

1. ให้ความร้อนแก่สารผสมของกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.5 มิลลิลิตร และกรดไนตริกเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองขนาดเล็กที่อุณหภูมิ 85-90 องศาเซลเซียส (ใช้อ่างน้ำร้อนระวังไอระเหยของกรด ให้ทำในตู้ควัน)
2. เติมโบรโมเบนซีน 0.3 กรัม ลงไปที่ละลายในสารละลายกรดที่ร้อน ภายในช่วงเวลา 1 นาที พร้อมทั้งคนสารละลายทุกครั้งที่ได้เติม อุณหภูมิสารละลายจะสูงขึ้นถึง 130-135 องศาเซลเซียส
3. ตั้งทิ้งไว้ 5 นาทีโดยเขย่าเป็นครั้งคราว ทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิห้องแล้วเทสารผสมลงในบีกเกอร์ขนาดเล็กที่มีน้ำแข็งอยู่ 10 กรัม คนอย่างแรงจนสารแข็งตัวเป็นผลึก
4. กรองผลึกที่ได้โดยใช้การกรองสุญญากาศ ล้างด้วยน้ำมาก ๆ จนหมดฤทธิ์กรด และทำให้ผลึกแห้งสนิท
5. ชั่งน้ำหนักและคำนวณร้อยละของผลผลิตที่ได้
6. เก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ในการทดลองตอนที่ 2

ข้อควรระวัง: 2,4-ไดไนโตรโบรโมเบนซีนอาจก่อให้เกิดการระคายเคือง ระวังอย่าให้สารสัมผัสผิวหนังและนัยน์ตา ถ้าเป็นไปได้อย่างสมควรสวมถุงมือ ถ้าถูกผิวหนังให้เช็ดด้วยแอลกอฮอล์แล้วตามด้วยสารละลายแอมโมเนียเจือจางเข้มข้นร้อยละ 1-2

ตอนที่ 2 การสังเคราะห์อนุพันธ์ 2,4-ไดไนโตรฟีนอลอะนิลีน

1. เตรียมหลอดทดลอง 3 หลอด แต่ละหลอดใส่เอทานอล 1 มิลลิลิตร จากนั้นหลอดแรกให้ใส่ โบรโมเบนซีน 1 มิลลิลิตร หลอดที่สองใส่ 2,4-ไดไนโตรโบรโมเบนซีน 0.2 กรัม หลอดที่สามใส่ 2,4-ไดไนโตรโบรโมเบนซีน 0.2 กรัม แล้วเติมอะนิลีน 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทั้งสามหลอด
2. อุ่นในอ่างน้ำร้อนจนของแข็งละลายหมด แล้วอุ่นต่อไปเป็นเวลาอีกอย่างน้อย 15 นาที ให้เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาของทั้งสามหลอดว่าหลอดใดเกิดตะกอนสีแดงก่อนกัน (ถ้าตัวทำละลายระเหยบ้างให้เติมเอทานอลลงไปอีก)
3. ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องและแช่เย็นในอ่างน้ำแข็ง 15 นาที กรองเก็บผลึกที่ได้โดยใช้การกรองสุญญากาศ สังเกตสีและรูปร่างผลึก ตกผลึกซ้ำในหลอดทดลองจากเอทานอล

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

สาขาวิชา.....กลุ่ม.....วันที่ทำการทดลอง.....

บันทึกผลการทดลองที่ 3.2

การสังเคราะห์อนุพันธ์ 2,4-ไดไนโตรฟีนอลอะนิลีน

วัตถุประสงค์

.....

ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การสังเคราะห์ 2,4-ไดไนโตรโบรมобенซีน

สมการแสดงการเกิดปฏิกิริยา

--

สารตั้งต้นคือ.....

อิเล็กโทรไฟล์คือ..... เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง..... และ.....

ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ..... ผลิตภัณฑ์มีสถานะเป็น..... สี.....

ปริมาณ.....กรัม คิดเป็นร้อยละผลผลิตเท่ากับ.....%
 ปริมาณ.....กรัม คิดเป็นร้อยละผลผลิตเท่ากับ.....%

แสดงวิธีคำนวณร้อยละของผลผลิต

.....

.....

.....

.....

.....

.....

กลไกการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์ 2,4-ไดไนโตรโบรโมเบนซีน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตอนที่ 2 การสังเคราะห์อนุพันธ์ 2,4-ไดไนโตรฟีนิลของอะนิลีน

สมการการเกิดปฏิกิริยา

กลไกการเกิดปฏิกิริยา

เปรียบเทียบผลของหมู่แทนที่ในการทำปฏิกิริยา **Nucleophilic aromatic substitution**

สาร	โครงสร้างสาร	ผลการทดลองที่สังเกตเห็น
โบรมобенซีน		
2,4-ไดไนโตรโบรมобенซีน		
2,4-ไดไนโตรคลอโรเบนซีน		

เรียงลำดับความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาคือ.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. การผสมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นกับกรดไนตริกเข้มข้นและให้ความร้อนทำเพื่ออะไร
.....
.....
.....
2. เหตุใดต้องล้างกรดออกจาก 2,4-ไดไนโตรเบนซีนให้หมดก่อนที่จะนำสารนี้ไปสังเคราะห์ 2,4-ไดไนโตรฟีนอลเอมีนในตอนต่อไป
.....
.....
.....
3. เหตุใดจึงต้องใช้เอทานอลในการตกผลึกสาร 2,4-ไดไนโตรฟีนอลเอมีน
.....
.....
.....
4. ถ้าในการทำการทดลองนี้เปลี่ยนสารตั้งต้นจาก 2,4-ไดไนโตรโบรโมเบนซีน เป็น 2,4-ไดไนโตรคลอโรเบนซีนจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นหรือช้าลงอย่างไรจงอธิบาย
.....
.....
.....
5. หมู่ไนโตร (-NO₂) มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอฟิลบวงอะโรมาติก อย่างไรจงอธิบาย
.....
.....
.....

3.6 สรุป

สารประกอบอะโรมาติกเป็นสารที่มีความเสถียรและมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง สารประกอบประเภทนี้จึงว่องไวต่อปฏิกิริยาการเติมและแทนที่น้อยกว่าสารประกอบอะลิฟาติก ซึ่งโดยปกติแล้วสารประกอบอะโรมาติกส่วนใหญ่จะสามารถเกิดปฏิกิริยาแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์ (S_EAr) ได้ง่ายกว่าการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ (S_NAr) ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาแทนที่ของสารประกอบอะโรมาติกคือความหนาแน่นของอิเล็กตรอนบนวงแหวนอะโรมาติก ซึ่งหากมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากจะเกิดการแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์ได้ดี ในทางตรงกันข้ามหากความหนาแน่นของอิเล็กตรอนบนวงอะโรมาติกลดลง อันเนื่องมาจากหมู่ดึงอิเล็กตรอนจะส่งผลให้ว่องไวต่อนิวคลีโอไฟล์มากกว่า และนอกจากนี้หมู่แทนที่บนวงอะโรมาติกยังส่งผลต่อตำแหน่งในการเข้าทำปฏิกิริยาของอิเล็กโทรไฟล์และนิวคลีโอไฟล์ ซึ่งสามารถทำนายผลิตภัณฑ์ที่จะเกิดขึ้นได้ตามชนิดของหมู่แทนที่

แบบฝึกหัดบทที่ 3

1. จงอธิบายคำที่กำหนดให้ต่อไปนี้
 - 1.1 Delocalization
 - 1.2 Arenium ion
 - 1.3 Benzyne
 - 1.4 S_NAr
 - 1.5 Electron withdrawing group
 - 1.6 Electron donating group
2. หลักในการพิจารณาว่าสารอินทรีย์ใด ๆ เป็นสารประกอบอะโรมาติกหรือไม่มีอะโรบั้ง
3. สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ฟลูออเรสซินประกอบด้วยสารใดบ้าง และแต่ละสารทำหน้าที่อะไรในกลไกการเกิดปฏิกิริยา
4. ปัจจัยที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_EAr เกิดได้เร็วคืออะไร จงอธิบาย
5. ปัจจัยที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_NAr เกิดได้เร็วคืออะไร จงอธิบาย
6. เหตุใดแฮโลเบนซีนจึงเกิดการแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์บนวงอะโรมาติกเกิดได้ช้ากว่าเบนซีน
7. กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ S_NAr มีสองแบบคือการเติม-การขจัด และการขจัด-การเติม ทั้งสองแบบนี้ต่างกันอย่างไร และจะเกิดขึ้นในกรณีแบบใดบ้าง จงอธิบาย
8. เหตุใด F จึงทำให้ปฏิกิริยา S_NAr เกิดได้เร็วกว่าแฮโลด์ชนิดอื่น
9. หมู่ $-CF_3$ เป็นหมู่ให้อิเล็กตรอน หรือ หมู่ดึงอิเล็กตรอน จงอธิบาย
10. หากในวงแหวนเบนซีนมีหมู่แทนที่เป็น $-NH_2CH_3$ สารนี้จะไวต่อปฏิกิริยาแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์มากหรือน้อยกว่าเบนซีน จงอธิบาย

เอกสารอ้างอิง

- สำเนียง อภิสันติยาคม. (2555). กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Al-Rubaie, L. A. R. & Mhessn, R. J. (2012, June). Synthesis and characterization of azo dye Para red and new derivatives. **E-Journal of chemistry**. 9(1), 465-470.
- Carey, F. A. (2000). **Organic chemistry** 4th ed., United States of America : The McGraw-Hill companies.
- Clayden, J. and other. (2005). **Organic chemistry**. New York : Oxford University Press.
- Gilbert, J. C. & Martin, S. F. (2002). **Experimental organic chemistry a miniscale and microscale approach**. New York : Brooks Cole /Thomson Learning.
- McCullagh, J. V. & Daggett, K. A. (2007, November). Synthesis of Triarylmethane and Xanthene Dyes Using Electrophilic Aromatic Substitution Reactions. **Journal of chemical education**. 84, 1799-1802.
- Svoronos, P., Sarlo, E. & Kulawiec, R. J. (1997). **Organic chemistry laboratory manual**. New York : A Times Mirror Higher Education Group.

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 4

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 4 ปฏิกริยาแทนที่และปฏิกริยาการเติมบนคาร์บอนิลคาร์บอน

- 4.1 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกริยาแทนที่บนคาร์บอนิลคาร์บอน
- 4.2 การใช้ประโยชน์ของปฏิกริยาแทนที่บนคาร์บอนิลคาร์บอนในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน
- 4.3 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกริยาเติมบนคาร์บอนิลคาร์บอน
- 4.4 การทดลองประจำบท
 - ปฏิบัติการที่ 4.1 การสังเคราะห์ไดเบนซาลแอซิโตน
 - ปฏิบัติการที่ 4.2 การผลิทยาหม่อง
 - ปฏิบัติการที่ 4.3 การผลิตสบู่
- 4.5 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อได้ศึกษาบทเรียนนี้แล้ว นักศึกษาสามารถ

1. สังเคราะห์สารโดยใช้ปฏิกริยาแทนที่และการเติมบนคาร์บอนิลคาร์บอน
2. ใช้อุปกรณ์สำหรับการสังเคราะห์หรือผลิตได้อย่างถูกต้อง
3. เลือกเทคนิคในการพิสูจน์เอกลักษณ์สารอินทรีย์ที่สังเคราะห์ได้ถูกต้อง

กิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. การทดลองจะแบ่งเป็น 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง สำหรับการจัดการเรียนสอนในสัปดาห์ที่ 8 จะใช้การทดลองตามปฏิบัติการที่ 4.1 เรื่องการสังเคราะห์ไดเบนซาลแอซิโตน ส่วนสัปดาห์ที่ 9-11 ใช้การทดลองตามปฏิบัติการที่ 4.2 เรื่องการผลิทยาหม่อง และสัปดาห์ที่ 12-13 ใช้การทดลองตามปฏิบัติการที่ 4.3 เรื่องการผลิตสบู่
2. มอบหมายให้นักศึกษาอ่านเอกสารประกอบการสอน ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 ส่วนหน้าในบทที่ 4 ก่อนเข้าเรียนในสัปดาห์ที่ 8-13 และจัดเตรียมแผนการทดลอง โดย ให้เขียนแผนการทดลองจากปฏิบัติการที่ 4.1 ถึง 4.3 ส่งในสัปดาห์ที่ 8 9 และ 12 ตามลำดับ
3. จัดให้มีการทดสอบก่อนเรียนเป็นระยะเวลา 10 นาที โดยข้อสอบมีลักษณะเป็นคำถามแบบถูกผิดให้นักศึกษาตัดสินใจเลือก

4. ผู้สอนอธิบายหลักการและทฤษฎี วัตถุประสงค์การทดลอง วิธีการทดลอง ตลอดจนหลักการที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

5. มอบหมายให้ผู้เรียนทำปฏิบัติการเป็นกลุ่มตามปฏิบัติการที่ 4.1-4.3 โดยที่มีผู้สอนคอยให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิด สำหรับปฏิบัติการที่ 4.3 การผลิตสบู่ ให้ผู้เรียนออกแบบ และประดิษฐ์บรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุสบู่และนำมานำเสนอหน้าชั้นเรียนในสัปดาห์ที่ 13

6. อภิปรายผลการทดลองร่วมกันในชั้นเรียนโดยผู้สอนตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นความคิดให้นักศึกษาตอบคำถามเป็นรายบุคคล

7. ผู้สอนสรุปเนื้อหาเพิ่มเติม

8. มอบหมายให้นักศึกษาเขียนรายงานผลการทดลองส่งเป็นการบ้านในสัปดาห์ถัดไปโดยให้จัดทำรายงานเป็นรายบุคคล

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 บทที่ 4
2. เครื่องแก้วและอุปกรณ์ทางเคมี

การวัดผลและการประเมินผล

1. จากการอภิปรายเนื้อหา และตอบคำถามในชั้นเรียน
2. จากรายงานผลทดลอง
3. จากผลการทดสอบก่อนเรียน
4. จากผลการทดสอบปลายภาคการศึกษา
5. จากการสังเกตพฤติกรรมนักศึกษา
6. จากผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ และบรรจุภัณฑ์
7. จากการนำเสนอผลิตภัณฑ์หน้าชั้นเรียน

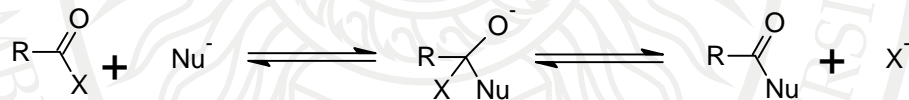
บทที่ 4

ปฏิกิริยาแทนที่และปฏิกิริยาการเติมบนคาร์บอนิลคาร์บอน

คาร์บอนิลคาร์บอน หมายถึงคาร์บอนที่สร้างพันธะคู่กับออกซิเจน ($C=O$) ซึ่งคาร์บอนนี้ จะมีความเป็นบวกหรือความเป็นอิเล็กโตรไฟล์ที่ค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากการดึงอิเล็กตรอนของธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงอย่างออกซิเจน สำหรับการเกิดปฏิกิริยาบนคาร์บอนิลคาร์บอนจะเป็นแบบแทนที่หรือแบบเติมนั้นขึ้นกับหมู่ที่เกาะบนคาร์บอนิลคาร์บอนนั้น ๆ ซึ่งหากหมู่ที่เกาะคาร์บอนิลคาร์บอนเป็นหมู่หลุดออกที่ดีเช่น สารประกอบกรดคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์ จะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแทนที่ แต่หากเป็นสารประเภทแอลดีไฮด์และคีโตนซึ่งหมู่ที่เกาะเป็นไฮโดรเจนและหมู่แอลคิลซึ่งเป็นหมู่หลุดออกที่ไม่ดี จะเกิดปฏิกิริยาการเติม โดยรายละเอียดของสมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาการแทนที่และการเติมบนคาร์บอนมีดังต่อไปนี้

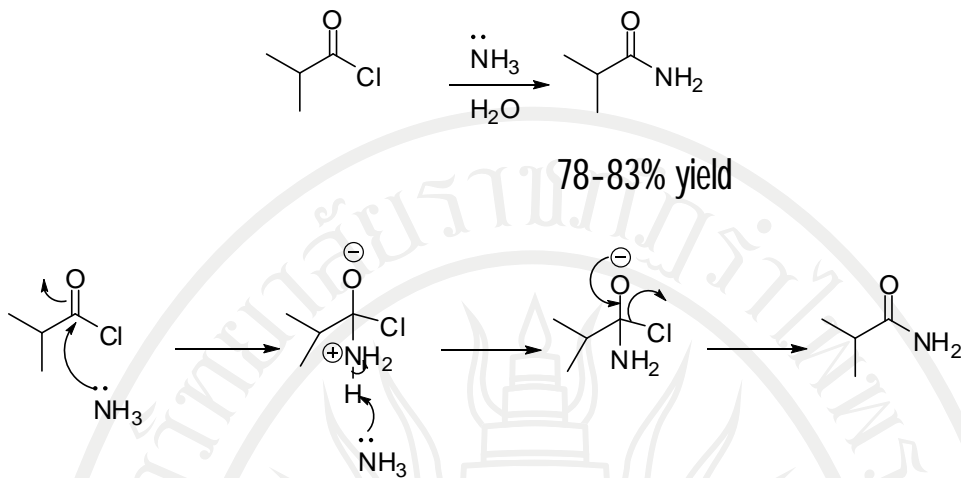
4.1 สมการทั่วไปของปฏิกิริยาแทนที่บนคาร์บอนิลคาร์บอน

ปฏิกิริยาแทนที่บนคาร์บอนิลคาร์บอนเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ปฏิกิริยาอะซิลเลชัน (Acylation) เป็นปฏิกิริยาที่มีสองขั้นตอน โดยเกิดผ่านกลไกแบบการเติม-การขจัด ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาแทนที่บนคาร์บอนิลคาร์บอน

โดยในขั้นแรกมีการเติมนิวคลีโอไฟล์เข้าไปก่อน และหลังจากนั้นเกิดการกำจัดหมู่หลุดออก ปฏิกิริยาแบบนี้มักจะเกิดกับสารประกอบในกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์ โดยหมู่คาร์บอนิลของคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์เดิมที่คาร์บอนจะมีไฮบริดเซชันแบบ sp^2 แต่เมื่อเกิดการเติมด้วยนิวคลีโอไฟล์แล้วจะทำให้เกิดสารมัธยันต์แบบเตตระฮีดรัล (Tetrahedral intermediate) ซึ่งคาร์บอนจะเปลี่ยนไฮบริดเซชันไปเป็น sp^3 สารมัธยันต์ที่เกิดขึ้นนี้ไม่ค่อยเสถียรเนื่องจากมีหมู่หลุดออก (Leaving group) ที่ดี จึงเกิดปฏิกิริยากำจัดออกตามมาทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่คาร์บอนเป็น sp^2 กลับคืนมา ซึ่งผลลัพธ์รวมของปฏิกิริยาจึงเป็นเหมือนการแทนที่หมู่หลุดออกของอนุพันธ์กรดคาร์บอกซิลิกชนิดหนึ่งด้วยนิวคลีโอไฟล์แล้วได้เป็นอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิกอีกชนิดหนึ่ง ตัวอย่างเช่น สารประกอบเอซิลคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบเอไมด์ดังสมการ



กลไกการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นจากการเข้าเติมของแอมโมเนียที่คาร์บอนิลคาร์บอนของเอซิลคลอไรด์เกิดเป็นสารมัธยันต์เตตระฮีดรัลที่มีหมู่หลุดออกทั้งสามหมู่ได้แก่ หมู่แอลคิล (R^-) คลอไรด์ (Cl^-) และเอไมด์ (NH_2^-) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า pK_{aH} ของหมู่หลุดออกทั้งสามชนิดตามภาพที่ 4.2 พบว่า คลอไรด์มีค่า pK_{aH} ต่ำกว่าแอลคิล และเอไมด์ แสดงว่าคลอไรด์มีความสามารถในการเป็นหมู่หลุดออกดีที่สุด ดังนั้นในขั้นสุดท้ายสารมัธยันต์เตตระฮีดรัลจึงกำจัดคลอไรด์ซึ่งเป็นหมู่หลุดออกที่ดีที่สุดออกไปจนได้เป็นผลิตภัณฑ์เป็นเอไมด์ในที่สุด

หมู่หลุดออก	pK_{aH}
R^-	50
NH_2^-	35
RO^-	16
RCO_2^-	5
Cl^-	-7

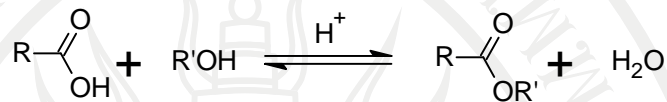
↓
 ความสามารถ
 ในการเป็นหมู่
 หลุดออกดีขึ้น
 จากบนลงล่าง

ภาพที่ 4.2 ค่า pK_{aH} และความสามารถในการเป็นหมู่หลุดออก
 ที่มา : (Clayden, J. and other, 2005: 283)

4.2 การใช้ประโยชน์ของปฏิกิริยาแทนที่บนคาร์บอนิลคาร์บอนในการ

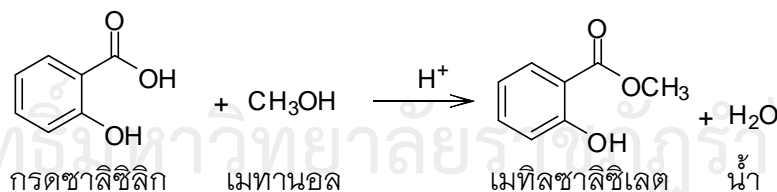
สังเคราะห์สารอินทรีย์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน

ปฏิกิริยาแทนที่บนคาร์บอนิลคาร์บอนที่นำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) ของกรดคาร์บอกซิลิกได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และน้ำ โดยมีแอลกอฮอล์ทำหน้าที่เป็นนิวคลีโอไฟล์ และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังภาพที่ 4.3

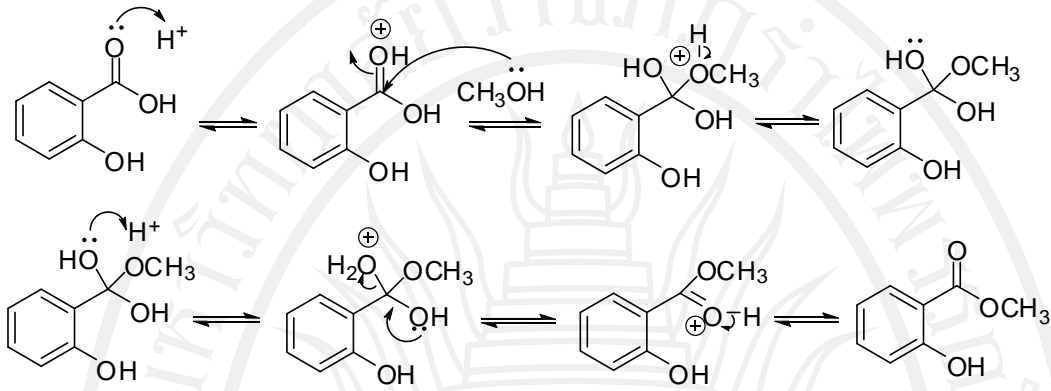


ภาพที่ 4.3 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดคาร์บอกซิลิก

เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ จึงมีทั้งผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นเหลืออยู่ที่ภาวะสมดุล ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาผันกลับนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้มีร้อยละผลผลิตน้อย ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปฏิกิริยาให้ดำเนินไปข้างหน้าเพื่อให้เกิดเอสเทอร์ในปริมาณสูงซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้แอลกอฮอล์ หรือคาร์บอกซิลิกปริมาณมากเกินไป หรือดึงน้ำออกจากปฏิกิริยาด้วยการใช้สารที่ช่วยดึงน้ำ (Dehydrating agent) เช่น กรดซัลฟิวริกเข้มข้น หรือซิลิกาเจล ข้อดีของการใช้กรดซัลฟิวริกนอกจากจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวเร่งและสามารถกำจัดน้ำได้ไปพร้อมกัน ตัวอย่างปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เช่น การสังเคราะห์สารประกอบเมทิลซาลิไซเลต (Methylsalicylate) หรือน้ำมันระกำซึ่งเป็นสารที่มีกลิ่นฉุนเมื่อถูกผิวหนังจะรู้สึกแสบร้อน ใช้เป็นองค์ประกอบสำคัญในยานวดคลายกล้ามเนื้อ รวมไปถึงเป็นส่วนประกอบสำคัญในยาหม่อง การเตรียมเมทิลซาลิไซเลตสามารถทำได้ทั้งการสกัดจากพืชในธรรมชาติ เรียกว่า Wintergreen และเรียกน้ำมันที่สกัดได้ว่า Wintergreen oil (Gatta, F. L., 2007: 1) อีกวิธีหนึ่งคือการสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยการนำสารตั้งต้นกรดซาลิซิลิก (Salicylic acid) ทำปฏิกิริยากับเมทานอล (Methanol) โดยมีกรดเป็นตัวเร่งควบคู่ไปกับการทำรีฟลักซ์ (Reflux) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตน้ำมันระกำ โดยเทคนิคการรีฟลักซ์ คือการทำให้ของเหลวระเหยกลายเป็นไอและควบแน่นเป็นของเหลวกลับลงมาในภาชนะเดิมอีกครั้ง ซึ่งจะช่วยให้สารตั้งต้นทำปฏิกิริยากันได้ดีมากยิ่งขึ้น

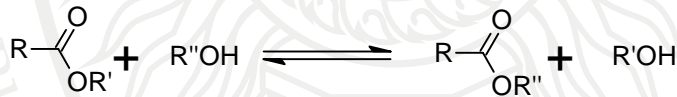


กลไกการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมทิลซาลิซิลेटเป็นดังภาพที่ 4.4 โดยกรดซัลฟูริกทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้คาร์บอนิลคาร์บอนของคาร์บอกซิลิกมีความเป็นอิเล็กโตรไฟล์ที่สูงขึ้นซึ่งจะเหนี่ยวนำให้นิวคลีโอไฟล์อย่างเมทานอลเข้าทำปฏิกิริยาได้ดียิ่งขึ้น



ภาพที่ 4.4 กลไกปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมทิลซาลิซิลेट

อีกตัวอย่างหนึ่งของปฏิกิริยาแทนที่บนคาร์บอนิลคาร์บอนเช่นปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิส (Alcoholysis) หรือทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) เป็นปฏิกิริยาที่เอสเทอร์ชนิดหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นเอสเทอร์อีกชนิดหนึ่งโดยมีแอลกอฮอล์เป็นนิวคลีโอไฟล์ โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการ



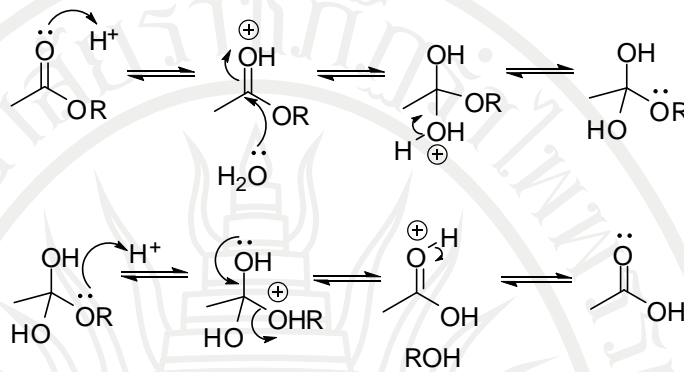
ถ้าใช้สารตั้งต้นเป็นไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นเอสเทอร์จากธรรมชาติ ดังสมการในภาพที่ 4.5 ทำปฏิกิริยา ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีเมทานอลเป็นนิวคลีโอไฟล์จะทำให้ได้กลีเซอรอลและเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งเอสเทอร์ของกรดไขมันนี้คือไบโอดีเซลที่เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันดีเซลในปัจจุบัน



ไตรกลีเซอไรด์ เมทานอล กลีเซอรอล เอสเทอร์ของกรดไขมัน

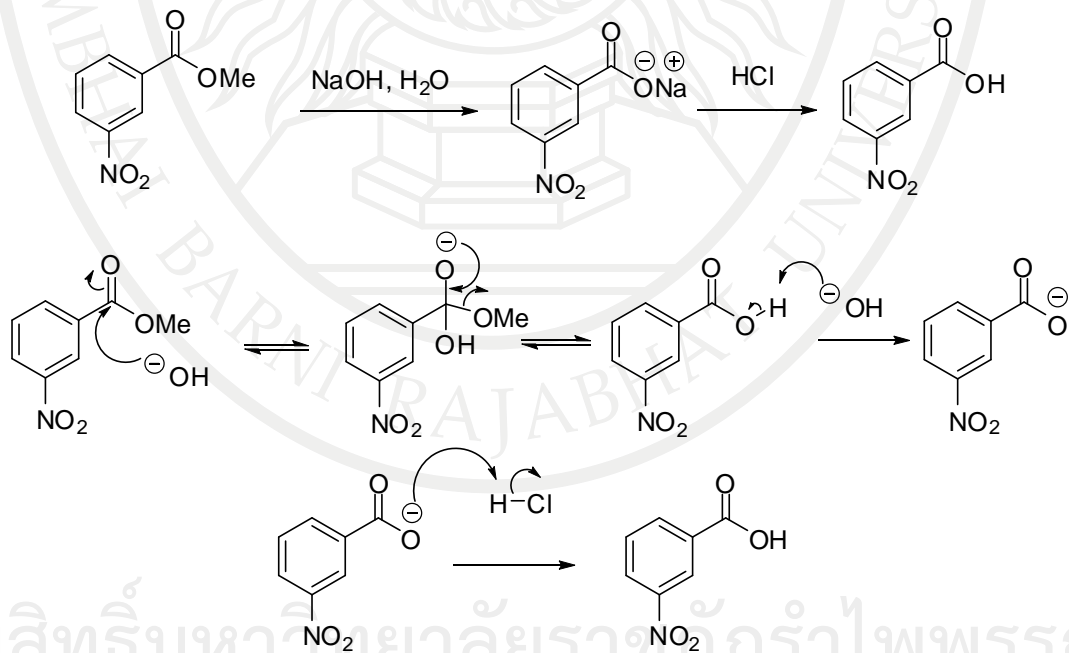
ภาพที่ 4.5 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไบโอดีเซล
ที่มา: (ศุภวรรณ ดันตยานนท์ และคณะ, 2547: 143)

ปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันคือปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างเอสเทอร์กับน้ำทำให้เอสเทอร์เปลี่ยนกลับมาเป็นสารตั้งต้นคาร์บอกซิลิกและแอลกอฮอล์ดั้งเดิม กลไกแสดงดังภาพที่ 4.6



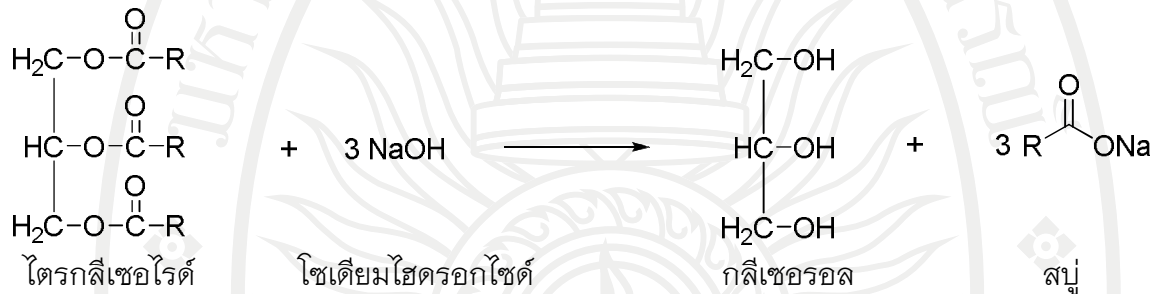
ภาพที่ 4.6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์

ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสข้างต้นใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ แต่ถ้าใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าปฏิกิริยาจะเป็นแบบไม่ผันกลับและจะได้คาร์บอกซิเลตเป็นผลิตภัณฑ์แต่สามารถทำให้เป็นคาร์บอกซิลิกได้ด้วยการทำปฏิกิริยากับกรด ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ กรด 3-ไนโตรเบนโซอิก (3-Nitrobenzoic acid) โดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส



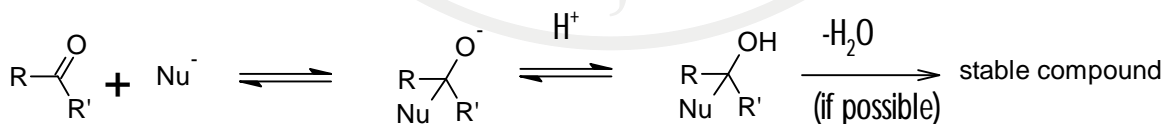
ภาพที่ 4.7 กลไกปฏิกิริยาการสังเคราะห์ 3-ไนโตรเบนโซอิก

กลไกการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นจากไฮดรอกไซด์ไอออนซึ่งเป็นนิวคลีโอไฟล์ที่ดีเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอนิลคาร์บอนของเมทิลเอสเทอร์เกิดเป็นสารมัธยันต์เตตระฮีดรอลจากนั้นเกิดการกำจัดหมู่เมทอกซิลออกได้เป็นคาร์บอกซิลิกแต่ในสถานะที่เป็นเบสคาร์บอกซิลิกที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาต่อกับเบสทันทีกลายเป็นคาร์บอกซิเลตแอนไอออน ซึ่งต้องทำให้สารละลายอยู่ในสถานะที่เป็นกรดโดยการเติมกรดไฮโดรคลอริกเพื่อเปลี่ยนคาร์บอกซิเลตให้กลายเป็นคาร์บอกซิลิกอีกครั้ง ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสในสถานะที่เป็นเบสนี้หากเอสเทอร์เป็นสารจำพวกไตรกลีเซอไรด์หรือน้ำมันจะทำให้เกิดเกลือของกรดไขมันซึ่งก็คือสบู่ ปฏิกิริยานี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่า สaponification (Saponification) ดังสมการ



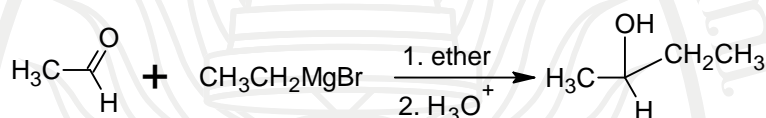
4.3 สมการทั่วไปและกลไกการเกิดปฏิกิริยาการเติมบนคาร์บอนิลคาร์บอน

หมู่คาร์บอนิลของแอลดีไฮด์และคีโตนสามารถเกิดปฏิกิริยาการเติมแบบนิวคลีโอฟิลิก (Nucleophilic addition) ได้ง่ายเนื่องจากอิทธิพลของออกซิเจนอะตอมที่มีความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนสูงต่ออยู่ทำให้พันธะ C=O มีสภาพขั้วสูง ส่งผลให้ตำแหน่งของคาร์บอนจะมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนน้อยกว่าปกติจึงเป็นอิเล็กโตรไฟล์ที่ดี และหากในปฏิกิริยาจะการเติมกรดจะช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้ดียิ่งขึ้น ผลของการเติมนิวคลีโอไฟล์ที่คาร์บอนิลจะทำให้คาร์บอนเปลี่ยนไฮบริดเซชันจาก sp^2 เป็น sp^3 ดังนั้นคาร์บอนจึงเปลี่ยนรูปร่างจากสามเหลี่ยมแบนราบ (Trigonal planar) ไปเป็นเตตระฮีดรัล (Tetrahedral) ส่วนออกซิเจนอะตอมจะรับประจุลบไป ซึ่งเมื่อรับโปรตอนต่อก็จะได้สารประกอบแอลฟาไฮดรอกซีที่เรียกว่าเตตระฮีดรัลอินเทอร์มีเดียต (Tetrahedral intermediate) เกิดขึ้นดังภาพที่ 4.8

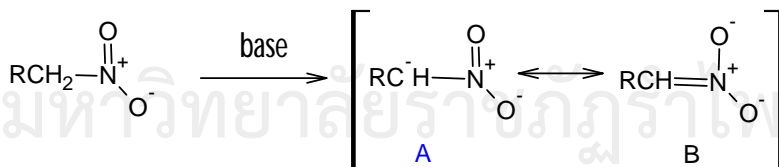
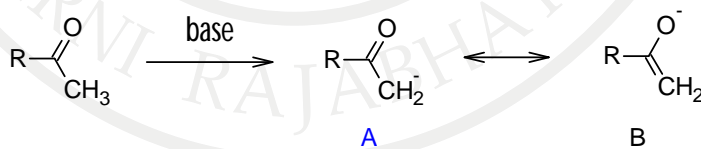


ภาพที่ 4.8 กลไกทั่วไปของการเกิดปฏิกิริยาการเติมแบบนิวคลีโอฟิลิกที่คาร์บอนิลคาร์บอน

เนื่องจากหมู่ R หรือ H ในสารประกอบคาร์บอนิลเหล่านี้เป็นหมู่หลุดออกที่ไม่ดี ดังนั้นเตตระไฮดรอลอินเทอร์มีเดียตนี้จึงไม่เกิดปฏิกิริยาตั้งเช่นในกรณีอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิก อย่างไรก็ตามเมื่อนิวคลีโอไฟล์นั้นมีไฮโดรเจนที่ค่อนข้างจะเป็นกรดต่ออยู่ด้วย เตตระไฮดรอลอินเทอร์มีเดียตที่เกิดขึ้นในตอนแรกมักจะเกิดปฏิกิริยากำจัดออกได้ผลิตภัณฑ์อื่นซึ่งเสถียรกว่าแทน ปฏิกิริยาการเติมแบบนิวคลีโอฟิลิกที่คาร์บอนิลคาร์บอนโดยที่นิวคลีโอไฟล์เป็นคาร์บอนหรือที่เรียกว่าคาร์เบนไฮออนนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างพันธะระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน (C-C Bond formation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญมากในเคมีอินทรีย์สังเคราะห์ ตัวอย่างของปฏิกิริยาการเติมโดยคาร์เบนไฮออนได้แก่ ปฏิกิริยาการเติมของสารประกอบออร์แกนอเมทัลลิก เข้ากับแอลดีไฮด์เกิดเป็นไพรมารีแอลกอฮอล์ ดังสมการ

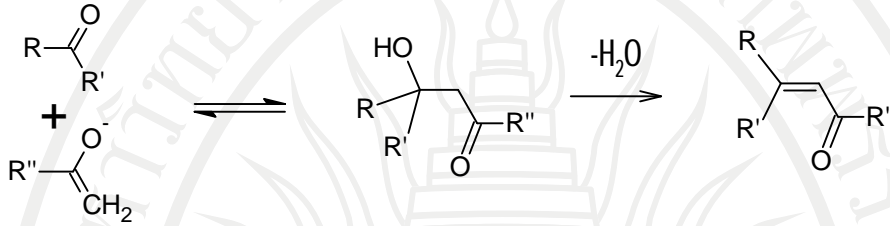


เมื่อคาร์บอนอะตอมต่ออยู่กับหมู่ฟังก์ชันที่มีความสามารถในการทำประจุลบให้เสถียรโดยมากมักจะเป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอนโดยผลของเรโซแนนซ์ ตัวอย่างเช่น หมู่ไซยาไนด์ (-CN), หมู่คาร์บอนิล (-COR), หมู่แอลคอกซีคาร์บอนิล (-CO₂R), หมู่ไนโตร (-NO₂) หรือหมู่ซัลโฟน (-SO₂R) เป็นต้น (ภาพที่ 4.9) สามารถทำให้เกิดคาร์เบนไฮออนที่ตำแหน่งนี้ได้ง่ายเป็นพิเศษและคาร์เบนไฮออนประเภทนี้จะมีชื่อเรียกเฉพาะว่าอีโนเลตแอนไอออน (Enolate anion) ทั้งนี้ความเสถียรของอีโนเลตแอนไอออนนั้นเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนซึ่งจากการศึกษาพบว่าโครงสร้างของอีโนเลตแอนไอออนมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปแบบ B มากกว่า A ดังภาพที่ 4.9 ดังนั้นสารประกอบที่มีหมู่แทนที่เหล่านี้ต่ออยู่จะมี pK_a ค่อนข้างต่ำ (เป็นกรดมาก) ยิ่งมีหมู่แทนที่ดังกล่าวอยู่มากความเป็นกรดของ C-H ก็ยิ่งเพิ่มขึ้น สารนี้บางที่เรียกว่าสารประกอบแอคทีฟเมทิลีน (Active methylene compound)



ภาพที่ 4.9 การเกิดอีโนเลตแอนไอออนจากเมทิลคีโตนและไนโตรแอลเคน

อีโนเลตแอนไอออนประพุดิตัวเช่นเดียวกับคาร์เบนไอออนอื่น ๆ กล่าวคือมันสามารถเกิดปฏิกิริยาการเติมเข้ากับคาร์บอนในสารประกอบประเภทแอลดีไฮด์หรือคีโตนได้ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารมัธยันต์เตตระฮีดรัล (Tetrahedral intermediate) ซึ่งเป็นสารประกอบเบต้าไฮดรอกซีคาร์บอนิล (β -Hydroxycarbonyl compound) ปฏิกิริยานี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่าปฏิกิริยาแอลดอล (Aldol reaction) ดังสมการ



สารประกอบเบต้าไฮดรอกซีคาร์บอนิลที่เกิดจากปฏิกิริยาแอลดอลมีแนวโน้มที่จะเกิดการกำจัดน้ำออก (Dehydration) ได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งหากการกำจัดน้ำออกนั้นสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์เสถียรขึ้นกว่าเดิม เช่น ทำให้เกิดการคอนจูเกต (Conjugation) ปฏิกิริยากำจัดน้ำออกจะเกิดขึ้นที่ภายใต้ภาวะของการทำปฏิกิริยา โดยมากพันธะคู่ที่เกิดขึ้นจากการกำจัดน้ำออกนี้จะเป็นแบบ *trans*- เนื่องจากมันมีความเสถียรในเชิงเทอร์โมไดนามิกส์มากกว่าแบบ *cis*- ปฏิกิริยาแอลดอลแม้จะมีประโยชน์มากในการสังเคราะห์แต่ปฏิกิริยานี้เกิดภายใต้ภาวะสมดุล ดังนั้นจึงอาจเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับที่เรียกว่าปฏิกิริยารีโทรแอลดอลซึ่งสารประกอบเบต้าไฮดรอกซีคาร์บอนิลจะแตกกลับไปเป็นสารประกอบคาร์บอนิลและอีโนเลตแอนไอออน ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมสภาวะในการเกิดปฏิกิริยาให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตที่ต้องการสูงและสำหรับกรณีที่เกิดปฏิกิริยากำจัดน้ำออกซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถผันกลับได้ร่วมด้วยจะเป็นการรบกวนสมดุลและทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้าได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการโดยมีปริมาณผลผลิตสูง ข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งของปฏิกิริยาแอลดอลคือถ้าให้คีโตนหรือแอลดีไฮด์สองชนิดมาทำปฏิกิริยากันมักจะเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารผสมของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการควบแน่นกันเอง (Self-condensation) ร่วมกับผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการควบแน่นกับโมเลกุลอื่น (Cross-condensation) ยกเว้นในกรณีที่สารประกอบคาร์บอนิลที่ร่วมเข้าทำปฏิกิริยาชนิดใดชนิดหนึ่งไม่มีแอลฟาโปรตอนดังเช่นเทอร์เชียรีอะลิฟาติกแอลดีไฮด์ หรืออะโรมาติกแอลดีไฮด์ จึงจะได้ผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียว ปฏิกิริยาแอลดอลนอกจากจะเกิดกับอีโนเลตแอนไอออนซึ่งเตรียมภายใต้ภาวะที่เป็นเบสแล้วยังสามารถเกิดได้โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย

4.4 การทดลองประจำบท

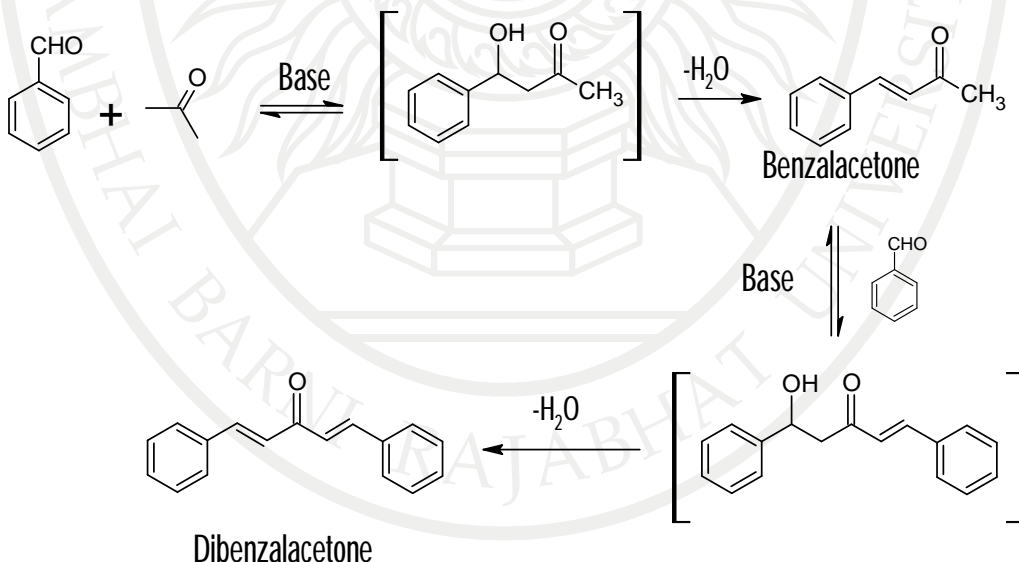
สำหรับการทดลองในบทนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

ปฏิบัติการที่ 4.1 การสังเคราะห์ไดเบนซาลแอซิโตน

ปฏิบัติการที่ 4.2 การผลิตยาหม่อง

ปฏิบัติการที่ 4.3 การผลิตสบู่

การทดลองแรกเป็นตามปฏิบัติการที่ 4.1 เป็นการสังเคราะห์ไดเบนซาลแอซิโตน (Svoronos, P., Sarlo, E. & Kulawiec, R. J., 1997: 243) ซึ่งอาศัยปฏิกิริยาแอลดอล ในการสังเคราะห์ตามภาพที่ 4.10 ไดเบนซาลแอซิโตนเป็นสารประกอบจำพวกคีโตนแบบไม่อิ่มตัวที่ตำแหน่งแอลฟาบีตา (α,β -Unsaturated ketone) โดยปฏิกิริยาเคลเซน-ชมิทท์ (Claisen-Schmidt) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเติมของเบนซาลดีไฮด์โดยมีอีโนเลตแอนไอออนของแอซิโตนเป็นนิวคลีโอไฟล์เกิดเป็นสารประกอบเบต้าไฮดรอกซีคาร์บอนิล ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ โดยสารประกอบเบต้าไฮดรอกซีคาร์บอนิลที่เกิดขึ้นในตอนแรกจะเกิดปฏิกิริยากำจัดน้ำออกต่อทันทีที่เกิดเป็นเบนซาลแอซิโตน (Benzalacetone) หรือ ไดเบนซาลแอซิโตน (Dibenzalacetone) ซึ่งเสถียรเนื่องจากเกิดการคอนจูเกตรหว่างวงแหวนเบนซีน พันธะคู่ที่เกิดขึ้นใหม่ และหมู่ของคาร์บอนิล ปฏิกิริยากำจัดน้ำนี้ไม่ผันกลับดังนั้นจึงทำให้ระบบไม่สามารถเข้าสู่สมดุลได้ ปฏิกิริยานี้จึงได้ปริมาณผลผลิตที่สูง



ภาพที่ 4.10 สมการแสดงปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดเบนซาลแอซิโตน

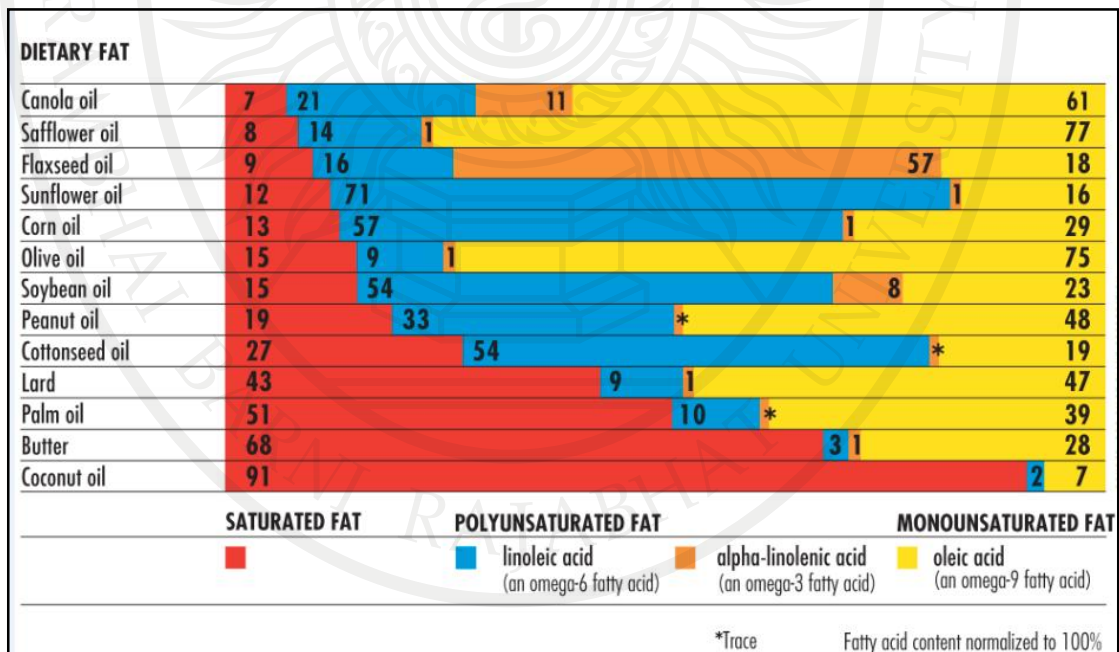
นอกจากนี้การควบคุมอัตราส่วนของตัวทำปฏิกิริยามีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากสารประกอบแอซิโตนมีหมู่เมทิลซึ่งมีไฮโดรเจนที่เป็นกรดทั้งสองฝั่งของหมู่เมทิล ดังนั้นจึงมีโอกาสเกิดได้ทั้งการแทนที่หนึ่งครั้ง (Monosubstituted product, Benzalacetone) และการแทนที่

2 ครั้ง (Disubstituted product, Dibenzalacetone) ภายใต้ภาวะที่มีเบนซาลดีไฮด์มากเกินไป และใช้ตัวทำละลายเป็นเอทานอล เพื่อให้เบนซาลแอซีโตนที่เกิดขึ้นในตอนแรกอยู่ในสารละลายนานพอที่จะเกิดปฏิกิริยาต่อกับเบนซาลดีไฮด์โมเลกุลที่สอง จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไดเบนซาลแอซีโตนซึ่งสามารถแยกออกมาจากปฏิกิริยาได้โดยง่ายและทำให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยการตกผลึก ดังนั้นในการทดลองนี้นักศึกษาจะได้ฝึกฝนเทคนิคทั้งการสังเคราะห์ การทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยการตกผลึก ตลอดจนการพิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นด้วยวิธีที่เหมาะสม

การทดลองที่สองคือการผลิตยาหม่อง นักศึกษาจะได้เรียนรู้ว่าองค์ประกอบของยาหม่อง การสกัดหรือสังเคราะห์สารที่ใช้ในการผลิตยาหม่อง โดยนักศึกษาจะได้สกัดเมนทอลจากใบสะระแหน่ และสังเคราะห์เมทิลซาลิซิลเลตจากกรดซาลิซิลิก (Gatta, F. L., 2007: 1) แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ในการผลิตยาหม่อง ซึ่งยาหม่องเป็นยาสามัญประจำบ้าน ช่วยบรรเทาอาการปวดหัว วิงเวียน หน้ามืด ตาลาย แผลงสัตว์กัดต่อยใช้สุดคม และทาถูได้ ในยาหม่องมีสารเคมีเป็นองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกันซึ่งแต่ละองค์ประกอบจะมีสรรพคุณแตกต่างกันออกไป เช่น วาสลินมีลักษณะเป็นครีมสีขาวได้จากผลิตภัณฑ์ของปิโตรเลียมเป็นส่วนประกอบที่ทำให้ยาหม่องนิ่มพาราฟินมีลักษณะแข็งเป็นก้อนช่วยเพิ่มความแข็งให้กับยาหม่อง เมนทอลมีสรรพคุณช่วยให้เย็นและดับกลิ่นหืน ทำให้น้ำมันไม่เสีย การบูรมีกลิ่นหอมร้อน แก้ปวดท้องแก้แน่น แก้ปวดตามตัว พิมเสนมีกลิ่นหอมใช้สุดคมแก้ลมวิงเวียนอ่อนเพลีย น้ำมันสะระแหน่หรือน้ำมันเปปเปอร์มินท์มีสรรพคุณแก้ปวดเมื่อยแก้อ่อนเพลียเฉื่อยชาช่วยให้กระฉับกระเฉง น้ำมันระกำมีกลิ่นหอมฉุนแก้ปวดเมื่อยเคล็ดขัดยอก

การทดลองสุดท้ายของบทนี้เป็นการผลิต สบู่ เกลือของกรดไขมันที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของไขมันหรือน้ำมันกับเบส โดยอาศัยปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ซึ่งสบู่จะมีลักษณะแข็งหรืออ่อน ฟองมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นคือ ชนิดของน้ำมันที่ใช้ และ ชนิดของเบส หรือ ต่าง (เบสที่ละลายน้ำ) ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับน้ำมันหรือไขมันแล้วได้เป็นสบู่ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิด คือโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซดาไฟ (Sodium hydroxide, NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH) โดยโซดาไฟจะให้สบู่ที่เป็นก้อนแข็งในขณะที่โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ให้สบู่ที่มีลักษณะเหลวซึ่งโซดาไฟที่มีขายในท้องตลาดสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือแบบเกล็ดแบน ชนิดนี้จะมีควมบริสุทธิ์ต่ำใช้สำหรับล้างห้องน้ำ แบบเม็ดโซปลา หรือไข่มุกมีความบริสุทธิ์สูงกว่าแบบเกล็ดแบนนิยมนำมาสบู่ และแบบที่สามเป็นเม็ดครึ่งวงกลมมีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูงมีราคาแพงใช้สำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการเบสเป็น

สารเคมีที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการใช้ ซึ่งผู้ใช้ควรสวมใส่ถุงมือ และแต่งกายให้รัดกุม หากเป็นไปได้ให้ใช้ผ้าปิดจมูกเพื่อป้องกันไอระเหยจากต่างที่อาจเกิดขึ้นขณะละลายต่าง ซึ่งไอดังกล่าวอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ในการละลายต่างควรใช้น้ำเย็น และเมื่อต่างสัมผัสกับผิวหนังควรรีบล้างออกด้วยน้ำสะอาด (อาภาพร บุญมี, สุนิษา สุวรรณเจริญ และธีรพิชญ์ เกษมสุข, 2558: 4) สำหรับชนิดของน้ำมันหรือไขมันที่ใช้ในการผลิตสบู่มีหลายประเภท และมีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ทำให้สบู่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันด้วยชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหรือไขมันแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acid) เช่น กรดลอริก (Lauric acid) กรดไมริสติก (Myristic acid) กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) และกรด สเตียริก (Stearic acid) และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) เช่น กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) กรดโอเลอิก (Oleic acid) กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) โดยน้ำมันชนิดที่องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูงจะทำให้สบู่มีเนื้อที่ค่อนข้างแข็งเนื่องจากกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดที่สูงกว่ากรดไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัว



ภาพที่ 4.11 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันชนิดต่าง ๆ

ที่มา : (Shank, M., 2014)

ตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 4.11 จะเห็นว่า น้ำมันมะพร้าว (Coconut oil) มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 91 ซึ่งสูงกว่าน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (Sunflower oil) ที่มีกรดไขมันอิ่มตัวเพียงร้อยละ 12 ดังนั้นเนื้อสบู่ที่ได้จากการใช้น้ำมันมะพร้าวจะมีลักษณะที่แข็งมากกว่าการใช้ น้ำมันจากเมล็ดทานตะวัน ดังนั้นการเลือกใช้น้ำมันในการผลิตสบู่ จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้น้ำมันมากกว่าหนึ่งชนิดเพื่อให้ได้สบู่ที่มีสมบัติตรงตามต้องการ โดย น้ำมันแต่ละชนิดจะให้เนื้อสบู่ ปริมาณฟองสบู่ สีและกลิ่นของสบู่ที่แตกต่างกันดังนี้

1. น้ำมันมะพร้าว (Coconut oil) มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 91 ประกอบด้วย กรดลอริก (Lauric acid) กรดไมริสติก (Myristic acid) กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) และกรด สเตียริก (Stearic acid) เมื่อทำปฏิกิริยากับด่างจะให้สบู่มีเนื้อแข็ง แดงง่าย เหม็นหืนง่าย เก็บไว้ได้ไม่นาน และสบู่ที่ได้จะทำให้ผิวแห้ง แต่มีฟองมาก

2. น้ำมันปาล์ม (Palm oil) มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 51 ประกอบด้วย กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) และกรดสเตียริก (Stearic acid) เมื่อทำ ปฏิกิริยากับด่างจะทำให้เนื้อสบู่ค่อนข้างแข็ง สีขาวอมเหลือง ฟองน้อยแต่ฟองอยู่ทนนาน มีคุณสมบัติคล้ายการใช้ไขมันวัว สบู่ที่ได้มีคุณสมบัติชำระล้างได้ดีแต่ทำให้ผิวแห้ง

3. น้ำมันมะกอก (Olive oil) มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 85 ประกอบด้วย กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) และกรดโอเลอิก (Oleic acid) ด้วย องค์ประกอบเหล่านี้ ทำให้สบู่ที่ได้เก็บได้นาน ไม่เหม็นหืนง่าย แต่สบู่ที่ทำจากน้ำมันมะกอก ค่อนข้างแข็งตัวได้ช้ามีสีออกเหลือง แต่จะให้ฟองที่นุ่มนวลเป็นครีม ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับ ผิวหนัง แต่ น้ำมันมะกอกมีราคาแพงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

4. น้ำมันรำข้าว (Bran rice oil) มีกรดไขมัน ไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ ร้อยละ 60-70 ประกอบด้วย กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) และกรดโอเลอิก (Oleic acid) ด้วย องค์ประกอบเหล่านี้ทำให้สบู่ที่ได้เก็บไว้ได้นาน ไม่เหม็นหืนง่าย อีกทั้งน้ำมันรำข้าวยังเป็นแหล่ง ของวิตามินอีจึงช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้ผิวหนัง แต่การใช้น้ำมันรำข้าวจะทำให้เนื้อสบู่ค่อนข้าง ร่วน และอาจทำให้สบู่แข็งตัวช้า

5. น้ำมันงา (Sesame oil) มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 60-70 ประกอบด้วยกรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) และกรดโอเลอิก (Oleic acid) ด้วย องค์ประกอบเหล่านี้ทำให้สบู่ที่ได้ไม่เหม็นหืนง่าย ทำให้สบู่แข็งตัวได้ช้า เป็นแหล่งของวิตามินอี จึงช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้ผิวหนัง แต่น้ำมันงามีกลิ่นเฉพาะตัวและมีราคาค่อนข้างแพง

6. น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean oil) มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 60-70 ประกอบด้วย กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) และกรดโอเลอิก (Oleic acid) ด้วยองค์ประกอบเหล่านี้ทำให้สบู่ที่ได้ไม่เหม็นหืนง่าย น้ำมันถั่วเหลืองยังเป็นแหล่งของวิตามินอี จึงช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้ผิวหนัง แต่สบู่ที่ทำจากน้ำมันถั่วเหลืองมักทำให้สบู่มีรูพรุน

7. น้ำมันเมล็ดทานตะวัน (Sunflower oil) เป็นน้ำมันที่มีส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูงคือ ประมาณร้อยละ 70-80 ประกอบด้วย กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) ซึ่งสูงถึงร้อยละ 70 และที่เหลือเป็นกรดโอเลอิก (Oleic acid) ด้วยองค์ประกอบเหล่านี้ ทำให้สบู่ที่ได้ไม่เหม็นหืนง่าย แต่อาจทำให้สบู่แข็งตัวได้ช้า น้ำมันเมล็ดทานตะวันเป็นแหล่งของวิตามินอี จึงช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้ผิวหนัง ให้ฟองน้อยแต่นุ่มนวล

8. น้ำมันละหุ่ง ช่วยทำให้สบู่มีฟองขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้สบู่เป็นเนื้อเดียวกันดี สบู่ไม่แตก ทำให้สบู่มีความนุ่มเนียน และช่วยให้ผิวชุ่ม

9. ไขมันวัว จะได้สบู่ที่มีเนื้อแข็งสีขาวอายุการใช้งานนานมีฟองน้อย ทนนาน แต่นุ่มนวล

10. ไขมันหมู จะได้สบู่ที่มีเนื้อแข็ง อายุการใช้งานนาน ฟองน้อย แต่ทนนาน

11. ไขมันไก่ จะได้สบู่เนื้อแข็ง อายุการใช้งานนาน ฟองน้อย แต่ทนนาน

12. ไขมันแพะ ได้สบู่เนื้อนุ่ม ได้ความชุ่มชื้นแก่ผิว ผิวชุ่มชื้น

น้ำมันที่ใช้อาจแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. น้ำมันหลักใช้ประมาณร้อยละ 50-70 เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว

2. น้ำมันรองใช้ประมาณร้อยละ 30-50 เช่น น้ำมันมะกอก น้ำมันงา น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด

3. น้ำมันเสริมใช้ประมาณไม่เกินร้อยละ 10 เช่น น้ำมันละหุ่งจุมูกข้าวสาลี

ในการทำสบู่ขึ้นสิ่งสำคัญนอกจากการเลือกชนิดของน้ำมันและชนิดของเบสแล้ว การคำนวณปริมาณเบสและน้ำมันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาก็มีความสำคัญไม่แพ้กัน ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เบสที่มากเกินไปจะทำให้มีเบสเหลืออยู่มากและเป็นอันตรายต่อผิวหนัง แต่ถ้าใช้เบสน้อยเกินไปการเกิดสบู่ก็จะไม่สมบูรณ์และมีน้ำมันเหลืออยู่มากทำให้คุณสมบัติในการชำระล้างลดลง ซึ่งสบู่โดยทั่วไปควรมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 9-10 ดังนั้นการผลิตสบู่จึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่าการเกิดสบู่หรือตัวคูณเพื่อหาน้ำหนักเบสที่ต้องใช้ของน้ำมันแต่ละชนิด

ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 4.1 และนอกจากนี้น้ำหนักของน้ำที่ใช้ละลายเบสสามารถหาได้จากน้ำหนักของน้ำมันคูณ 0.38 และหากใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์แทนโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ใช้น้ำหนักโซเดียมไฮดรอกไซด์คูณ 4

ตารางที่ 4.1 การคำนวณปริมาณเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับใช้ในการผลิตสบู่

ชนิดของน้ำมัน	ตัวคูณเพื่อหาน้ำหนักเบส NaOH		
	ทำปฏิกิริยาสมบูรณ์	เหลือน้ำมัน 5 %	เหลือน้ำมัน 8%
น้ำมันรำข้าว	0.134	0.127	0.123
น้ำมันมะพร้าว	0.184	0.175	0.169
น้ำมันข้าวโพด	0.136	0.129	0.125
น้ำมันปาล์ม	0.142	0.135	0.131
น้ำมันถั่วเหลือง	0.136	0.129	0.125
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	0.137	0.130	0.126
น้ำมันมะกอก	0.136	0.129	0.125

ที่มา : (อาภาพร บุญมี, สุนิษา สุวรรณเจริญ และธีรพิชญ์ เกษมสุข, 2558: 8)

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการเตรียมสบู่โดยใช้น้ำมันมะพร้าว 500 กรัม น้ำมันมะกอก 200 กรัม และน้ำมันถั่วเหลือง 300 กรัม โดยให้ทำปฏิกิริยาพอดีไม่มีน้ำมันเหลือจะมีวิธีการคำนวณเบส โซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังนี้

$$\text{น้ำมันมะพร้าว } 500 \text{ กรัม น้ำหนักเบส} = 500 \times 0.184 = 92 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำมันมะกอก } 200 \text{ กรัม น้ำหนักเบส} = 200 \times 0.136 = 27.2 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำมันถั่วเหลือง } 300 \text{ กรัม น้ำหนักเบส} = 300 \times 0.136 = 40.8 \text{ กรัม}$$

$$\text{รวมน้ำหนักเบส NaOH ที่ต้องใช้} = 92 + 27.2 + 40.8 = 160 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักน้ำเท่ากับ น้ำหนักน้ำมันรวม คือ } 1000 \text{ กรัม} \times 0.38 = 380 \text{ กรัม}$$

รายละเอียดของสารเคมี อุปกรณ์ วิธีการทดลองของแต่ละปฏิบัติการทดลองแสดงได้ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ปฏิบัติการที่ 4.1 การสังเคราะห์ไคเบนซาลแอซิโตน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์ไคเบนซาลแอซิโตนผ่านปฏิกิริยาเคิลเซ็น-ซมิคท์
2. เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีการทดสอบเบื้องต้น

สารเคมี

1. เบนซาลดีไฮด์
2. แอซิโตน
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์
4. เอทานอล
5. น้ำแข็ง
6. น้ำมันพาราฟิน
7. ไอโอดีน
8. ไดคลอโรมีเทน

อุปกรณ์

1. ขวดรูปกรวย
2. ปิเปต
3. หลอดหยด
4. ปีกเกอร์
5. กระจกกรองเครื่องกรองสุญญากาศ
6. เตาให้ความร้อน
7. หลอดตะปิลารีแห้งแก้วคน
8. ช้อนตักสาร
9. ถุงพลาสติก
10. อ่างน้ำแข็ง
11. แผ่น TLC
12. กระจกกรอง
13. กระจกนํ้าพิกา

วิธีทดลอง

1. เติมนเบนซาลดีไฮด์ 0.9 กรัม ลงในขวดรูปกรวย
2. เติมนแอสิตอนลงในเบนซาลดีไฮด์ 0.3 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต ระวังอย่าใส่แอสิตอนมากเกินไปจนความต้องการ
3. เติมนเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าแล้วแช่ขวดในอ่างน้ำแข็ง
4. ค่อย ๆ หยดสารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 ลงในสารละลายที่แช่เย็นจนครบ 2 มิลลิลิตร คนเป็นเวลา 15 นาที เติมน้ำลงไปอีก 10 มิลลิลิตร อาจเติมน้ำแข็งลงไปด้วยเพื่อให้ตกตะกอนได้ง่ายขึ้น
5. กรองตะกอนที่ได้โดยใช้การกรองสุญญากาศ ล้างตะกอนด้วยน้ำเย็นจนหมดฤทธิ์เบส
6. ตกผลึกผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยตัวทำละลายผสมเอทานอลกับน้ำ
7. ให้ออกแบบวิธีการพิสูจน์ผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่าเป็นไดเบนซาลแอสิตอนไม่ใช่เบนซาลแอสิตอนอย่างน้อยสองวิธี
8. ทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ในข้อ 7

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

สาขาวิชา.....กลุ่ม.....วันที่ทำการทดลอง.....

บันทึกผลการทดลองที่ 4.1

การสังเคราะห์ไโดเบนซาลแอซิโตน

วัตถุประสงค์

.....
.....

ผลการทดลอง

สารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	ทำหน้าที่เป็น	ลักษณะทางกายภาพ
Benzaldehyde		
Acetone		
Ethanol		
Sodium hydroxide		

ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ..... มีสถานะเป็น.....สี.....

ปริมาณ.....กรัม คิดเป็นร้อยละผลผลิตเท่ากับ.....%

แสดงวิธีคำนวณร้อยละของผลผลิต

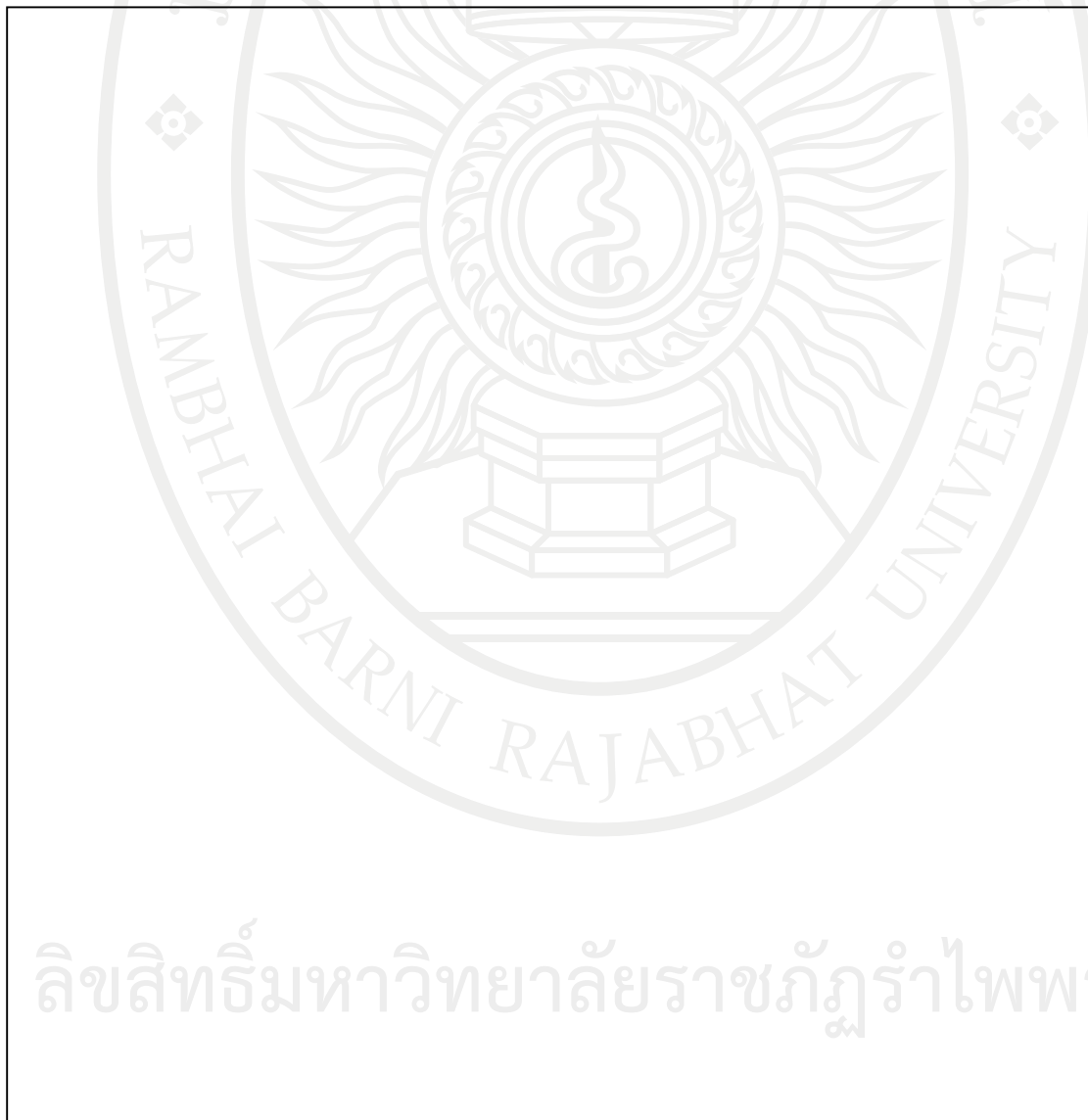
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

.....
.....

สมการแสดงการสังเคราะห์ไโดเบนซาลแอซีโตน



กลไกการเกิดปฏิกิริยา



ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์

วิธีการทดลอง	ผลการทดลองที่สังเกตเห็น	แสดงว่า

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากขั้นตอนการสังเคราะห์ หากใส่แอสซิโตนมากเกินไปจะเกิดอะไรขึ้น

.....

.....

.....

2. เหตุใดต้องล้างตะกอนที่เกิดขึ้นด้วยน้ำจนกว่าจะหมดฤทธิ์เบส

.....

.....

.....

3. ถ้าต้องการให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นเบนซาลแอสซิโตนควรปรับปรุงวิธีการสังเคราะห์อย่างไร

.....

.....

.....

4. เหตุใดต้องใช้ตัวทำละลายผสมเอทานอลกับน้ำในการตกผลึกไดเบนซาลแอสซิโตน

.....

.....

.....

ปฏิบัติการที่ 4.2 การผลิตยาหม่อง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์เมทิลซาลิซิลेटผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน
2. เพื่อสกัดเมทิลซาลิซิลेटจากใบสะระแหน่โดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำและตกผลึก
3. เพื่อให้เข้าใจในกระบวนการผลิตยาหม่อง

ตอนที่ 1 การสังเคราะห์เมทิลซาลิซิลेट

สารเคมี

1. กรดซาลิซิลิก
2. เมทานอล
3. เมทิลซาลิซิลेट
4. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
5. แคลเซียมคลอไรด์ที่ปราศจากน้ำ
6. โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต

อุปกรณ์

1. คอนเดนเซอร์
2. กรวยแยก
3. แคลมป์
4. ขวดก้นกลม
5. ขวดรูปกรวย
6. สายยางสำหรับน้ำเข้าออก
7. ลูกแก้ว
8. เตาให้ความร้อนแบบหลุม

วิธีการทดลอง

1. ใส่กรดซาลิซิลิก 0.05 โมล ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมเมทานอล 30 มิลลิลิตร
2. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ลงไปในขวดก้นกลมแล้วแขวงขวดก้นกลมเบา ๆ อย่างระมัดระวังให้สารผสมกัน

3. เติมลูกแก้วเพื่อลดการเดือดฟุ้งรุนแรงประมาณ 5-10 เม็ด
4. ต่อขวดก้นกลมที่มีสารเข้ากับคอนเดนเซอร์แล้วจัดอุปกรณ์สำหรับการรีฟลักซ์สาร
5. ให้ความร้อนกับสารโดยใช้เตาหลุมให้ความร้อนโดยทำการรีฟลักซ์เป็นเวลา 30 นาที
6. เมื่อครบเวลาการรีฟลักซ์แล้วให้นำขวดก้นกลมที่มีสารมาทำให้เย็นโดยการแขวงขวดก้นกลมที่มีสารผสมในอ่างน้ำแข็ง
7. ขณะเดียวกันให้เตรียมบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร ใส่น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แช่ในอ่างน้ำแข็งไว้จนเย็น
8. เทสารจากขวดก้นกลมลงในบีกเกอร์น้ำกลั่นที่เย็น แล้วนำสารละลายที่ได้ใส่กรวยแยก
9. เติมสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร (5%w/v NaHCO₃) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ลงในกรวยแยก และใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต อีก 10 มิลลิลิตร สำหรับบัลบั๊กเกอร์แล้วเทรวมในกรวยแยก
10. เขย่ากรวยแยก รอให้สารแยกชั้น และแยกชั้นน้ำ (Aqueous layer) ทิ้งไป เก็บเฉพาะชั้นของสารอินทรีย์ (Organic layer)
11. นำชั้นสารอินทรีย์มาล้างด้วยน้ำอีกครั้งด้วยกรวยแยกโดยใช้น้ำ 30 มิลลิลิตร เก็บชั้นสารอินทรีย์ในขวดรูปชมพู่
12. เติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ปราศจากน้ำเพื่อกำจัดน้ำที่อาจหลงเหลืออยู่
13. กรองเก็บเอสเทอร์ วัดปริมาตร และชั่งน้ำหนักเอสเทอร์ที่ได้

ตอนที่ 2 การสกัดเมนทอลจากใบสะระแหน่

สารเคมี

1. ใบสะระแหน่แห้ง
2. น้ำกลั่น
3. เกลีสโซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำ
4. น้ำแข็ง

อุปกรณ์

1. ชุดกลั่นไอน้ำ
2. กระจกกรอง
3. แคลมป์
4. ขวดก้นกลม
5. ขวดรูปกรวย

6. กรวยกรอง
7. กรวยแยก

วิธีการทดลอง

1. ชั่งใบสะระแห่น 200 กรัม ใส่ในขวดก้นกลม จดน้ำหนักอย่างละเอียด
2. เติมน้ำกลั่นในขวดก้นกลมจนท่วมใบสะระแห่น กลั่นแบบไอน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. แยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำโดยใช้กรวยแยก
4. นำน้ำมันหอมระเหยที่ได้มาเติมเกลือโซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำเพื่อดูน้ำที่ค้างอยู่ ออกจากน้ำมันที่สกัดได้
5. กรองธรรมชาติเพื่อแยกเกลือออก เก็บน้ำมันใส่ขวดรูปกรวยแล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำแข็ง จนเกิดผลึกสีขาวของเมนทอล
6. กรองเก็บผลึกเมนทอลและคำนวณร้อยละของผลได้ (เก็บส่วนของน้ำมันหลังตกผลึก และเมนทอล ไว้ใช้ในตอนที่ 3 เรื่องการผลิตยาหม่อง)

ตอนที่ 3 การผลิตยาหม่อง

สารเคมี

1. พาราฟิน
2. วาสลิน
3. เมนทอล
4. การบูร
5. น้ำมันระกำ
6. น้ำมันสะระแห่น

อุปกรณ์

1. โกร่งบดสาร
2. ปีกเกอร์
3. แท่งแก้วคน
4. ช้อนตักสาร
5. เตาให้ความร้อน
6. ขวดแก้วขนาดเล็ก

วิธีการทดลอง

1. ให้นักศึกษาออกแบบสูตรยาหม่องของกลุ่มตนเองและลงมือผลิตยาหม่องตามแนวทางในข้อที่ 2-6

2. บดเมนทอลและการบูรให้ละเอียดทีละชนิดด้วยโกร่ง
3. นำเมนทอล การบูร น้ำมันสะระแหน่และน้ำมันระกำผสมเข้าด้วยกัน
4. ใส่พาราฟินและวาสลีนลงในปีกเกอร์ นำไปตั้งบนเตาให้ความร้อนจนละลายเป็น

ของเหลวแล้วยกลง

5. นำของผสมในข้อ 2 ผสมกับของผสมในข้อ 3 ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน
6. เทของผสมลงในขวดแก้วเล็กจนเกือบเต็ม ตั้ทิ้งไว้ให้เย็น
7. ทดสอบประสิทธิภาพของยาหม่อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

สาขาวิชา.....กลุ่ม.....วันที่ทำการทดลอง.....

บันทึกผลการทดลองที่ 4.2

การผลิตยาหม่อง

ตอนที่ 1 การสังเคราะห์เมทิลซาลิซิลेट

วัตถุประสงค์

.....

ปฏิบัติการการสังเคราะห์

--

กลไกของปฏิกิริยา

<p>ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี</p>
--

สารตั้งต้น

มวลของ Salicylic acid.....กรัม คิดเป็นจำนวนโมลสารเท่ากับ.....โมล

ปริมาตรของ Methanol.....มิลลิลิตร คิดเป็นจำนวนโมลสารเท่ากับ.....โมล

ผลิตภัณฑ์

Methyl salicylate ที่ได้มีสถานะ.....สี.....กลิ่น.....จุดเดือด..... $^{\circ}\text{C}$

ปริมาณสารที่ได้ปริมาตร.....มิลลิลิตร หนัก.....กรัม คิดเป็นจำนวนโมล.....โมล

ร้อยละผลผลิต = $\times 100 =$%

แสดงวิธีการคำนวณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตอนที่ 2 การสกัดเมนทอล

สูตรโครงสร้างของเมนทอล



สูตรโมเลกุลของเมนทอล.....

น้ำหนักโมเลกุลของเมนทอล.....

จุดหลอมเหลวของเมนทอล.....

วิธีที่ใช้ในการสกัด.....

ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด..... ปริมาตร.....

ชื่อวิทยาศาสตร์ของสาระแน.....

แหล่งที่มาของสาระแน.....

น้ำหนักของใบสาระแนแห้งที่ใช้ในการสกัด.....

สีของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้.....

ปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้..... น้ำหนัก.....g

ร้อยละผลได้ของน้ำมันหอมระเหยเทียบกับน้ำหนักสาระแนแห้ง =..... =.....%

สีของผลึกเมนทอล..... กลิ่นของเมนทอล.....

สถานะ..... น้ำหนัก.....g

วิธีการคำนวณร้อยละผลได้ของเมนทอลเทียบกับน้ำหนักสาระแนแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

วิธีการคำนวณร้อยละผลได้ของเมททอลเทียบกับน้ำหนักน้ำมันหอมระเหย

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 3 การผลิตยาหม่อง

ส่วนผสมของยาหม่อง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

กระบวนการผลิตยาหม่อง

.....

.....

.....

.....

.....

ลักษณะของยาหม่องที่ผลิตได้

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. ในการสังเคราะห์เมทิลซาลิซิลเลตจงอธิบายว่าขั้นตอนของการทดลองต่อไปนี้ทำเพื่ออะไร
 - 1.1 เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น
 - 1.2 เติมลูกแก้ว
 - 1.3 การรีฟลักซ์
 - 1.4 แช่วงขวดก้นกลมที่มีสารผสมในอ่างน้ำแข็ง
 - 1.5 เติมสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต
 - 1.6 เติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ปราศจากน้ำ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. ยกตัวอย่างสารเอสเทอร์ที่เป็นกลิ่นสังเคราะห์ พร้อมทั้งเขียนปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอสเทอร์ดังกล่าว มาอย่างน้อย 3 ชนิด

.....

.....

.....

3. องค์ประกอบของยาหม่องมีอะไรบ้าง และแต่ละส่วนประกอบมีประโยชน์หรือความสำคัญอย่างไร

.....

.....

.....

4. ยกตัวอย่างวิธีการอื่นที่ใช้สกัดเมนทอลจากใบสะระแหน่

.....

.....

.....

ปฏิบัติการที่ 4.3

การผลิตสบู่

วัตถุประสงค์

เพื่อให้เข้าใจกระบวนการผลิตสบู่โดยอาศัยปฏิกิริยาสaponification

ตอนที่ 1 การผลิตสบู่ด้วยวิธีการใช้ความร้อน

สารเคมี

1. น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ชนิดต่าง ๆ
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์
3. น้ำกลั่น
4. สบุนไฟ
5. น้ำหอม

อุปกรณ์

1. หม้อสเตนเลส
2. เตาให้ความร้อน
3. เครื่องตีไข่
4. ปีกเกอร์
5. แท่งแก้วคน
6. กระจกตวง
7. ช้อนตักสาร
8. ถูพลาสติก
9. หนัียงหรือเชือกฟาง

วิธีการทดลอง

1. ให้นักศึกษาแต่ละกลุ่มสร้างสูตรสบู่ของตนเองและผลิตสบู่ตามที่ได้ออกแบบไว้
2. การเตรียมน้ำด่าง โดยการชั่งน้ำหนักโซดาไฟ (NaOH) ตามที่คำนวณไว้ แล้วค่อย ๆ เติลงในน้ำ คนให้ละลายผสมกันจะเกิดความร้อนขึ้น ทิ้งให้เย็นลงเหลือประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส

3. การเตรียมน้ำมัน ให้ต้มน้ำในหม้อใบนอกเตรียมไว้ แล้วชั่งน้ำมันต่าง ๆ ที่ต้องใช้ตามสูตรเทรวมกันในหม้อผสมอีกใบ แล้วนำน้ำมันมาอุ่นในหม้อใบนอกที่ต้มเอาไว้ โดยให้น้ำมันมีอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส

4. เทต่างลงไปผสมกับน้ำมันในหม้อที่ละน้อยใช้ไม้พายกวนเบา ๆ จนผสมรวมกัน จากนั้นใช้เครื่องตีไข่ไฟฟ้าแบบมือถือกวนให้เข้ากันจนขึ้น โดยต้องรักษาอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 70-80 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดสบู่อุ่นไปอย่างสมบูรณ์

5. ถ้าไม่ต้องการทำสบู่ใสสามารถเติมสี น้ำมันหอมระเหย หรือสารสกัดลงไปผสมแล้วเทใส่ถาดหรือพิมพ์สบู่ได้เลยแต่ถ้าต้องการทำสบู่ใสยังไม่เติมสีและกลิ่นให้ทำขั้นตอนที่ 6 ต่อไป

การทำสบู่ก้อนใส

6. ปิดฝาหม้อแล้วหุ้มด้วยถุงพลาสติกจากนั้นรัดด้วยเชือกหรือยางแล้วนำไปต้มต่ออีกประมาณ 2-4 ชั่วโมง จะได้สบู่ที่มีลักษณะกึ่งใสคล้ายเจล

7. เติมแอลกอฮอล์ กลีเซอริน และน้ำตาลที่ละลายน้ำ (สัดส่วนของ สบู่: แอลกอฮอล์: กลีเซอริน: น้ำตาล มีค่าเท่ากับ 1 กิโลกรัม: 500 มิลลิลิตร: 250 กรัม: 250 กรัม) แล้วคนเบา ๆ ให้เข้ากันดี ปิดหม้อโดยใช้ถุงพลาสติกแล้วรัดด้วยเชือกหรือยางให้แน่นแล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส ต่ออีกประมาณ 4 ชั่วโมง ขณะที่ต้ม พลาสติกที่หุ้มจะพองโป่งขึ้นเหมือนบอลลูนเนื่องจากไอของแอลกอฮอล์ ไม่ต้องกลัวว่าจะแตกถ้าใช้พลาสติกที่หนาเพียงพอ

8. เติมสี และน้ำมันหอมระเหย แล้วจึงเทลงถาดพิมพ์ ถ้ามีฟองอากาศเกิดขึ้นในสบู่ที่ทำให้ปิดฝาหม้อใช้ผ้าห่มคลุมเพื่อไม่ให้สบู่เย็นลงเร็วเกินไปจะเป็นก้อน ทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง แล้วค่อยเทลงพิมพ์ ทิ้งไว้ให้แข็งอาจใช้เวลา 1-2 วัน

การทำสบู่เจล

9. ในขั้นตอนที่ 6 จะใช้แอลกอฮอล์น้อยกว่าการทำสบู่ก้อน เมื่อต้มเสร็จแล้วเติมน้ำลงไปอีกจำนวนหนึ่งในสัดส่วน 300 กรัม ต่อ สบู่ 1 กิโลกรัม เติมสีและน้ำมันหอมระเหย แล้วทำการคนเบา ๆ หากเกิดฟองให้ปิดฝาและห่มผ้าทิ้งไว้ 1 คืน จะได้สบู่เจลงนำไปบรรจุหลอด

การทำสบู่เหลว

10. ในขั้นตอนที่ 8 เติมน้ำลงไปในส่วน 1500 กรัม ต่อสบู่ 1 กิโลกรัม เติมสีและน้ำมันหอมระเหย คนเบา ๆ ให้ส่วนผสมเข้ากันแล้วบรรจุลงขวด

ตอนที่ 2 การผลิตสบู่ก้อนด้วยวิธีการไม่ใช้ความร้อน

ทำเช่นเดียวกับการทำสบู่แบบใช้ความร้อนแต่ไม่ต้องต้มสบู่ โดยมีรายละเอียดที่ควรทราบเพิ่มเติมดังนี้

1. การเตรียมน้ำด่างเตรียมเช่นเดียวกับกระบวนการแบบร้อนแต่ให้ทิ้งไว้ให้น้ำด่างมีอุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส ก่อนผสมกับน้ำมัน
2. ถ้าน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้เป็นของแข็งให้ละลายบนเตาแล้วทิ้งให้เย็นถึง 90-100 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาใช้ผสมกับน้ำด่าง
3. เทด่างลงในน้ำมันช้า ๆ แล้วตีด้วยเครื่องตีไฟฟ้าจนได้ครีมชั้น
4. ตกแต่งสี กลิ่น และส่วนผสมอื่น ๆ แล้วเทลงพิมพ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

สาขาวิชา.....กลุ่ม.....วันที่ทำการทดลอง.....

บันทึกผลการทดลองที่ 4.3

การผลิตสบู่

วัตถุประสงค์

.....

สูตรของสบู่ที่ใช้ในการเตรียมสบู่ก้อนชนิดนี้

ส่วนผสม	อัตราส่วน (%)	ปริมาณ (กรัม)	ปริมาณเบสที่ใช้สำหรับทำปฏิกิริยากับน้ำมันแต่ละชนิด (กรัม)
1. น้ำมันปาล์ม			
2. น้ำมันถั่วเหลือง			
3. น้ำมันข้าวโพด			
4. น้ำมันเมล็ดทานตะวัน			
5. น้ำมันมะพร้าว			
6. โซดาไฟ (NaOH)	รวมต้องใช้เบสทั้งหมด =		
7. สารสกัดสมุนไพร			
8. น้ำ	รวมต้องใช้น้ำทั้งหมด =		

ลักษณะของสบู่ที่ได้

.....
.....
.....
.....
.....

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. กระบวนการผลิตสบู่นั้นมีแบบใดบ้าง แต่ละแบบมีข้อดีข้อเสีย แตกต่างกันอย่างไรร

.....

.....

.....

.....

2. เหตุใดสบู่ที่ผลิตได้จากกระบวนการแบบเย็นจึงยังไม่สามารถนำมาใช้ได้ทันที

.....

.....

.....

.....

3. การผลิตสบู่เหตุใดต้องคำนวณปริมาณของเบสที่ใช้ให้เหมาะสม

.....

.....

.....

.....

4. น้ำมันแต่ละชนิดมีผลต่อความแข็งของสบู่แตกต่างกันเพราะเหตุใด จงอธิบาย

.....

.....

.....

.....

5. สบู่ที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก. และ มพช. ต้องมีลักษณะอย่างไร

.....

.....

.....

.....

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

.....

.....

4.5 สรุป

สารประกอบคาร์บอนิลเป็นสารมีขั้วที่มีคาร์บอนอะตอมสร้างพันธะคู่กับออกซิเจน สารในกลุ่มนี้ได้แก่ คาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์ ซึ่งมีหมู่หลุดออกที่ดีต่อกับหมู่คาร์บอนิลและสามารถเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์บนคาร์บอนิลคาร์บอนได้ดี ทำให้เมื่อมีการเติมเข้าที่หมู่คาร์บอนิลแล้วมีการหลุดออกของหมู่หลุดออกผลสุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาแทนที่ ซึ่งปฏิกิริยานี้มีประโยชน์ในการนำไปใช้ในการสังเคราะห์สารหลายชนิดที่ใช้ในชีวิตประจำวัน อาทิ สบู่ ไบโอดีเซล เมทิลซาลิซิลเลต เป็นต้น ในขณะที่สารอีกกลุ่มหนึ่งคือ แอลดีไฮด์และคีโตนซึ่งมีหมู่หลุดออกที่ไม่ดีต่อกับหมู่คาร์บอนิลจะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาแทนที่ที่คาร์บอนิลคาร์บอนได้แต่จะเกิดปฏิกิริยาการเติมแทน ซึ่งหากนิวคลีโอไฟล์ที่เข้าเติมเป็นคาร์บอนจะส่งผลทำให้สายของคาร์บอนในผลิตภัณฑ์มีจำนวนเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ชนิดใหม่

แบบฝึกหัดบทที่ 4

1. จงอธิบายคำที่กำหนดให้ต่อไปนี้
 - 1.1 Acylation
 - 1.2 Esterification
 - 1.3 Dehydrating agent
 - 1.4 Wintergreen oil
 - 1.5 Reflux
 - 1.6 Alcoholysis
 - 1.7 Trans-esterification
 - 1.8 Resonance effect
 - 1.9 Self-condensation
2. จงอธิบายการเปลี่ยนแปลงไฮบริดเซชันของคาร์บอนิลคาร์บอนเมื่อเกิดปฏิกิริยาการแทนที่
3. คาร์บอนิลคาร์บอนแบบใดบ้างที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ได้
4. คีโตน มักเกิดปฏิกิริยาการเติมบนคาร์บอนิลคาร์บอนแต่ไม่เกิดปฏิกิริยาการแทนที่
จงอธิบายว่าเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
5. หากจำแนกสารในทางเคมีแล้ว ยาหม่องจัดเป็นสารประเภทใด
6. ไบโอดีเซลคืออะไร มีวิธีการสังเคราะห์อย่างไร
7. สบู่ คืออะไร มีสูตรทั่วไปเป็นอย่างไร จงเขียนสมการการสังเคราะห์สบู่
8. สบู่มีสมบัติในการชำระล้างได้อย่างไรจงอธิบาย
9. หากต้องการเตรียมสบู่จากน้ำมันมะพร้าว 100 กรัม น้ำมันปาล์ม 200 กรัม โดยใช้เบสที่ทำปฏิกิริยาพอดี จงแสดงวิธีการหาปริมาณของเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมสบู่
10. โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมกับการทำสบู่ต้องมีคุณภาพระดับเกรดใด จงอธิบาย

เอกสารอ้างอิง

- ศุภวรรณ ตันตยานนท์ และคณะ. (2547). **ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์บนพื้นฐานของความปลอดภัยทางเคมีและการลดมลพิษ**. กรุงเทพฯ : คิว พรินท์ แมเนจเม้นท์ จำกัด.
- อภาพร บุญมี สุนิษา สุวรรณเจริญ และธีรพิชญ์ เกษมสุข. **เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการแปรรูปสมุนไพรเป็นผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน**. (2558). จันทบุรี : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- Clayden, J. and other. (2005). **Organic chemistry**. New York : Oxford University Press.
- Gatta, F. L. (2007). **Synthesis of oil of Wintergreen**. Cornell center for materials research.
- Svoronos, P., Sarlo, E. & Kulawiec, R. J. (1997). **Organic chemistry laboratory manual**. New York : A Times Mirror Higher Education Group.
- Shank, M. (2014). **How to choose the perfect cooking oil**. (Online). Available: <http://www.myhealthwire.com/news/diet-nutrition/867>. 8 October 2016.

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 5

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 5 ปฏิบัติการการจัดออก

- 5.1 กลไกการเกิดปฏิบัติการจัดแบบ E2
- 5.2 กลไกการเกิดปฏิบัติการจัดแบบ E1
- 5.3 กลไกการเกิดปฏิบัติการจัดแบบ E1cB
- 5.4 การแข่งขันกันระหว่างปฏิบัติการแทนที่และการจัด
- 5.5 การทดลองประจำบท
ปฏิบัติการที่ 5.1 การสังเคราะห์ไซโคลเฮกซีนจากไซโคลเฮกซานอล
- 5.6 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อได้ศึกษาบทเรียนนี้แล้ว นักศึกษาสามารถ

1. สังเคราะห์สารโดยใช้ปฏิบัติการจัด
2. เลือกเทคนิคในการพิสูจน์เอกลักษณ์สารอินทรีย์ที่สังเคราะห์ได้ถูกต้อง

กิจกรรมการเรียนรู้การสอนประจำบท

1. มอบหมายให้นักศึกษาอ่านเอกสารประกอบการสอน ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 ส่วนหน้าในบทที่ 5 ก่อนเข้าเรียนในสัปดาห์ที่ 14 และจัดเตรียมแผนการทดลอง โดยให้เขียนแผนการทดลองจากปฏิบัติการที่ 5.1
2. จัดให้มีการทดสอบก่อนเรียนเป็นระยะเวลา 10 นาที โดยข้อสอบมีลักษณะเป็นคำถามแบบถูกผิดให้นักศึกษาตัดสินใจเลือก
3. ผู้สอนอธิบายหลักการและทฤษฎี วัตถุประสงค์การทดลอง วิธีการทดลอง ตลอดจนหลักการที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง
4. มอบหมายให้ผู้เรียนทำปฏิบัติการเป็นกลุ่มตามปฏิบัติการที่ 5.1 โดยมีผู้สอนคอยให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิด
5. อภิปรายผลการทดลองร่วมกันในชั้นเรียนโดยผู้สอนตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นความคิดให้นักศึกษาตอบคำถามเป็นรายบุคคล
6. ผู้สอนสรุปเนื้อหาเพิ่มเติม

7. มอบหมายให้นักศึกษาเขียนรายงานผลการทดลองส่งเป็นการบ้านในสัปดาห์ถัดไปโดยให้จัดทำรายงานเป็นรายบุคคล

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 บทที่ 5
2. เครื่องแก้วและอุปกรณ์ทางเคมี

การวัดผลและการประเมินผล

1. จากการอภิปรายเนื้อหา และตอบคำถามในชั้นเรียน
2. จากรายงานผลทดลอง
3. จากผลการทดสอบก่อนเรียน
4. จากผลการทดสอบปลายภาคการศึกษา
5. จากการสังเกตพฤติกรรมของนักศึกษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทที่ 5

ปฏิกิริยาการขจัด

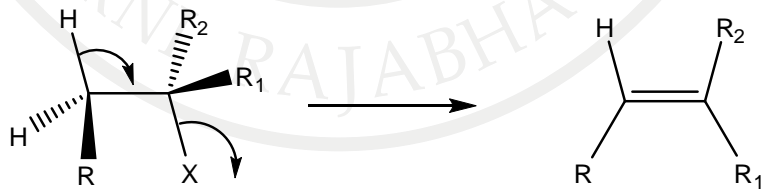
ปฏิกิริยาการขจัดเป็นปฏิกิริยาที่มีการหลุดออกของอะตอมหรือหมู่หลุดออกจากสารตั้งต้นสองอะตอมหรือสองหมู่ ซึ่งหากหมู่หลุดออกอยู่ในตำแหน่งข้างเคียงกันจะทำให้เกิดพันธะคู่หรือพันธะสาม การขจัดในลักษณะนี้เรียกว่า **β -Elimination** หรือ **1,2-Elimination** ดังสมการ



ปฏิกิริยาขจัดออกนี้มีความสำคัญต่อการเตรียมสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวจำพวก แอลคีน และ แอลไคน์ โดยมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาหลายแบบ ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างที่แตกต่างกัน และการเกิดปฏิกิริยาการขจัดนี้จะเกิดแข่งขันกับปฏิกิริยาการแทนที่ ซึ่งทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ดังนั้นการได้เรีนรู้ถึงอิทธิพลที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดปฏิกิริยาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการสังเคราะห์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ออกแบบมีผลผลิตที่สูง โดยรายละเอียดของกลไกการเกิดปฏิกิริยาการขจัด และปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเกิดปฏิกิริยามีดังต่อไปนี้

5.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการขจัดแบบ E2

E2 (Bimolecular elimination reaction) ขึ้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับสารสองโมเลกุล คือสารตั้งต้นและเบส โดยมีกลไกเกิดขึ้นเพียงขั้นตอนเดียว ซึ่งเบสจะเข้าดิงไฮโดรเจนออกจากพันธะ **C-H** พร้อม ๆ กับเกิดการแตกออกของพันธะ **C-X** และการจัดเรียงตัวของไฮโดรเจน และหมู่หลุดออกจะต้องอยู่ด้านตรงกันข้ามในระนาบเดียวกัน (**Antiperiplanar**) ทำให้สเตอริโอเคมีของการขจัดออกแบบ **E2** เป็นแบบ **anti-Elimination** ดังภาพที่ 5.1

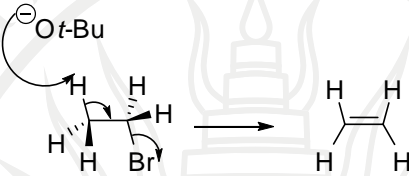


ภาพที่ 5.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการขจัดแบบ E2

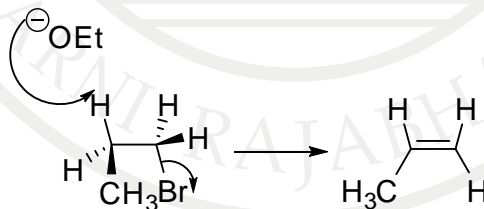
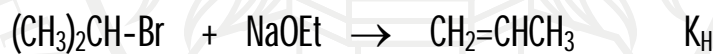
ตัวอย่างเช่น ปฏิกริยาขจัด HBr ออกจากเอทิลโบรไมด์โดยใช้เทอร์เชียรีบิวทอกไซด์เป็นเบสตั้งสมการ



โดยมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ E2 ดังนี้



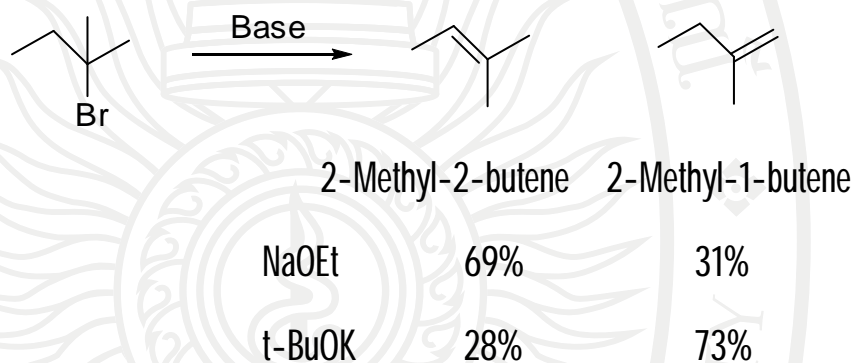
การพิสูจน์ชนิดของกลไกการเกิดปฏิกิริยาว่าเกิดผ่าน E2 จริงหรือไม่นั้น นักเคมีใช้เทคนิคที่เรียกว่า **Kinetic isotope effect** ซึ่งทำโดยการแทนที่ตำแหน่ง β -ไฮโดรเจน ด้วยดิวเทอเรียม (D) ซึ่งอาศัยหลักการที่ว่าพันธะระหว่างคาร์บอนและดิวเทอเรียม (C-D) แตกออกได้ยากกว่าพันธะระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจน (C-H) ดังนั้นค่าคงที่การแตกตัวของดิวเทอเรียม (K_D) ย่อมน้อยกว่าค่าคงที่การแตกตัวของไฮโดรเจน (K_H) ภายใต้สภาวะปฏิกิริยาเช่นเดียวกัน โดยเมื่อเปรียบเทียบค่า K_H/K_D แล้วย่อมมีค่ามากกว่า 1 ดังตัวอย่างปฏิกิริยาการขจัด 2-โบรโมโพรเพน (2-Bromopropane) ด้วยโซเดียมเอทอกไซด์ (NaOEt) เกิดเป็นสารประกอบโพรพีน (Propene) ดังภาพที่ 5.2 ซึ่งเมื่อศึกษาผลของ **Kinetic isotope effect** พบว่าค่า K_H/K_D เท่ากับ 6.7 แสดงว่าปฏิกิริยานี้เกิดผ่านกลไกแบบ E2 (สำเนียง อภิสันติยาคม, 2555: 186)



ภาพที่ 5.2 ปฏิกิริยาการขจัด 2-โบรโมโพรเพนและกลไกการเกิดปฏิกิริยา

ในกรณีที่สารตั้งต้นมี β -ไฮโดรเจน หลายตัวที่สามารถถูกดึงออกได้จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในสองลักษณะกล่าวคือ หากผลิตภัณฑ์หลักเป็นแอลคีนที่ตำแหน่งพันธะคู่มีหมู่แอลคิลแทนที่อยู่มากซึ่งเป็นแอลคีนที่มีความเสถียร ทิศทางการขจัดแบบนี้จะเรียกว่า **Saytzeff**

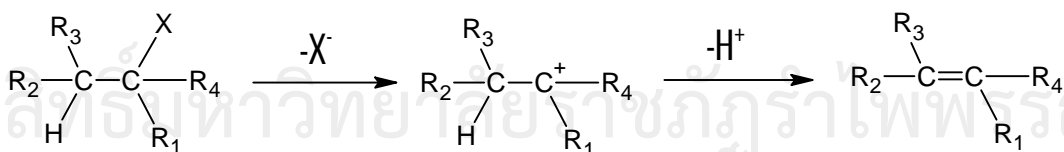
orientation ในทางตรงกันข้ามหากการกำจัดทำให้เกิดแอลคีนที่มีความเสถียรน้อยกว่าโดยมีหมู่แอลคิลแทนที่ในตำแหน่งพันธะคู่บ่อย จะเรียกทิศทางการกำจัดแบบนี้ว่า **Hofmann orientation** ซึ่งปฏิกิริยาการกำจัดโดยส่วนใหญ่จะเกิดตามทิศทางของ **Saytzeff** แต่จะมีปฏิกิริยาเฉพาะบางปฏิกิริยาเท่านั้นที่เกิดตามทิศทางของ **Hofmann** ซึ่งมักจะเป็นกรณีที่เกิดเพื่อหลีกเลี่ยงผลของความเกะกะระหว่างอะตอม ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาการกำจัด **HBr** ออกจาก 2-โบรโม-2-เมทิลบิวเทนเมื่อใช้เบสโซเดียมเอทอกไซด์จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์หลักตามทิศทางของ **Saytzeff** คือ 2-เมทิล-2-บิวทีน ถึงร้อยละ 69 แต่เมื่อใช้เบสชนิดที่มีความเกะกะสูง อย่างเช่น เทอร์เชียรีบิวทอกไซด์ (**t-BuOK**) จะได้ผลิตภัณฑ์หลักตามทิศทางของ **Hofmann** คือ 2-เมทิล-1-บิวทีน ร้อยละ 73 ทั้งนี้เป็นผลอันเนื่องมาจากการหลีกเลี่ยงความเกะกะ (ภาพที่ 5.3)



ภาพที่ 5.3 ปฏิกิริยาการกำจัด **HBr** ออกจาก 2-โบรโม-2-เมทิล บิวเทน
ที่มา : (สำเนียง อภิสันติยาคม, 2555: 195)

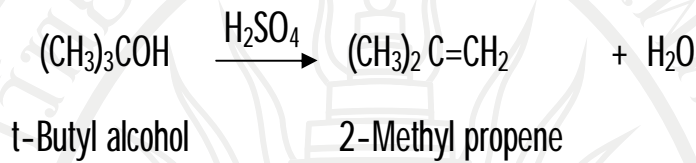
5.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดแบบ E1

E1 (Unimolecular elimination reaction) ขึ้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับสารตั้งต้นเพียงโมเลกุลเดียว กลไกมีหลายขั้นตอนแสดงดังภาพที่ 5.4 และจะเกิดผ่านสารมัธยันต์ที่เป็นคาร์โบแคตไอออน โดยขั้นตอนในการเกิดคาร์โบแคตไอออนจะเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยมากกลไกแบบนี้จะเกิดกับสารตั้งต้นที่มีโครงสร้างเป็นตติยภูมิ (**Tertiary substrate**) ในสถานะที่มีนิวคลีโอไฟล์ที่ไม่แรงเนื่องจากนิวคลีโอไฟล์ที่แรงจะทำให้เกิดการกำจัดผ่านกลไกแบบ **E2** มากกว่า



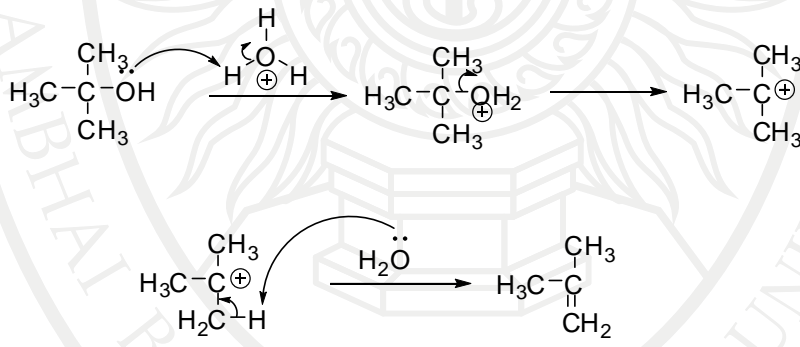
ภาพที่ 5.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดแบบ E1

สเตอริโอเคมีของแอลคีนที่เกิดขึ้นจากกลไก E1 จะไม่เฉพาะเจาะจงจึงมีโอกาสเกิดได้ทั้งแบบซิน (Syn-elimination) และแบบแอนไท (Anti-elimination) เนื่องจากการแตกออกของพันธะ C-H และ C-X ไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกัน พันธะทั้งสองจึงไม่จำเป็นต้องจัดเรียงตัวแบบ Antiperiplanar ปฏิริยาการขจัดที่เกิดผ่านกลไกแบบ E1 อย่างเช่นปฏิริยาการขจัดน้ำออกจากเทอร์เชียรีบิวทิลแอลกอฮอล์ (t-Butyl alcohol) โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่ง ดังภาพที่ 5.5



ภาพที่ 5.5 ปฏิริยาการขจัดน้ำออกจากเทอร์เชียรีบิวทิลแอลกอฮอล์

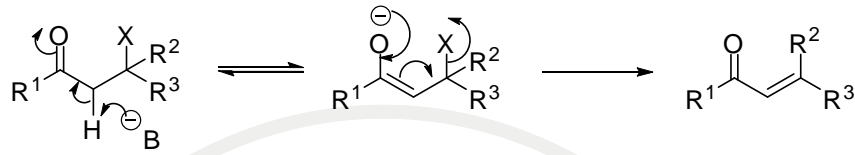
สำหรับกลไกการเกิดปฏิริยานั้นในขั้นตอนแรกหมู่ไฮดรอกซิลจะรับโปรตอนจากกรดเกิดเป็นออกซิเนียมไอออนที่มีความเป็นหมู่หลุดออกที่ดีกว่าหมู่ไฮดรอกซิล จากนั้นในขั้นที่สองจะเกิดการแตกออกของโมเลกุลน้ำทำให้เกิดเป็นเทอร์เชียรีบิวทิลคาร์โบแคตไอออน และขั้นสุดท้ายเป็นการกำจัดโปรตอนออกจากคาร์โบแคตไอออนเกิดเป็นพันธะคู่ขึ้นในที่สุดดังภาพที่ 5.6



ภาพที่ 5.6 กลไกการปฏิริยาการขจัดน้ำออกจากเทอร์เชียรีบิวทิลแอลกอฮอล์
ที่มา : (Carey, F. A., 2000: 186)

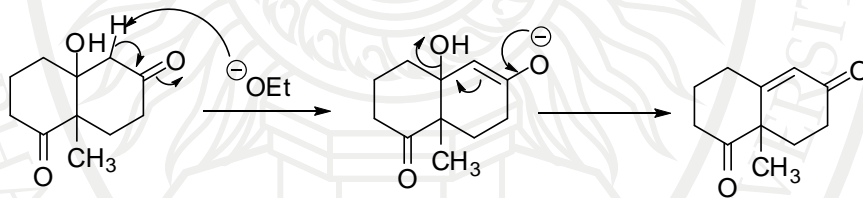
5.3 กลไกการเกิดปฏิริยาการขจัดแบบ E1cB

E1cB (Unimolecular conjugated base elimination) เป็นปฏิริยาที่มีสองขั้นตอน โดยขั้นแรกเบสจะเข้าจับ β -ไฮโดรเจนได้เป็นคาร์เบนไอออนซึ่งเป็นคอนจูเกตเบสของสารตั้งต้น จากนั้นประจุลบของคาร์เบนไอออนจะทำให้เกิดการแตกออกของหมู่หลุดออกเกิดเป็นพันธะคู่ดังภาพที่ 5.7



ภาพที่ 5.7 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการขจัดแบบ E1cB
ที่มา : (Clayden, J. and other, 2001: 494)

กลไกแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีสภาวะที่เหมาะสมหลายประการ กล่าวคือ นิวคลีโอไฟล์ที่ใช้ในปฏิกิริยานี้ต้องทำหน้าที่เป็นเบสที่ดีโดยสามารถดึงโปรตอนออกจากสารตั้งต้นได้ง่าย อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ สารตั้งต้นควรมี B-ไฮโดรเจน ที่มีความเป็นกรดสูงซึ่งสามารถแตกตัวเป็นโปรตอนได้ดี และเมื่อแตกตัวแล้วทำให้เกิดคาร์แบนไอออนที่เสถียร ดังนั้นสารตั้งต้นที่จะเกิดผ่านกลไกนี้ได้จึงต้องมีหมู่ฟังก์ชันที่ช่วยเพิ่มความเสถียรของคาร์แบนไอออน นอกจากนี้หมู่หลุดออกต้องเป็นหมู่หลุดออกที่ไม่ดีเพื่อรอให้เกิดคาร์แบนไอออนก่อนหลังจากนั้นประจุลบที่เกิดขึ้นจึงค่อยย้อนกลับมาผลักดันให้หมู่หลุดออกแตกออกในภายหลัง ปฏิกิริยาการขจัดที่เกิดผ่านกลไกแบบ E1cB ที่พบได้ทั่วไปคือปฏิกิริยาการขจัดน้ำออกจากสารประกอบแอลกอฮอล์ หรือ B-ไฮดรอกซีคาร์บอนิล ตัวอย่างดังภาพที่ 5.8



ภาพที่ 5.8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการขจัดแบบ E1cB ของสารประกอบ B-ไฮดรอกซีคาร์บอนิล
ที่มา : (Grossman, R. B., 2003: 56)

5.4 การแข่งขันกันระหว่างปฏิกิริยาการแทนที่และการขจัด

อิทธิพลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่และการขจัดนั้น มีด้วยกันหลายประการ อันดับต้น ๆ โดยอิทธิพลที่สำคัญคือ ความเป็นเบสและนิวคลีโอไฟล์ โดยหากตัวเข้าทำปฏิกิริยาเป็นนิวคลีโอไฟล์ที่ดีแต่เป็นเบสที่ไม่ดีจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการแทนที่มากกว่าการขจัดดังตารางที่ 5.1 แต่ถ้าต้องการให้เกิดปฏิกิริยาการขจัดดีกว่าจะต้องใช้ตัวทำปฏิกิริยาที่มีความเป็นเบสสูงและเป็น นิวคลีโอไฟล์ที่ไม่ดี หรือใช้เบสที่มีความเกะกะมาก โมเลกุลใหญ่เพื่อเหนี่ยวนำให้เบสเลือกดึงโปรตอนเพียงอย่างเดียวโดยไม่เข้าแทนที่ในตำแหน่งที่หมู่หลุดออกแตกออกไป

อีกประการหนึ่งคือ โครงสร้างของสารตั้งต้นซึ่งสารตั้งต้นที่มีความเกะกะมากจะบังคับให้ปฏิกิริยาเกิดการขจัดมากกว่าการแทนที่ และนอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นยังส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการขจัดได้มากกว่าการแทนที่

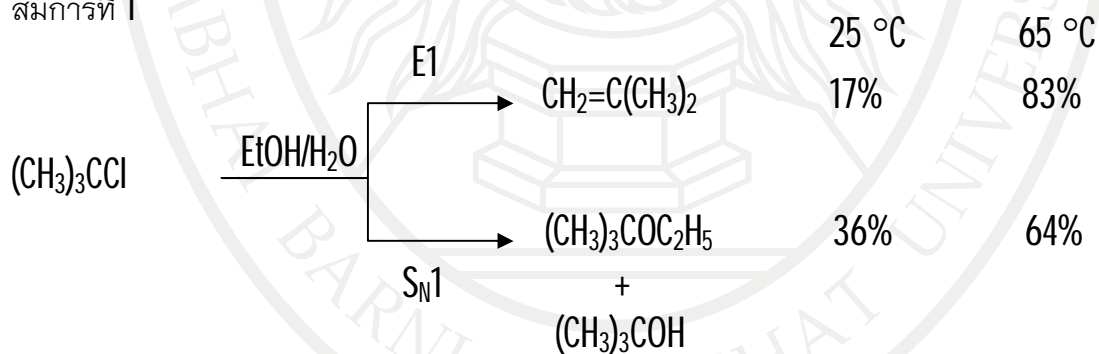
ตารางที่ 5.1 การทำนายการเกิดปฏิกิริยาแทนที่และปฏิกิริยาการขจัดบนคาร์บอน sp^3 ภายใต้สภาวะที่เป็นเบส

ชนิดของคาร์บอน	เบสที่แย่, นิวคลีโอไฟล์ที่ดี	เบสที่ดี, นิวคลีโอไฟล์ที่ดี	เบสที่ดี, นิวคลีโอไฟล์ที่แย่
Me or Bn	S_N2	S_N2	S_N2 or N.R.
1°	S_N2	S_N2	E2
2°	S_N2	$S_N2 < E2$	E2
3°	E2, $S_{RN}1$, or N.R.	E2	E2

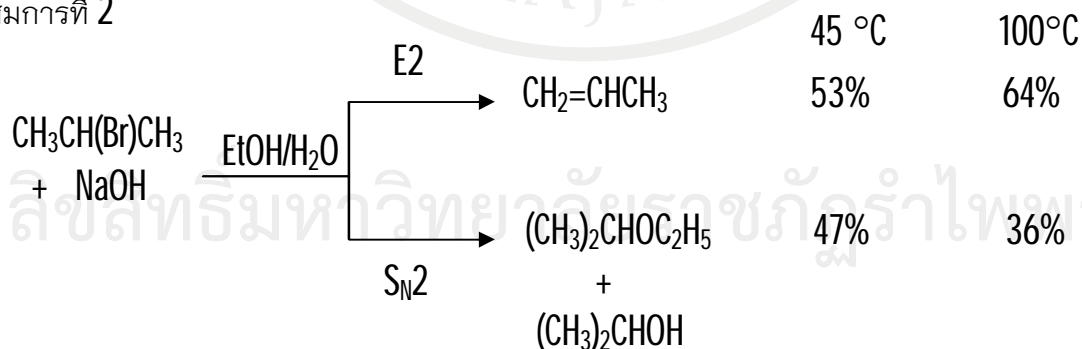
ที่มา : (Grossman, R. B., 2003: 56)

ตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยา ระหว่าง $E1-S_N1$ และ $E2-S_N2$ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (สำเนียง อภิสันติยาคม, 2555: 208)

สมการที่ 1



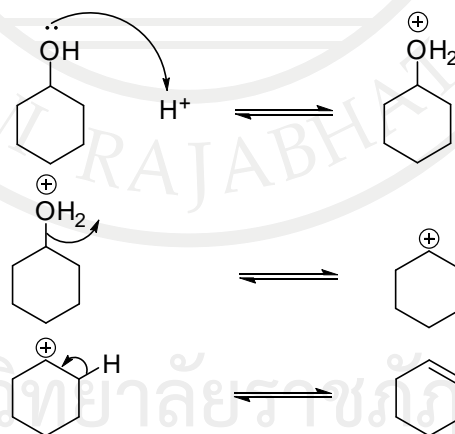
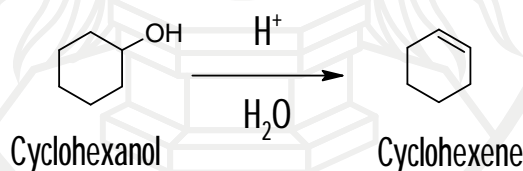
สมการที่ 2



สำหรับสมการที่ 1 เทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์เมื่อเกิดการหลุดออกของคลอไรด์แล้วจะกลายเป็นคาร์โบแคตไอออนที่เสถียร จากนั้น คาร์โบแคตไอออนชนิดตติยภูมิที่เกิดขึ้นอาจเกิดการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ คือ น้ำ หรือเอทานอล โดยผ่านกลไกแบบ S_N1 ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบแอลกอฮอล์ และอีเทอร์ตามลำดับ ในขณะที่ถ้าคาร์โบแคตไอออนถูกกำจัดโปรตอนผ่าน $E1$ จะเกิดผลิตภัณฑ์เป็นแอลคีนซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำ (25 องศาเซลเซียส) จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์จากกลไก S_N1 มีมากกว่า $E1$ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 65 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์จาก $E1$ เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าผลิตภัณฑ์จาก S_N1 ซึ่งผลการทดลองนี้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับผลการทดลองในสมการที่ 2 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาการขจัดมี้อตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วกว่าปฏิกิริยาแทนที่ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงนิวคลีโอไฟล์จะทำหน้าที่ได้ไม่ดี และถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้ตัวทำละลายเปลี่ยนสถานะได้

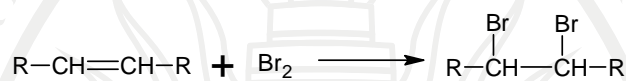
5.5 การทดลองประจำบท

สำหรับการทดลองนี้ นักศึกษาจะได้ทำการสังเคราะห์สารประกอบไซโคลเฮกซีนจากไซโคลเฮกซานอล (Svoronos, P., Sarlo, E. & Kulawiec, R. J., 1997: 123) ตามปฏิบัติการที่ 5.1 โดยอาศัยปฏิกิริยาการขจัดออกตั้งภาพที่ 5.9 ซึ่งจะใช้กรดซัลฟิวริกที่เข้มข้นร้อยละ 85 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเป็นสารกำจัดน้ำ ข้อดีของการใช้กรดซัลฟิวริกที่เหนือกว่าการใช้กรดซัลฟิวริกคือ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่มีสีคล้ำน้อยกว่า และยังลดอันตรายจากการใช้กรดซัลฟิวริกลงได้มาก



ภาพที่ 5.9 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของการสังเคราะห์ไซโคลเฮกซีน

ผลิตภัณฑ์ไซโคลเฮกซีนที่ได้จากการสังเคราะห์มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงกับสารตั้งต้นไซโคลเฮกซานอล ดังนั้นนักศึกษาจะได้เรียนรู้การพิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมี เช่น การทดสอบความไม่อิ่มตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้การฟอกจางสีโบรมีน และการฟอกจางสีสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยปฏิกิริยาฟอกจางสีโบรมีนเป็นสมบัติเฉพาะของสารประกอบไม่อิ่มตัวอย่างเช่น แอลคีน และแอลไคน์ โดยสารที่ไม่อิ่มตัวจะเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย ทำให้สีส้มของโบรมีนจะจางหายไป เป็นปฏิกิริยาการเติมและไม่ทำให้มีแก๊ส HBr เกิดขึ้น ดังสมการ



สำหรับปฏิกิริยาการฟอกจางสีสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตหรือต่างทับทิมสามารถใช้ในการทดสอบสารที่ไม่อิ่มตัวในกลุ่มแอลคีน ได้เช่นกันโดยสารประกอบแอลคีนเกิดปฏิกิริยาฟอกจางสีต่างทับทิม ได้ผลิตภัณฑ์ เป็นแอลกอฮอล์ชนิดแอลเคนไดออล (Alkanediol) ดังสมการ โดยทำให้สีม่วงจางหายไปและเกิดตะกอนสีน้ำตาลของ MnO_2 เรียกปฏิกิริยานี้ว่า **Baeyer test for unsaturation**



รายละเอียดของอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

ปฏิบัติการที่ 5.1

การสังเคราะห์ไซโคลเฮกซีนจากไซโคลเฮกซานอล

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์ไซโคลเฮกซีนจากไซโคลเฮกซานอลโดยอาศัยปฏิกิริยาการขจัดออก
2. เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้

สารเคมี

1. ไซโคลเฮกซานอล
2. กรดออร์โทฟอสฟอริกร้อยละ 85
3. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 10
4. แคลเซียมคลอไรด์ที่ปราศจากน้ำ
5. สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร
6. สารละลายโบรมีนในไดคลอโรมีเทน

อุปกรณ์

1. ขวดก้นกลม
2. ชุดกลั่นลำดับส่วน
3. กรวยแยก
4. กรวยกรอง
5. หลอดทดลอง
6. ที่ตั้งหลอดทดลอง
7. ขวดรูปกรวย
8. ปีกเกอร์

วิธีทดลอง

1. ผสมสารประกอบไซโคลเฮกซานอล 10 กรัม กับกรดออร์โทฟอสฟอริกร้อยละ 85 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ในขวดก้นกลมขนาดเล็ก
2. ตั้งเครื่องกลั่นลำดับส่วนแล้วต้มของผสมให้เดือดเบา ๆ เป็นเวลา 10 นาที โดยอย่าเพิ่งให้ความร้อนมากจนสารกลั่นออกมาได้ในระหว่างนี้

3. กลั่นสารผสมจากข้อ 2 เก็บของเหลวที่กลั่นได้จนกระทั่งไม่มีของเหลวกลั่นออกมาอีกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส สังเกตและบันทึกช่วงอุณหภูมิของสารที่กลั่นออกมาได้
4. นำสารที่กลั่นได้มาเขย่ากับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร 20 มิลลิลิตร ในกรวยแยกไขเก็บชั้นสารอินทรีย์ไว้ ล้างสารอินทรีย์ด้วยน้ำ 2 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิลิตร
5. ทำให้แห้งด้วยแคลเซียมคลอไรด์ที่ปราศจากน้ำ โดยถ้าสารไม่แห้งสนิทในขั้นนี้เวลากลั่นผลิตภัณฑ์จะมีน้ำปนออกมาด้วย
6. นำสารที่ได้มากลั่นลำดับส่วน ทั้งส่วนที่สูญเสีย แล้วเก็บผลิตภัณฑ์ที่กลั่นออกมาในช่วง 80-85 องศาเซลเซียส
7. ชั่งน้ำหนักและคำนวณปริมาณผลผลิต
8. ทดสอบหมู่แอลคีน โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร และ สารละลายโบรมีนในไดคลอโรมีเทน

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

สาขาวิชา.....กลุ่ม.....วันที่ทำการทดลอง.....

บันทึกผลการทดลองที่ 5.1

การสังเคราะห์ไซโคลเฮกซีนจากไซโคลเฮกซานอล

วัตถุประสงค์

.....

ผลการทดลอง

สมการแสดงปฏิกิริยา

--

กลไกการเกิดปฏิกิริยา

--

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายว่าขั้นตอนในการทดลองต่อไปนี้ทำเพื่ออะไร

1.1 การใช้กรดฟอสฟอริก

.....

1.2 การกลั่นลำดับส่วน

.....

1.3 การใช้โซเดียมคาร์บอเนต

.....

1.4 การเติมเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่ปราศจากน้ำ

.....

2. ทำนายผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปได้ที่เกิดจากปฏิกิริยาดีไฮเดรชันแอลกอฮอล์ต่อไปนี้

2.1 1-Methylcyclohexanol

2.2 2-Methylcyclohexanol

2.3 1-Hydroxymethylcyclopentane

2.4 3,3-Dimethyl-1-butanol

5.6 สรุป

ปฏิกิริยาการขจัดเป็นปฏิกิริยาที่มีการแตกออกของอะตอมหรือกลุ่มอะตอมออกจากสารตั้งต้นแล้วทำให้เกิดพันธะคู่ขึ้น โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยามีด้วยกันทั้งหมดสามรูปแบบคือ E1 E2 และ E1cB สำหรับ E1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดผ่านคาร์โบแคตไอออนเมื่อมีการหลุดออกของหมู่หลุดออกในขั้นตอนแรกซึ่งเป็นขั้นช้าและขั้นกำหนดอัตรา แล้วจึงเกิดการหลุดออกของไฮโดรเจนอย่างรวดเร็วในขั้นตอนถัดไป ส่วน E2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดการหลุดออกพร้อม ๆ กันในขั้นตอนเดียวของไฮโดรเจนและหมู่หลุดออกในขณะที่กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ E1cB จะเกิดการหลุดออกของไฮโดรเจนเป็นอันดับแรกเกิดเป็นคาร์เบนไอออนขึ้นแล้วเกิดการขจัดหมู่หลุดออกในภายหลัง โดยการที่จะเกิดปฏิกิริยาการขจัดผ่านกลไกแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสารตั้งต้น ชนิดของนิวคลีโอไฟล์หรือเบส ตลอดจนอุณหภูมิ นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาการขจัดยังเกิดแข่งขันกับปฏิกิริยาการแทนที่ได้ ดังนั้นการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ

แบบฝึกหัดบทที่ 5

1. จงอธิบายคำที่กำหนดให้ต่อไปนี้
 - 1.1 β -elimination
 - 1.2 Antiperiplanar
 - 1.3 Kinetic isotope effect
 - 1.4 Saytzeff orientation
 - 1.5 Hofmann orientation
 - 1.6 Baeyer test for unsaturation
2. ปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่ออัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการขจัดแบบ E1
3. หากศึกษาผลของ Kinetic isotope effect ของปฏิกิริยาการขจัดแล้วพบค่า k_H/k_D มากกว่า 1 หมายความว่าอย่างไร
4. โครงสร้างของเบสมีผลอย่างไรต่อการเกิดปฏิกิริยาการขจัดแบบ E2 หรือไม่ อย่างไร จงอธิบาย
5. จงอธิบายความแตกต่างของการเกิดปฏิกิริยาการขจัดผ่านกลไก E1 และ E1cB
6. อิทธิพลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่และการขจัดมีอะไรบ้าง จงอธิบาย
7. โครงสร้างสารตั้งต้นแบบใดที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการขจัดผ่านกลไก E1cB ได้ดี

เอกสารอ้างอิง

- สำเนียง อภิสันติยาคม. (2555). กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Carey, F. A. (2000). **Organic chemistry**. 4th ed., New York : The McGraw-Hill companies.
- Clayden, J. and other. (2005). **Organic chemistry**. New York : Oxford University Press.
- Grossman, R. B. (2003). **The art of writing reasonable organic reaction mechanisms**. 2nd ed., New York : Springer-Verlag.
- Svoronos, P., Sarlo, E. & Kulawiec, R. J. (1997). **Organic chemistry laboratory manual**. New York : A Times Mirror Higher Education Group.

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 6

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 6 ปฏิริยาการเติมแบบอิเล็กโทรฟิลิก

6.1 กลไกการเกิดปฏิริยาการเติมแบบอิเล็กโทรฟิลิก

6.2 ทิศทางการเข้าทำปฏิริยาและสเตอริโอเคมีของปฏิริยา

6.3 การทดลองประจำบท

ปฏิบัติการที่ 6.1 ปฏิริยาไฮเดรชันของ 1-เฮกซีน

ปฏิบัติการที่ 6.2 การสังเคราะห์สาร α,β -ไดโบรโมเบนซาลแอซีโตฟีโนน

6.4 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อได้ศึกษาบทเรียนนี้แล้ว นักศึกษาสามารถ

1. สังเคราะห์สารโดยใช้ปฏิริยาการเติมแบบอิเล็กโทรฟิลิก
2. เลือกเทคนิคในการพิสูจน์เอกลักษณ์สารอินทรีย์ที่สังเคราะห์ได้ถูกต้อง

กิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. การทดลองทั้งสองปฏิบัติการใช้เวลา 1 สัปดาห์ 3 ชั่วโมง โดยการจัดการเรียนสอนในสัปดาห์ที่ 15
2. มอบหมายให้นักศึกษาอ่านเอกสารประกอบการสอน ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 ส่วนหน้าในบทที่ 6 ก่อนเข้าเรียนในสัปดาห์ที่ 15 และจัดเตรียมแผนการทดลอง โดยให้เขียนแผนการทดลองจากปฏิบัติการที่ 6.1 ถึง 6.2 ส่งในสัปดาห์ที่ 15
3. จัดให้มีการทดสอบก่อนเรียนเป็นระยะเวลา 10 นาที โดยข้อสอบมีลักษณะเป็นคำถามแบบถูกผิดให้นักศึกษาตัดสินใจเลือก
4. ผู้สอนอธิบายหลักการและทฤษฎี วัตถุประสงค์การทดลอง วิธีการทดลอง ตลอดจนจนหลักการที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง
5. มอบหมายให้ผู้เรียนทำปฏิบัติการเป็นกลุ่มตามปฏิบัติการที่ 6.1-6.2 โดยมีผู้สอนคอยให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิด
6. อภิปรายผลการทดลองร่วมกันในชั้นเรียนโดยผู้สอนตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นความคิดให้นักศึกษาตอบคำถามเป็นรายบุคคล
7. ผู้สอนสรุปเนื้อหาเพิ่มเติม

8. มอบหมายให้นักศึกษาเขียนรายงานผลการทดลองส่งเป็นการบ้านในสัปดาห์ถัดไปโดยให้จัดทำรายงานเป็นรายบุคคล

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 2 บทที่ 6
2. เครื่องแก้วและอุปกรณ์ทางเคมี

การวัดผลและการประเมินผล

1. จากการอภิปรายเนื้อหา และตอบคำถามในชั้นเรียน
2. จากรายงานผลทดลอง
3. จากผลการทดสอบก่อนเรียน
4. จากผลการทดสอบปลายภาคการศึกษา
5. จากการสังเกตพฤติกรรมของนักศึกษา

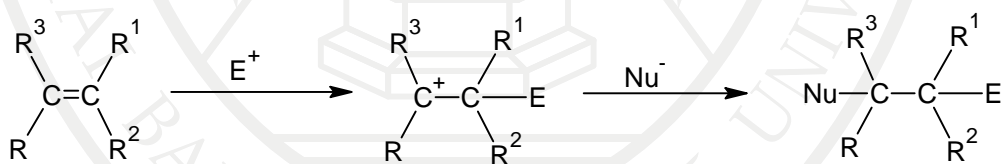
บทที่ 6

ปฏิกิริยาการเติมแบบอิเล็กโทรฟิลิก

ปฏิกิริยาการเติมเป็นปฏิกิริยาที่มีการเพิ่มอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเข้าไปที่พันธะคู่หรือพันธะสามของสารตั้งต้น ซึ่งทำให้พันธะไพหรือพันธะเปลี่ยนไปพันธะซิกมาสองพันธะ และจัดว่าเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาการขจัด ปฏิกิริยาการเติมนี้สามารถแบ่งตามชนิดของตัวเข้าทำปฏิกิริยาได้เป็น 2 ประเภท คือ ปฏิกิริยาการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์ และปฏิกิริยาการเติมด้วยนิวคลีโอไฟล์ สำหรับปฏิกิริยาการเติมแบบอิเล็กโทรฟิลิกจะเกิดได้ดีกับคาร์บอนที่มีพันธะไม่อิ่มตัว เช่น แอลคีน แอลไคน์ ทั้งนี้เพราะแอลคีนและแอลไคน์มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง และอิเล็กตรอนบนพันธะไพนี้จะถูกแรงดึงดูดจากนิวเคลียสไม่มากจึงสามารถทำหน้าที่เป็นนิวคลีโอไฟล์ได้เป็นอย่างดี สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะปฏิกิริยาการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์บนสารประกอบแอลคีนเพียงอย่างเดียวซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

6.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการเติมแบบอิเล็กโทรฟิลิก

ในขั้นตอนแรกของปฏิกิริยา แอลคีนจะทำปฏิกิริยากับอิเล็กโทรไฟล์ก่อนแล้วทำให้เกิดสารมัธยันต์ที่เป็นคาร์โบแคตไอออนแบบไตรโคออดิเนตแคตไอออน จากนั้นคาร์โบแคตไอออนที่เกิดขึ้นนี้จะทำปฏิกิริยาต่อกับ นิวคลีโอไฟล์ดังภาพที่ 6.1 ซึ่งการเติมแบบนี้จัดเป็นปฏิกิริยา Ad_E2 (Bimolecular electrophilic addition) อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นและตัวเข้าทำปฏิกิริยา

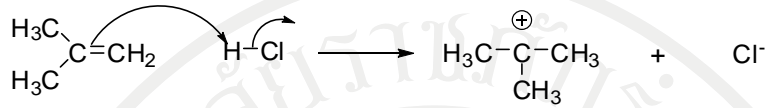


ภาพที่ 6.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการเติมแบบอิเล็กโทรฟิลิก

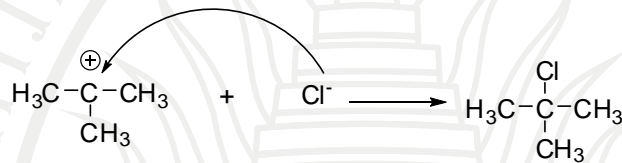
ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบไฮโดรคลอริก และ 2-เมทิล-1-โพรพีน (2-Methyl-1-propene) เกิดเป็นเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ (Pine, S. H., 1987: 519) โดยมีสมการและกลไกการเกิดปฏิกิริยาเป็นดังนี้



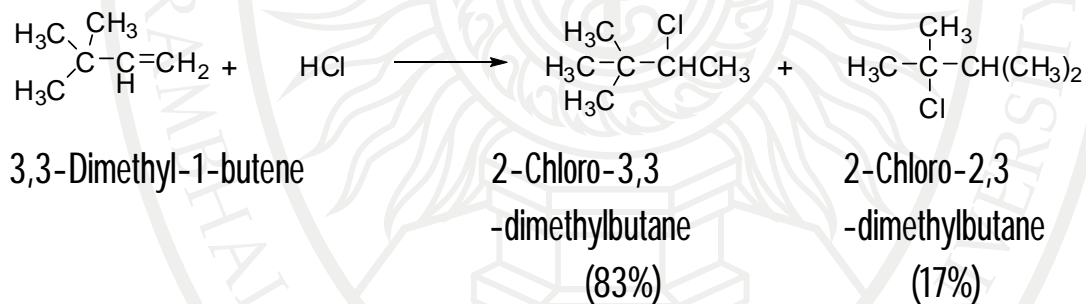
ขั้นแรก 2-เมทิล-1-โพรพีน รับโปรตอนจากกรดไฮโดรคลอริกเกิดเป็นคาร์โบแคตไอออนซึ่งขั้นนี้เป็นขั้นช้าและกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา (Rate determining step)



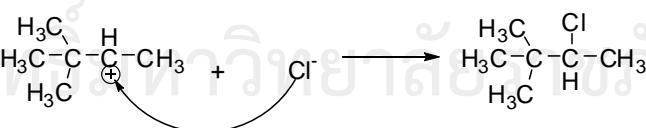
ขั้นที่สอง คลอไรด์ไอออนเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์โบแคตไอออนที่เกิดขึ้นจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นเทอร์เชียรีบิวทิลคลอไรด์ ขั้นนี้เป็นขั้นที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว



อีกตัวอย่างหนึ่งคือ ปฏิกิริยาการเติม HCl ของสารประกอบ 3,3-ไดเมทิล-1-บิวทีน (3,3-Dimethyl-1-butene) ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ 2-คลอโร-3,3-ไดเมทิลบิวเทน (2-Chloro-3,3-dimethylbutane) ร้อยละ 83 และ 2-คลอโร-2,3-ไดเมทิลบิวเทน (2-Chloro-2,3-dimethylbutane) ร้อยละ 17 ดังสมการ (Pine, S. H., 1987: 520)

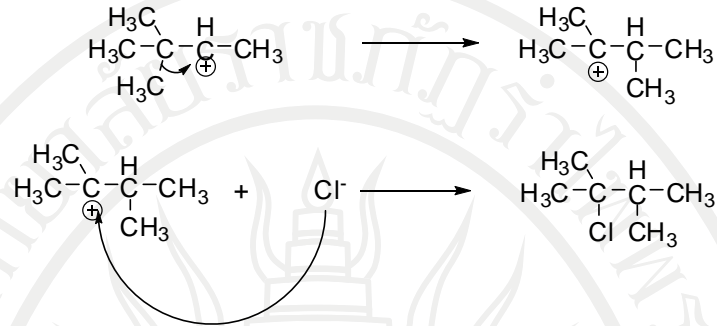


โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นจากการที่ 3,3-ไดเมทิล-1-บิวทีน รับโปรตอนจากกรดไฮโดรคลอริกเกิดเป็นคาร์โบแคตไอออน และหากคลอไรด์ไอออน (Cl⁻) สามารถเข้าทำปฏิกิริยาที่คาร์โบแคตไอออนได้ในทันทีที่จะเกิดผลิตภัณฑ์เป็น 2-คลอโร-3,3-ไดเมทิลบิวเทน ดังสมการ



ลิขสิทธิ์ © มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

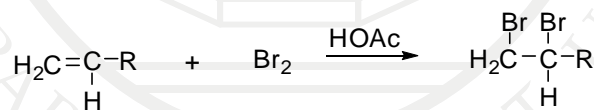
แต่ถ้าคลอไรด์ไอออนเข้าทำปฏิกิริยาที่คาร์โบแคตไอออนตำแหน่งใหม่ที่เกิดจากการย้ายหมู่เมทิล (-CH₃) จะได้ผลิตภัณฑ์เป็น 2-คลอโร-3,3-ไดเมทิลบิวเทน ดังสมการ



ซึ่งตามกลไกแบบ Ad_E2 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดควรเป็น 2-คลอโร-3,3-ไดเมทิลบิวเทน เพียงผลิตภัณฑ์เดียวแต่กลับมี 2-คลอโร-3,3-ไดเมทิลบิวเทน เกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงด้วย ทั้งนี้เพราะผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาการจัดเรียงตัวใหม่ (Rearrangement) โดยการย้ายหมู่เมทิลทำให้เกิดคาร์โบแคตไอออนที่เสถียรขึ้นโดยก่อนการย้ายหมู่เมทิลคาร์โบแคตไอออนเป็นแบบทุติยภูมิ และเมื่อเคลื่อนย้ายแล้วกลายเป็นสารมัธยันต์คาร์โบแคตไอออนแบบตติยภูมิ

6.2 ผลของโครงสร้างต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา

กลไกการเกิดปฏิกิริยาการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์แบบ Ad_E2 มีขึ้นกำหนดอัตราเป็นขั้นของการเติมอิเล็กโทรไฟล์แล้วทำให้เกิดเป็นคาร์โบแคตไอออน ดังนั้นการเพิ่มความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่พันธะคู่หรือพันธะสามจะช่วยทำให้อัตราการปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาโบรมิเนชันของแอลคีนชนิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 6.1

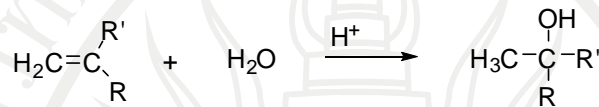


ตารางที่ 6.1 ผลของหมู่แทนที่ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาโบรมิเนชัน

หมู่แทนที่ (R)	อัตราการเกิดปฏิกิริยสัมพันธ์ (k _{rel})
-H	1.0
-CH ₃	11.4
-CO ₂ C ₂ H ₅	3×10 ⁻⁷

ที่มา : (Pine, S. H., 1987: 521)

ซึ่งพบว่าเมื่อหมู่แทนที่บนแอลคีนเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอนคือหมู่เมทิล (-CH₃) สามารถทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีที่ไม่มีหมู่แทนที่ (-H) ถึง 11.4 เท่า ในทางตรงข้าม เมื่อหมู่แทนที่เป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอนซึ่งทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนของพันธะคู่ลดลง อย่างเช่น หมู่เอทิลเอสเทอร์ (-CO₂C₂H₅) ที่สามารถทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงอย่างมาก แนวโน้มเป็นเช่นเดียวกันกับปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบแอลคีนซึ่งเมื่อหมู่แทนที่เป็นเมทิลทั้งสองหมู่ (R=R'=CH₃) สามารถเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ถึง 10³ เท่า ดังตารางที่ 6.2

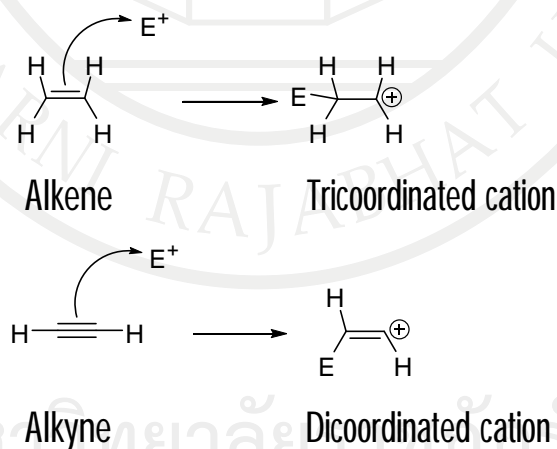


ตารางที่ 6.2 ผลของหมู่แทนที่ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

R	R'	อัตราการเกิดปฏิกิริยสัมพันธ์ (k _{rel})
-H	-CH ₃	1.0
-CH ₃	-CH ₃	10 ³

ที่มา : (Pine, S. H., 1987: 521)

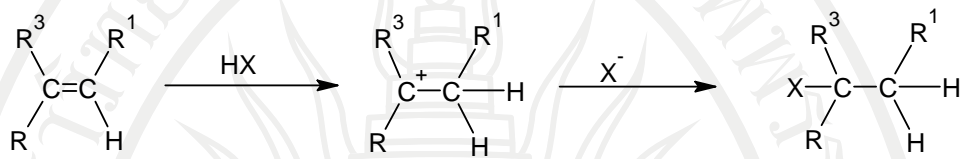
เมื่อเปรียบเทียบความว่องไวของแอลคีนและแอลคไนด์ พบว่าของแอลคไนด์นั้นไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์เหมือนเช่นในแอลคีน ทั้งนี้เพราะแอลคไนด์เมื่อเกิดการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์แล้วจะเกิดคาร์โบแคตไอออนที่เป็นไดโคออร์ดิเนตแคตไอออน (Dicoordinated cation) ที่มีความเสถียรน้อยและเกิดได้ยากกว่าไตรโคออร์ดิเนตแคตไอออน (Tricoordinated cation) จากการเติมแอลคีน ดังภาพที่ 6.2



ภาพที่ 6.2 ไดโคออร์ดิเนตแคตไอออนและไตรโคออร์ดิเนตแคตไอออนจากปฏิกิริยาการเติม

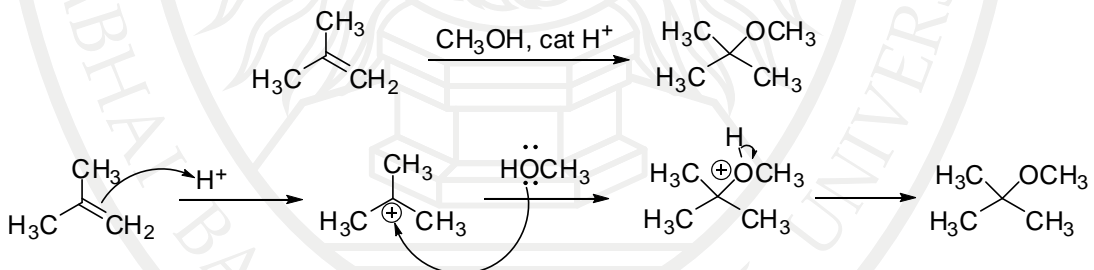
6.3 ทิศทางการเข้าทำปฏิกิริยาและสเตอริโอเคมีของปฏิกิริยา

ในกรณีที่แอลคีนไม่สมมาตร การเข้าทำปฏิกิริยาของอิเล็กโทรไฟล์นั้นจะเข้าตำแหน่งที่ทำให้เกิดเป็นคาร์โบแคตไอออนที่เสถียรซึ่งเป็นไปตามกฎของมาร์คอฟนิคอฟ (Markovnikov rule) ที่กล่าวไว้ว่า "ในการเติมโมเลกุล HX เข้าที่สารประกอบที่ไม่อิ่มตัว ไฮโดรเจนอะตอมจะเข้าทางด้านที่มีไฮโดรเจนมากกว่าอยู่แล้วเสมอ" ดังภาพที่ 6.3



ภาพที่ 6.3 ปฏิกิริยาการเติมตามกฎของมาร์คอฟนิคอฟ

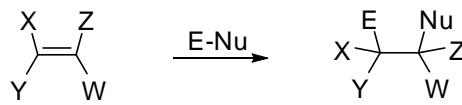
ตัวอย่างเช่นการสังเคราะห์สารที่ช่วยเพิ่มเลขออกเทนในน้ำมันเบนซินซึ่งก็คือสารประกอบเมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์ (Methyl tertiary butyl ether; MTBE) โดยใช้สารตั้งต้นแอลคีนและมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังภาพที่ 6.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นจากการเติมกรดเข้าไปที่ 2-เมทิล-1-โพรพีน ทำให้เกิดเทอร์เชียรีบิวทิลคาร์โบแคตไอออน จากนั้นเมทานอลเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์โบแคตไอออนและกำจัดโปรตอนจนได้เป็นผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์



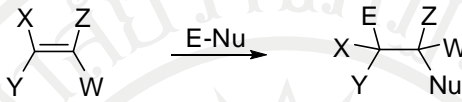
ภาพที่ 6.4 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์

ที่มา : (Grossman, R. B., 2003: 123)

สำหรับการเติมของตัวเข้าทำปฏิกิริยา E-Nu ใด ๆ เข้าไปที่พันธะคู่ หากการเติมของ E-Nu เกิดขึ้นในตำแหน่งเดียวกันของพันธะคู่จะเรียกว่าเป็นการเติมแบบซิน (Syn-addition) แต่ถ้าเติมของ E-Nu เกิดในตำแหน่งตรงข้ามกันจะเรียกว่าการเติมแบบแอนไท (Anti-addition) ดังภาพที่ 6.5



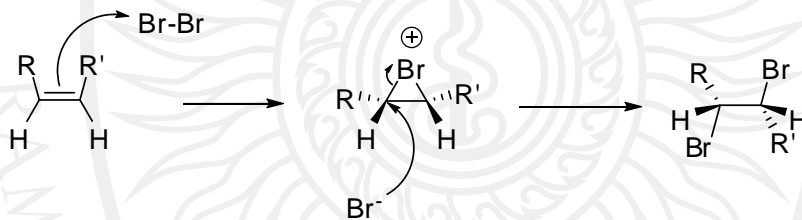
Syn-addition



Anti-addition

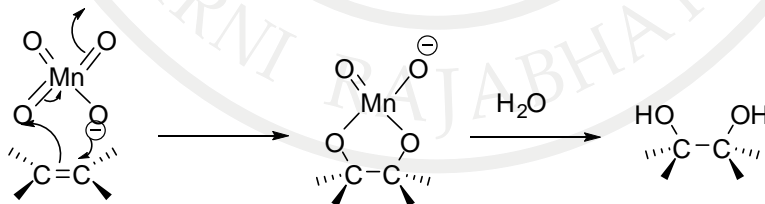
ภาพที่ 6.5 การเติมแบบซินและการเติมแบบแอนไท

ตัวอย่างการเติมแบบแอนไทเช่นปฏิกิริยาโบรมิเนชันของแอลคีน ทั้งนี้เพราะกลไกการเกิดปฏิกิริยาต้องเกิดผ่านสารมัธยันต์โบรมิเนียมไอออน (Bromonium ion) ซึ่งทำให้ด้านที่มีวงสามเหลี่ยมโบรมิเนียมของโครงสร้างมีความเคะกะสูง โบรมิเดต์ไอออนจึงเข้าทำปฏิกิริยาทางด้านตรงข้ามกับวงโบรมิเนียม (Bromine bridge) ดังภาพที่ 6.6



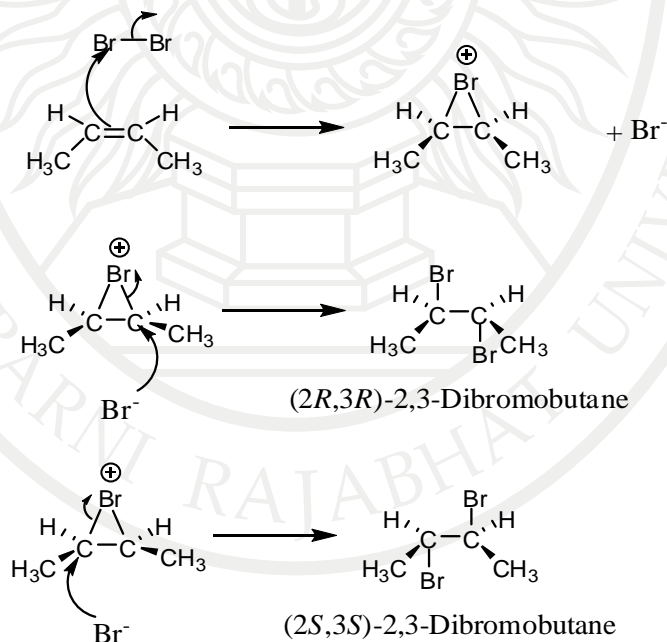
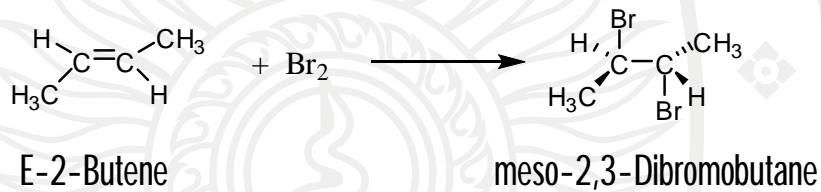
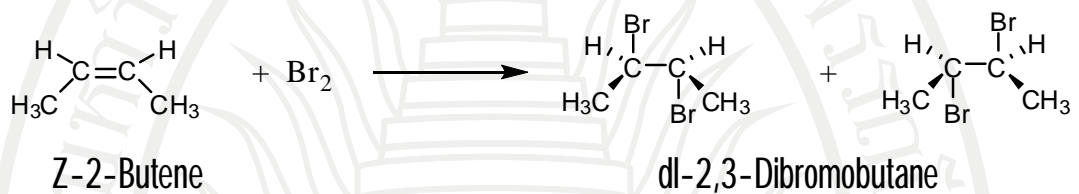
ภาพที่ 6.6 ปฏิกิริยาโบรมิเนชันของสารประกอบแอลคีน

สำหรับการเติมแบบซิน ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน (Hydroxylation) โดยใช้รีเอเจนต์เป็นโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) จะเกิดผ่านสารมัธยันต์ที่มีลักษณะเป็นวงของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเอสเทอร์ (Cyclic permanganate ester) ดังภาพที่ 6.7



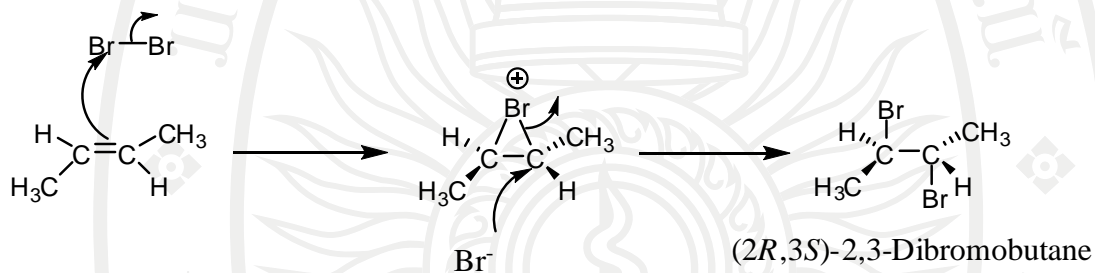
ภาพที่ 6.7 ปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันของสารประกอบแอลคีน

สเตอริโอเคมีของปฏิกิริยาการเติมมีได้ทั้ง **Stereoselective** และ **Stereospecific** ขึ้นอยู่กับความเสถียรของทิศทางในการเกิดปฏิกิริยาว่าจะเข้าเติมผ่านแบบซินหรือแบบแอนไท ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาการเติมโบรมีนเข้าไปที่ **Z-2-บิวทีน (Z-2-Butene)** พบว่าเกิดผลิตภัณฑ์เป็นคู่อิแนนทิโอเมอร์ **dl-2,3-ไดโบรมอบิวเทน (dl-2,3-Dibromobutane)** ในขณะที่ถ้าสารตั้งต้นเป็น **E-2-บิวทีน (E-2-Butene)** จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็น **มีโซ-2,3-ไดโบรมอบิวเทน (meso-2,3-Dibromobutane)** เท่านั้น ดังนั้นปฏิกิริยานี้จึงจัดเป็นปฏิกิริยาการเติมแบบ **Stereospecific** และมีกลไกการเติมแบบแอนไท ดังสมการ

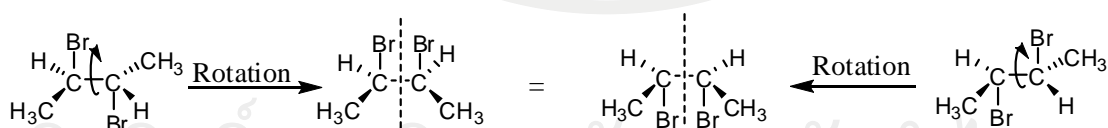
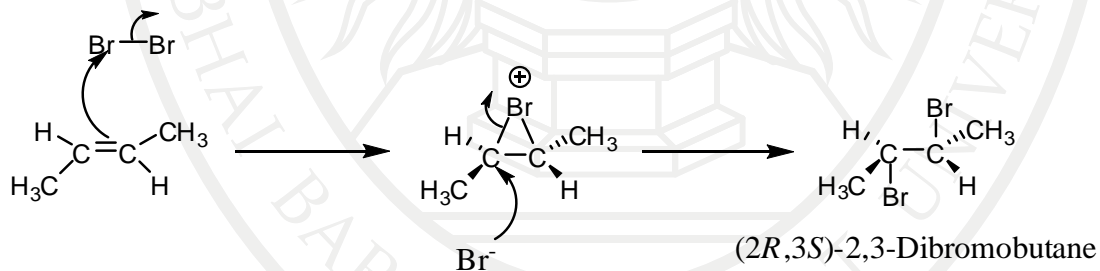


กลไกการเกิดปฏิกิริยาการเติมโบรมีนของ *Z*-2-บิวทีน เมื่อโบรมไนด์ไอออนเข้าทำปฏิกิริยาทางด้านซ้ายและขวาของโบรมเนียมไอออนพบว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันแต่มีความสัมพันธ์กันโดยเป็นไอโซเมอร์ชนิดอิมเมอริ (Pine, S. H., 1987: 526) สำหรับกลไกการเกิดปฏิกิริยาการเติมโบรมีนของ *E*-2-บิวทีน แม้โบรมไนด์ไอออนจะสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ทั้งทางด้านซ้ายและด้านขวาของสารมัธยันต์โบรมเนียมไอออนตามสมการที่ 1 และ 2 แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน คือ สารประกอบ (2*R*,3*S*)-2,3-ไดโบรมบิวเทน ((2*R*,3*S*)-2,3-Dibromobutane) ซึ่งจัดเป็นสารประกอบมีโซ (meso-compound) เนื่องจากเป็นสารที่มีระนาบสมมาตรภายในโมเลกุล

สมการที่ 1

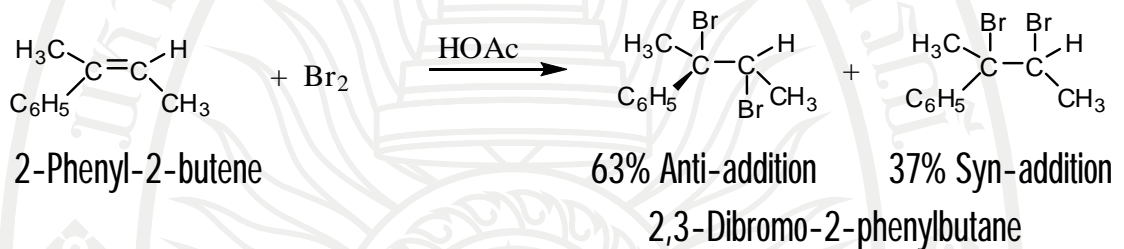


สมการที่ 2



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ในบางกรณีที่สารตั้งต้นแอลคีนมีหมู่แทนที่ที่สามารถทำให้เกิดคาร์โบแคตไอออนเสถียร เช่น หมู่ฟีนิลหรือสารจำพวกคอนจูเกตแอลคีนจะทำให้ปฏิกิริยาโบรมิเนชันไม่เกิดผ่านสารมัธยันต์โบรมิเนียมไอออน หรือ โบรมิเนียมไอออนที่เกิดขึ้นจะเปิดวงออกอย่างรวดเร็วเพื่อเกิดเป็นคาร์โบแคตไอออนที่เสถียร จึงทำให้ปฏิกิริยาเลือกที่จะเกิดผลิตภัณฑ์ใดผลิตภัณฑ์หนึ่งมากกว่า นั่นคือปฏิกิริยาเป็นแบบ **Stereoselective** ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาโบรมิเนชันของสารประกอบ 2-ฟีนิล-2-บิวทีน (2-Phenyl-2-butene) เกิดผลิตภัณฑ์เป็น 2,3-ไดโบรม-2-ฟีนิลบิวเทน (2,3-Dibromo-2-phenylbutane) โดยเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดผ่านการเติมแบบแอนไทและการเติมแบบซิน ร้อยละ 63 และ 37 ตามลำดับ ดังสมการ (Pine, S. H., 1987: 527)



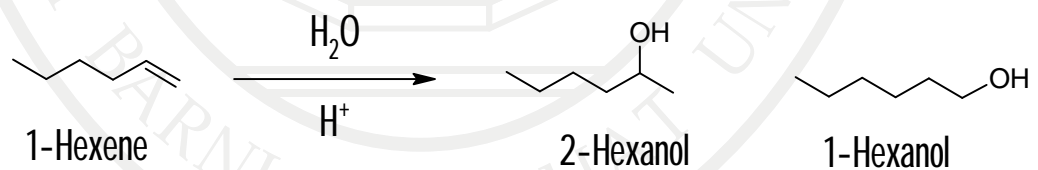
6.4 การทดลองประจำบท

สำหรับการทดลองในบทนี้แบ่งเป็น 2 การทดลองคือ

ปฏิบัติการที่ 6.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ 1-เฮกซีน

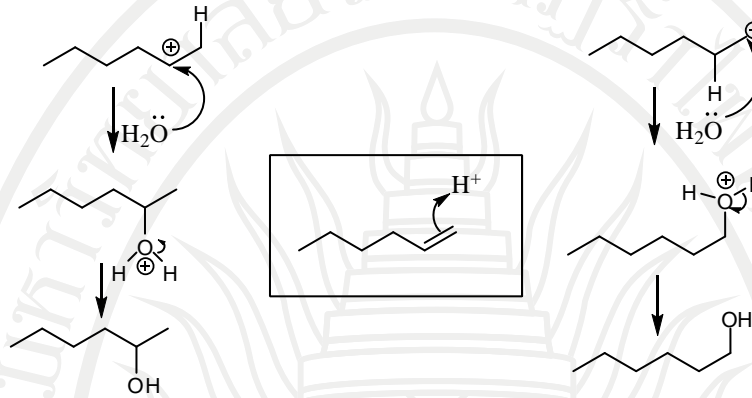
ปฏิบัติการที่ 6.2 การสังเคราะห์สาร α,β -ไดโบรมเบนซาลแอซิติฟิโนน

การทดลองแรกนักศึกษาจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยาการเติมตามกฎของมาร์คอฟนิกอฟ ผ่านปฏิกิริยาไฮเดรชันของ 1-เฮกซีน (1-Hexene) (Touchette, K. M., Weiss, H. M. & Rozenberg, D., 1994: 534) ดังสมการ



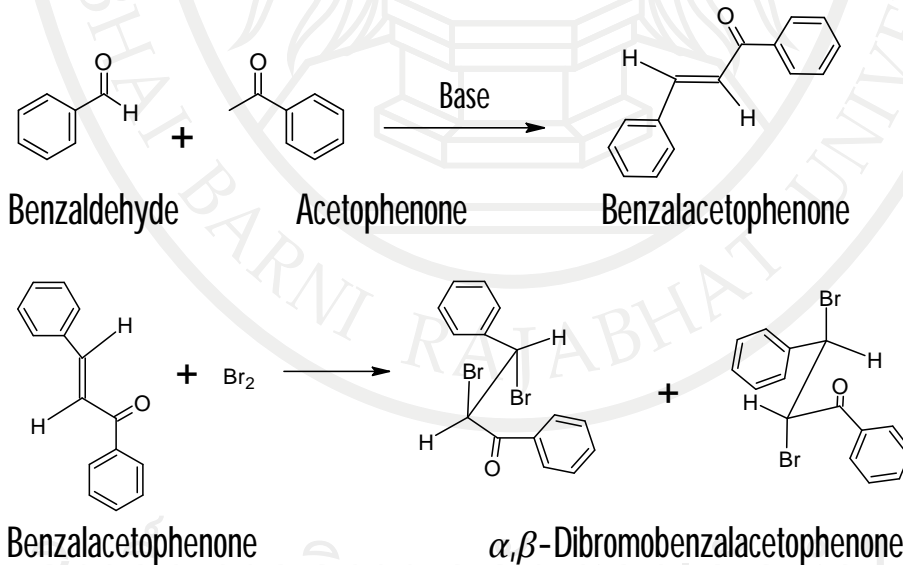
โดยมีกรดที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาในการทดลองนี้คือ กรดซัลฟิวริกเข้มข้น และเกิดเป็นแอลกอฮอล์ได้สองชนิดตามกลไกในภาพที่ 6.8 โดยนักศึกษาต้องใช้กฎของมาร์คอฟนิกอฟในการทำนายผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นว่าเป็นแอลกอฮอล์ชนิดใดระหว่าง 1-เฮกซานอล (1-Hexanol) หรือ 2-เฮกซานอล (2-Hexanol) โดยยืนยันผลการทำนายด้วยการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเพื่อยืนยันโครงสร้างผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยความแตกต่างของเฮกซานอลทั้งสองชนิดนี้สามารถแยกได้โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีอย่างเช่นลูคัสรีเอเจนต์ที่สามารถใช้ในการระบุชนิดของแอลกอฮอล์ การทดสอบไอโอดิฟอร์มซึ่งสามารถใช้ในการระบุโครงสร้างของ

แอลกอฮอล์ได้ว่ามีโครงสร้างแบบ $(\text{CH}_3\text{-CH(R)-OH})$ หรือไม่ หรืออาจใช้สมบัติทางกายภาพในการหาจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ได้เนื่องจากเฮกซานอลทั้งสองชนิดมีจุดเดือดที่ต่างกันเนื่องจากโครงสร้างที่แตกต่างกันโดย 1-เฮกซานอล มีโครงสร้างแบบโซ่ตรงซึ่งมีจุดเดือดที่สูงกว่าเนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากกว่า 2-เฮกซานอล ที่มีโครงสร้างแบบกิ่ง



ภาพที่ 6.8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ 1-เฮกซีน

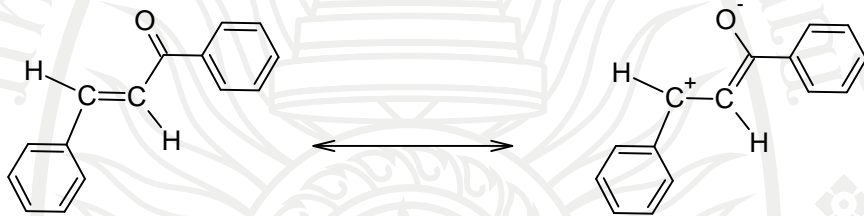
การทดลองที่สองคือ การทดลองตามปฏิบัติการที่ 6.2 ซึ่งนักศึกษาจะได้สังเคราะห์สาร α,β -ไดโบรมิเบนซาลแอซิโตฟีโนน (α,β -Dibromobenzalacetophenone) จากเบนซาลแอซิโตฟีโนน (Benzalacetophenone, Chalcone) ดังภาพที่ 6.9 ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวประเภท $\text{trans-}\alpha,\beta\text{-unsaturated ketone}$ ที่เกิดจากการรวมตัวกันโดยอาศัยปฏิกิริยา $\text{Mix aldol condensation}$ ของสารตั้งต้นสองชนิดคือเบนซาลดีไฮด์ และ แอซิโตฟีโนน



ภาพที่ 6.9 การสังเคราะห์เบนซาลแอซิโตฟีโนนและ α,β -ไดโบรมิเบนซาลแอซิโตฟีโนน

ที่มา : (Svoronos, P., Sarlo, E. & Kulawiec, R. J., 1997: 130)

เมื่อเติมโบรมีนในไดคลอโรมีเทนลงในสารตั้งต้นที่เป็นเบนซาลแอซิติโนน นี้จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นสารผสมระสมของ α,β -ไดโบรมเบนซาลแอซิติโนน โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาการเติม Br_2 เข้าไปที่พันธะคู่เป็นแบบแอนไทซึ่งโบรมีนมีโอกาสเท่า ๆ กันในการเข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นคู่อิแนนท์ไอเมอร์ขึ้นในปริมาณที่เท่า ๆ กัน ส่งผลให้รวมกันเกิดเป็นสารผสมระสมที่ไม่มีสมบัติในการหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ นอกจากนี้ยังพบว่า ปฏิกิริยาการเติมโบรมีนเข้าไปที่สารประกอบคีโตนไม่อิ่มตัวที่ตำแหน่งแอลฟาเบตา (α,β -unsaturated ketone) จะเกิดขึ้นได้ช้ากว่าการเติมโบรมีนเข้าไปที่ แอลคีนที่ไม่คอนจูเกต (Non-conjugated alkene) เนื่องจากผลของเรโซแนนซ์ทำให้ β -คาร์บอนมีความเป็นบวกสูงกว่า คาร์บอนของแอลคีนปกติ ได้ดังภาพที่ 6.10



ภาพที่ 6.10 การเกิดเรโซแนนซ์ของคีโตนไม่อิ่มตัวที่ตำแหน่งแอลฟาเบตา

ปฏิบัติการที่ 6.1 ปฏิบัติการไฮเดรชันของ 1-เฮกซีน

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาทฤษฎีของมาคอฟนิกอฟผ่านปฏิบัติการไฮเดรชันของ 1-เฮกซีน

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
2. 1-เฮกซีน
3. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร
4. โซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำ
5. สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร
6. สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต
7. น้ำแข็ง
8. ไดออกเซน

อุปกรณ์

1. ขวดก้นกลม
2. ชุดกลั่นธรรมดา
3. กรวยแยก
4. กรวยกรอง
5. หลอดทดลอง
6. ที่ตั้งหลอดทดลอง
7. ขวดรูปกรวย
8. ปีกเกอร์

วิธีทดลอง

1. ผสมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร กับน้ำแข็ง 2.5 กรัม (ซึ่งอย่างละเอียด) อย่างระมัดระวัง
2. ถ่ายสารละลายลงสู่กรวยแยกเติม 1-เฮกซีน 5 มิลลิลิตร ปิดจุกแล้วเขย่ากรวยแยกจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (ไขก็อกเปิดปิดบ่อย ๆ) ระวังกรวยแยกรั่ว

3. เติม 1-เฮกซีน ที่เหลืออีก 5 มิลลิลิตร ลงไป เขย่าต่อจนกระทั่งเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันอีกครั้ง แล้วตั้งกรวยแยกทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที เติมน้ำ 30 มิลลิลิตร แล้วถ่ายลงสู่ขวดกั่นกลม
4. รีฟลักซ์สารละลายที่ได้จากข้อ 3 เป็นเวลา 5 นาที ทำให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วแช่น้ำแข็ง จากนั้นเทสารละลายกลับคืนกรวยแยก ไซ้ชั้นน้ำออกแล้วล้างชั้นสารอินทรีย์ด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร 5 มิลลิลิตร
5. ทำชั้นสารอินทรีย์ให้แห้งด้วยโซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำจากนั้นจึงนำไปกลั่นธรรมดา เก็บผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้และบันทึกช่วงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่กลั่นออกมา
6. บันทึกน้ำหนัก และคำนวณปริมาณผลผลิต
7. ตรวจสอบผลิตภัณฑ์เทียบกับสารตั้งต้นโดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร (ต้องสังเกตผลทันที อย่างตั้งทิ้งไว้เนื่องจากแอลกอฮอล์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิห้อง) และซีริกแอมโมเนียมไนเตรต (โดยให้ใช้ตัวทำละลายไดออกเซน 1-2 หยด ในการละลาย)
8. วิเคราะห์โครงสร้างของแอลกอฮอล์ที่ได้ว่าเป็น 1-เฮกซานอล หรือ 2-เฮกซานอล โดยใช้วิธีไอโอโดฟอร์ม และลൂคัสรีเอเจนต์ หรือเทียบจุดเดือดในเอกสารอ้างอิง

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

สาขาวิชา.....กลุ่ม.....วันที่ทำการทดลอง.....

บันทึกผลการทดลองที่ 6.1

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ 1-เฮกซีน

วัตถุประสงค์

.....
.....

ผลการทดลอง

สมการแสดงปฏิกิริยาไฮเดรชันของ 1-เฮกซีน

กลไกการเกิดปฏิกิริยา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ.....มีสถานะเป็น.....สี.....

ปริมาณ.....กรัม คิดเป็นร้อยละผลผลิตเท่ากับ.....%

แสดงวิธีคำนวณร้อยละของผลผลิต

.....

.....

.....

.....

ผลการตรวจสอบผลิตภัณฑ์

วิธีที่ใช้ทดสอบ	ผลการทดลองที่สังเกตเห็น	แสดงว่า

คำถามท้ายการทดลอง

1. ผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดชันของ 1-เฮกซีนคืออะไร และเพราะเหตุใดสารดังกล่าวจึงเป็นผลิตภัณฑ์หลัก

.....

.....

.....

.....

2. น้ำแข็งที่เติมไปในกรดในขั้นตอนแรกใส่ไปเพื่ออะไร

.....

.....

.....

.....

3. รีฟลักซ์คืออะไรจงอธิบาย

.....

.....

.....

.....

4. เหตุใดจึงต้องล้างชั้นสารอินทรีย์ด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ($10\% \text{Na}_2\text{CO}_3$)

.....

.....

.....

.....

ปฏิบัติการที่ 6.2

การสังเคราะห์ α,β -ไดโบรโมเบนซาลแอซิติฟีน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์ α,β -ไดโบรโมเบนซาลแอซิติฟีน ผ่านปฏิกิริยาโบรมิเนชัน
2. เปรียบเทียบความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาโบรมิเนชันบนแอลคีนชนิดต่าง ๆ

สารเคมี

1. เบนซาลแอซิติฟีน
2. ไตคลอโรมีเทน
3. เอทานอล
4. สารละลายโบรมีนในไตคลอโรมีเทนเข้มข้นร้อยละ 15
5. โซโคลเฮกซีน
6. น้ำแข็ง

อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. อ่างน้ำแข็ง
3. กระจกกรอง
4. ชุดกรองสุญญากาศ
5. หลอดหยด
6. ปีกเกอร์

วิธีการทดลอง

1. ละลายเบนซาลแอซิติฟีน 1 กรัม ด้วยไตคลอโรมีเทน 5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองขนาดใหญ่แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำแข็ง

2. เติมสารละลายโบรมีนในไตคลอโรมีเทนเข้มข้นร้อยละ 15 ที่ละลายลงในหลอดทดลองข้อ 1 จนครบ 5 มิลลิลิตร แช่สารไว้ในน้ำแข็งต่ออีก 10 นาที จนเกิดตะกอนอย่างสมบูรณ์

3. กรองตะกอนที่เกิดขึ้นด้วยเอทานอลเย็น 4-5 มิลลิลิตร แล้วทิ้งให้แห้ง หาจุดหลอมเหลวและร้อยละผลได้ ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งโดยเปลี่ยนสารตั้งต้นเป็นโซโคลเฮกซีนให้เทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาว่าสารตั้งต้นใดทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็วกว่ากัน

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

ผู้เขียนรายงานชื่อ.....รหัส.....

สาขาวิชา.....กลุ่ม.....วันที่ทำการทดลอง.....

บันทึกผลการทดลองที่ 6.2

การสังเคราะห์ α,β -ไดโบรโมเบนซาลแอซีโตฟีโนน

วัตถุประสงค์

.....
.....

ผลการทดลอง

สมการแสดงปฏิกิริยา

ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ.....มีสถานะเป็น.....สี.....

ปริมาณ.....กรัม คิดเป็นร้อยละผลผลิตเท่ากับ.....%

แสดงวิธีคำนวณร้อยละของผลผลิต

.....
.....

.....
.....

เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยา

สารตั้งต้น	ผลการทดลองที่สังเกตเห็น
Benzalacetonephenone	
Cyclohexene	

กลไกการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์ α,β -ไดโบรโมเบนซาลแอซิโตฟีโนน

คำถามท้ายการทดลอง

1. ระหว่างเบนซาลแอซิติฟีนอน และไซโคลเฮกซีน สารใดเกิดปฏิกิริยาโบรมิเนชันได้เร็วกว่ากันและเพราะอะไร

.....

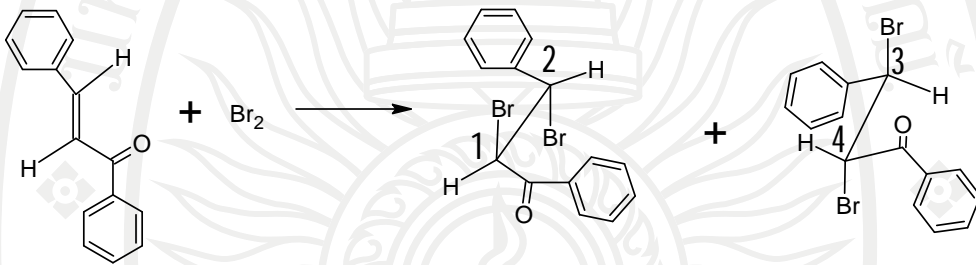
.....

.....

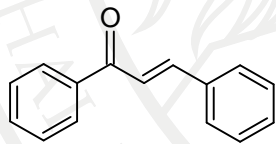
.....

.....

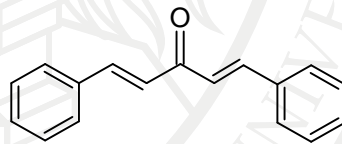
2. จงระบุคอนฟิกรेशनที่ตำแหน่ง 1-4 ของสารผสมระสมิกที่เกิดขึ้น



3. ถ้าทำการทดลองโดยเปลี่ยนจากเบนซาลแอซิติฟีนอนเป็นไดเบนซาลแอซิติโน สารใดจะเกิดปฏิกิริยาโบรมิเนชันได้เร็วกว่ากันและเพราะเหตุใด



Benzalacetophenone



Dibenzalacetone

.....

.....

.....

.....

6.5 สรุป

ปฏิกิริยาการเติมแบบอิเล็กโทรฟิลิกเป็นปฏิกิริยาที่มีการเพิ่มอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเข้าไปที่สารตั้งต้นที่ไม่อิ่มตัวแล้วทำให้พันธะไพกกลายเป็นพันธะซิกมาเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความอิ่มตัว โดยกลไกจะเกิดผ่านการเติมแบบไบโมเลกูลาร์อิเล็กโทรฟิลิก (**Bimolecular electrophilic addition**) ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับสารสองชนิดคือ สารตั้งต้นและตัวเข้าทำปฏิกิริยาโดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาเกิดผ่านคาร์โบแคตไอออน ดังนั้นสารตั้งต้นที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์จึงต้องมีโครงสร้างที่ช่วยทำให้คาร์โบแคตไอออนเสถียรโดยมีหมู่แทนที่ตรงพันธะคู่เป็นหมู่ที่ให้อิเล็กตรอน นอกจากนี้สารตั้งต้นที่เป็นคอนจูเกตแอลคีนประเภทคีโตนไม่อิ่มตัวชนิดแอลฟา-บีตา (**α,β -Unsaturated ketone**) พบว่าจะมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์ลดลงทั้งนี้เนื่องจากผลของเรโซแนนซ์เข้าไปที่หมู่คาร์บอนิลที่ทำให้แอลคีนมีความเป็นบวกรวมมากขึ้น สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการเติมจะเป็นไปตามกฎของมาร์คอฟนิกอฟที่ไฮโดรเจนจะเข้าตำแหน่งของ พันธะคู่ด้านที่มีไฮโดรเจนมากกว่าเพื่อทำให้เกิดคาร์โบแคตไอออนที่เสถียร และสเตอริโอเคมีของปฏิกิริยาการเติมมีได้ทั้งการเติมแบบซินและการเติมแบบแอนโทขึ้นอยู่กับสถานะของแต่ละปฏิกิริยาที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ผ่านทิศทางที่มีความเสถียรมากที่สุด

แบบฝึกหัดบทที่ 6

- จงอธิบายคำที่กำหนดให้ต่อไปนี้
 - Ad_E2
 - Rearrangement
 - Tricoordinated cation
 - Markovnikov rule
 - Stereoselective
 - Stereospecific
 - Meso-compound
- จงเปรียบเทียบความว่องไวของแอลคีนและแอลไคน์ต่อปฏิกิริยาการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์
- ปัจจัยที่มีผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์เกิดได้เร็วขึ้นมีอะไรบ้าง จงอธิบาย
- จงยกตัวอย่างปฏิกิริยาการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์ที่เกิดการเติมแบบซิน (Syn-addition) มาอย่างน้อย 2 ปฏิกิริยา
- จงเปรียบเทียบความว่องไวต่อปฏิกิริยาการเติมด้วยอิเล็กโทรไฟล์ของ 1-บิวทีน (1-Butene) กับ 1,3-บิวทาไดเอิน (1,3-Butadiene)
- จงเขียนกลไกการเกิดปฏิกิริยาการเติมที่กำหนดให้ต่อไปนี้เมื่อสารตั้งต้นคือ 1-บิวทีน
 - โบรมิเนชัน (Bromination) โดยใช้ Br_2 เป็นรีเอเจนต์
 - ไฮดรอกซิเลชัน (Hydroxylation) โดยใช้ $KMnO_4$ เป็นรีเอเจนต์
 - ไฮเดรชัน (Hydration) โดยใช้ H_2O และ H_2SO_4

เอกสารอ้างอิง

- Pine, S. H. (1987). **Organic chemistry**. 5th ed., New York : McGraw-Hill book company.
- Svoronos, P., Sarlo, E. & Kulawiec, R. J. (1997). **Organic chemistry laboratory manual**. New York : A Times Mirror Higher Education Group.
- Touchette, K. M., Weiss, H. M. & Rozenberg, D. (1994, June). The hydration of 1-hexene and 1-hexyne. **Journal of chemical education**. 71(6). 534-535.
- Grossman, R. B. (2003). **The art of writing reasonable organic reaction mechanisms**. 2nd ed., New York : Springer-Verlag.



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2548). แนวทางการจัดการของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการ.

กรุงเทพฯ : หจก. มีเดีย เพรส.

กรมประมง. (2559). คู่มือความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ. (ออนไลน์). แหล่งที่มา :

http://www.fisheries.go.th/train-gr/003/S_Lap/S_Lap01.doc. 16 เมษายน 2559.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2548). การจำแนกประเภทและการติดฉลากสารเคมีที่เป็น

ระบบเดียวกันทั่วโลก. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.si.mahidol.ac.th/project/sicsm/news_files/15_1.pdf. 16 เมษายน 2559.

ประวิตร ชูศิลป์. (2549, มกราคม-ธันวาคม). อันตรายจากสารเคมี (Chemical Hazard).

วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, 7(1-2), 44-48.

ปาลิยา เพ็ชรโคกกรวด. (2556, มกราคม-มีนาคม). Rotary evaporator. *SPCNews*, 32, 12.

เผด็จ สิทธิสุนทร และคณะ. (2543). คู่มือปฏิบัติการเคมีอินทรีย์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พงษ์ศักดิ์ ชัยศิริประเสริฐ และ ปรีศนา สิริอาษา. (2545). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้

สารเคมี. กรุงเทพฯ : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร.

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2546). ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์

2302275-2302276 (ฉบับปรับปรุงใหม่). กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2558). การกลั่นด้วยไอน้ำ.

(ออนไลน์). แหล่งที่มา :

http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302275/chapter7.pdf.

16 เมษายน 2559.

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2558). เครื่องแก้วและอุปกรณ์ที่

ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีอินทรีย์. (ออนไลน์). แหล่งที่มา :

http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302275/chapter2.pdf.

16 เมษายน 2559.

วิจิตร เอื้อประเสริฐ และคณะ. (2547). **คู่มือปฏิบัติการเคมีอินทรีย์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภวรรณ ต้นตายนนท์ และคณะ. (2547). **ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์บนพื้นฐานของความ
ปลอดภัยทางเคมีและการลดมลพิษ**. กรุงเทพฯ : ดิว พรินท์ แมเนจเมนท์
จำกัด.

ศูนย์บริหารความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล. (2555).

แนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ :
ทองสุขพรินท์.

สำเนียง อภิสันติยาคม. (2555). **กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์เบื้องต้น**. กรุงเทพฯ :
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุทินนท์ บุญส่งแท้. (2553). **คู่มือการแยกประเภทและการจัดการของเสียจาก
ห้องปฏิบัติการ**. พิษณุโลก : คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

อาภาพร บุญมี สุนิษา สุวรรณเจริญ และธีรพิณช์ เกษมสุข. **เอกสารประกอบการอบรมเชิง
ปฏิบัติการแปรรูปสมุนไพรเป็นผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน**. (2558). จันทบุรี :
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

Al-Rubaie, L. A. R. & Mhessn, R. J. (2012, June). Synthesis and characterization of azo
dye Para red and new derivatives. **E-Journal of chemistry**. 9(1), 465-470.

Arctic Silver Incorporated. (2012). **MSDS # CMQ2_1**. (Online). Available : [http://
www.arcticsilver.com/PDF/thermcom/CMQ2_MSDS_3.pdf](http://www.arcticsilver.com/PDF/thermcom/CMQ2_MSDS_3.pdf). 24September 2016.

Carey, F. A. & Sundberg, R. J. (2007). **Advance organic chemistry**. 5th ed., New York :
Spinger.

Carey, F. A. (2000). **Organic chemistry** 4th ed., United States of America : The
McGraw-Hill companies.

Clayden, J. and other. (2005). **Organic chemistry**. New York : Oxford University Press.

Gatta, F. L. (2007). **Synthesis of oil of Wintergreen**. Cornell center for materials
research.

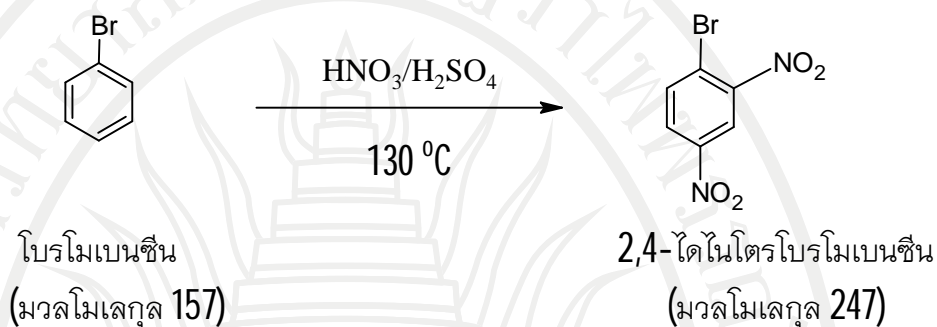
Gilbert, J. C. & Martin, S. F. (2002). **Experimental organic chemistry a miniscale
and microscale approach**. New York : Brooks Cole /Thomson Learning.

- Grossman, R. B. (2003). **The art of writing reasonable organic reaction mechanisms**. 2nd ed., New York : Springer-Verlag.
- McCullagh, J. V. & Daggett, K. A. (2007, November). Synthesis of Triarylmethane and Xanthene Dyes Using Electrophilic Aromatic Substitution Reactions. **Journal of chemical education**. 84, 1799-1802.
- Pine, S. H. (1987). **Organic chemistry**. 5th ed., New York : McGraw-Hill book company.
- Pine, S. H. and other. (1980). **Organic chemistry**. 4th ed., New York : The McGraw-Hill companies, Inc.
- Shank, M. (2014). **How to choose the perfect cooking oil**. (Online). Available : <http://www.myhealthwire.com/news/diet-nutrition/867>. 8 October 2016.
- Svoronos, P., Sarlo, E. & Kulawiec, R. J. (1997). **Organic chemistry laboratory manual**. New York : A Times Mirror Higher Education Group.
- Tantayanon, S. (2009). **Small scale laboratory: Organic chemistry at university level**. Bangkok : Department of chemistry, Chulalongkorn university.
- Touchette, K. M., Weiss, H. M. & Rozenberg, D. (1994, June). The hydration of 1-hexene and 1-hexyne. **Journal of chemical education**. 71(6). 534-535.
- Zubrick, J. W. (1988). **The organic chem lab survival manual**. New York : John Wiley & Sons.

ภาคผนวก

เฉลยปฏิบัติการที่ 3.2

การคำนวณร้อยละผลผลิตของ 2,4-ไดไนโตรโบรมเบนซีน



การทดลองใช้โบรมเบนซีนเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ 0.3 กรัม ดังนั้นสามารถคำนวณหาผลของ 2,4-ไดไนโตรโบรมเบนซีน ทางทฤษฎีได้ดังนี้

$$\frac{\text{โมลโบรมเบนซีน}}{\text{โมล 2,4-ไดไนโตรโบรมเบนซีน}} = \frac{1}{1}$$

$$\text{โมลโบรมเบนซีน} = \text{โมล 2,4-ไดไนโตรโบรมเบนซีน}$$

$$\frac{0.3}{157} = \frac{x}{247}$$

$$x = 0.472 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นผลได้ทางทฤษฎี ของ 2,4-ไดไนโตรโบรมเบนซีน จึงเท่ากับ 0.472 กรัม

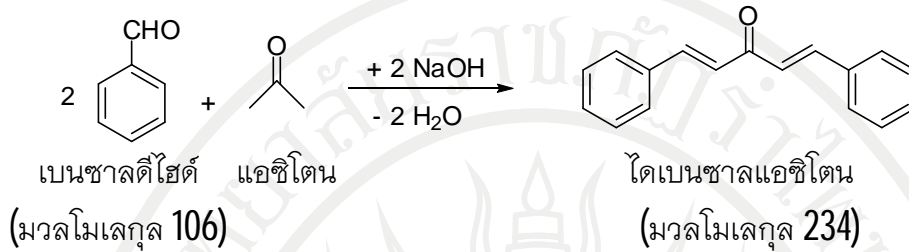
ถ้ากำหนดให้ ผลได้จริงเท่ากับ A กรัม ร้อยละผลผลิตเป็นดังนี้

$$\text{ร้อยละของผลผลิต} = \frac{\text{ผลได้จริง}}{\text{ผลได้ทฤษฎี}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละของผลผลิต} = \frac{A}{0.472} \times 100$$

เฉลยปฏิบัติการที่ 4.1

การคำนวณร้อยละผลผลิตของไดเบนซาลแอซีโตน



การทดลองใช้เบนซาลดีไฮด์เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ 0.9 กรัม ดังนั้นสามารถคำนวณหาผลของไดเบนซาลแอซีโตนทางทฤษฎีได้ดังนี้

$$\frac{\text{โมลเบนซาลดีไฮด์}}{\text{โมลไดเบนซาลดีไฮด์}} = \frac{2}{1}$$

$$\text{โมลเบนซาลดีไฮด์} = 2 (\text{โมลไดเบนซาลดีไฮด์})$$

$$\frac{0.9}{106} = \frac{2x}{234}$$

$$x = 0.993 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นผลได้ทางทฤษฎีของไดเบนซาลแอซีโตนจึงเท่ากับ 0.993 กรัม

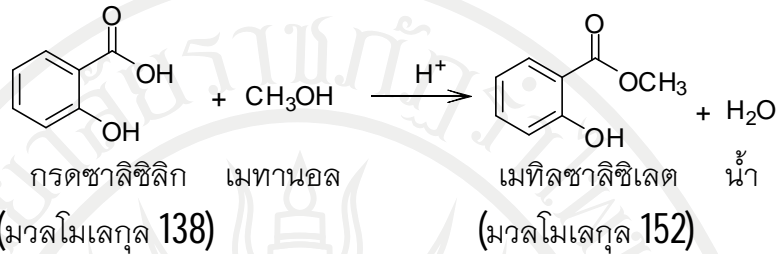
ถ้ากำหนดให้ ผลได้จริงเท่ากับ A กรัม ร้อยละผลผลิตเป็นดังนี้

$$\text{ร้อยละของผลผลิต} = \frac{\text{ผลได้จริง}}{\text{ผลได้ทฤษฎี}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละของผลผลิต} = \frac{A}{0.993} \times 100$$

เฉลยปฏิบัติการที่ 4.2

การคำนวณร้อยละผลผลิตของเมทิลซาลิซิลเลต



การทดลองใช้กรดซาลิซิลิกเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ 0.05 โมล ดังนั้นสามารถคำนวณหามวลของเมทิลซาลิซิลเลตทางทฤษฎีได้ดังนี้

$$\frac{\text{โมลกรดซาลิซิลิก}}{\text{โมลเมทิลซาลิซิลเลต}} = \frac{1}{1}$$

$$\text{โมลกรดซาลิซิลิก} = \text{โมลเมทิลซาลิซิลเลต}$$

$$0.05 = \frac{x}{152}$$

$$x = 7.60 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นผลได้ทางทฤษฎีของเมทิลซาลิซิลเลตจึงเท่ากับ 7.60 กรัม

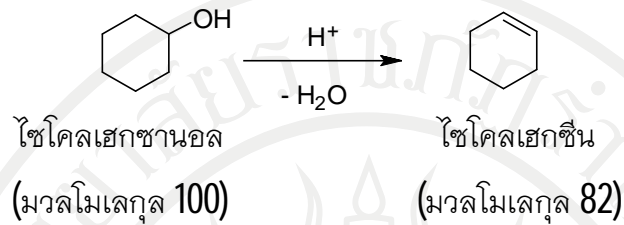
ถ้ากำหนดให้ ผลได้จริงเท่ากับ A กรัม ร้อยละผลผลิตเป็นดังนี้

$$\text{ร้อยละของผลผลิต} = \frac{\text{ผลได้จริง}}{\text{ผลได้ทฤษฎี}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละของผลผลิต} = \frac{A}{7.60} \times 100$$

เฉลยปฏิบัติการที่ 5.1

การคำนวณร้อยละผลผลิตของไซโคลเฮกซีน



การทดลองใช้ไซโคลเฮกซานอลเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ 10 กรัม ดังนั้นสามารถคำนวณหามวลของไซโคลเฮกซีนทางทฤษฎีได้ดังนี้

$$\frac{\text{โมลไซโคลเฮกซานอล}}{\text{โมลไซโคลเฮกซีน}} = \frac{1}{1}$$

$$\text{โมลไซโคลเฮกซานอล} = \text{โมลไซโคลเฮกซีน}$$

$$\frac{10}{100} = \frac{x}{82}$$

$$x = 8.20 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นผลได้ทางทฤษฎีของไซโคลเฮกซีนจึงเท่ากับ 8.20 กรัม

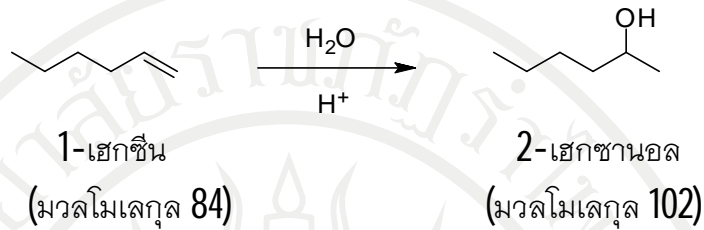
ถ้ากำหนดให้ ผลได้จริงเท่ากับ A กรัม ร้อยละผลผลิตเป็นดังนี้

$$\text{ร้อยละของผลผลิต} = \frac{\text{ผลได้จริง}}{\text{ผลได้ทฤษฎี}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละของผลผลิต} = \frac{A}{8.20} \times 100$$

เฉลยปฏิบัติการที่ 6.1

การคำนวณร้อยละผลผลิตของ 2-เฮกซานอล



การทดลองใช้ 1-เฮกซีน เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ 5 มิลลิลิตร โดย 1-เฮกซีน มีความหนาแน่น 0.67 กรัมต่อมิลลิลิตร ดังนั้นสามารถคำนวณหามวล 2-เฮกซานอล ทางทฤษฎีได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \frac{\text{โมล 1-เฮกซีน}}{\text{โมล 2-เฮกซานอล}} &= \frac{1}{1} \\
 \text{โมล 1-เฮกซีน} &= \text{โมล 2-เฮกซานอล} \\
 \frac{5(0.67)}{100} &= \frac{x}{102}
 \end{aligned}$$

$$x = 3.42 \text{ กรัม}$$

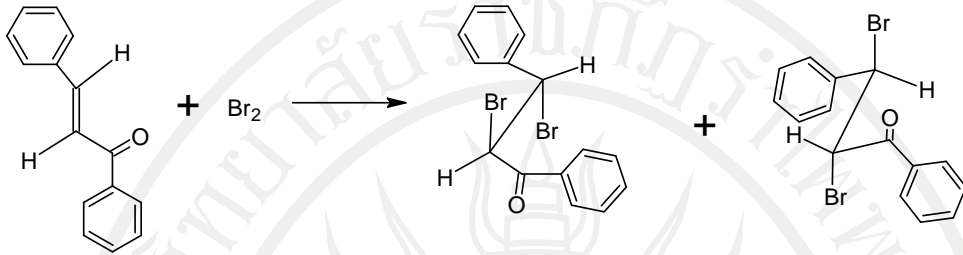
ดังนั้นผลได้ทางทฤษฎีของ 2-เฮกซานอล จึงเท่ากับ 3.42 กรัม

ถ้ากำหนดให้ ผลได้จริงเท่ากับ A กรัม ร้อยละผลผลิตเป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ร้อยละของผลผลิต} &= \frac{\text{ผลได้จริง}}{\text{ผลได้ทฤษฎี}} \times 100 \\
 \text{ร้อยละของผลผลิต} &= \frac{A}{3.42} \times 100
 \end{aligned}$$

เฉลยปฏิบัติการที่ 6.2

การคำนวณร้อยละผลผลิตของ α,β -ไดโบรมิเบนซาลแอซิโตฟีโนน



เบนซาลแอซิโตฟีโนน

(มวลโมเลกุล 208)

α,β -ไดโบรมิเบนซาลแอซิโตฟีโนน

(มวลโมเลกุล 368)

การทดลองใช้เบนซาลแอซิโตฟีโนนเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ 1 กรัม ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหามวล α,β -ไดโบรมิเบนซาลแอซิโตฟีโนนทางทฤษฎีได้ดังนี้

$$\frac{\text{โมลเบนซาลแอซิโตฟีโนน}}{\text{โมล } \alpha,\beta\text{-ไดโบรมิเบนซาลแอซิโตฟีโนน}} = \frac{1}{1}$$

โมลเบนซาลแอซิโตฟีโนน = โมล α,β -ไดโบรมิเบนซาลแอซิโตฟีโนน

$$\frac{1}{208} = \frac{x}{368}$$

$$x = 1.77 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นผลได้ทางทฤษฎีของ α,β -ไดโบรมิเบนซาลแอซิโตฟีโนน จึงเท่ากับ 1.77 กรัม

ถ้ากำหนดให้ ผลได้จริงเท่ากับ A กรัม ร้อยละผลผลิตเป็นดังนี้

$$\text{ร้อยละของผลผลิต} = \frac{\text{ผลได้จริง}}{\text{ผลได้ทฤษฎี}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละของผลผลิต} = \frac{A}{1.77} \times 100$$