

รายงานการวิจัย
การวิจัยเพื่อพัฒนาชุดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1
THE RESEARCH FOR DEVELOPING THE MODULES
ON ORGANIC CHEMISTRY LABORATORY I

โดย
รศ.กุลยา จันทร์อรุณ
ผศ.ดร.ธงชัย เครื่องหงษ์

ฝ่ายวิจัยและพัฒนาหลักสูตร โครงการ พวส.
สำนักงานสภาพัฒนาบ้านราชภัฏ

2544

งานวิจัยนี้

ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาการเรียนการสอน
วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ในสถาบันราชภัฏ
ประจำปีงบประมาณ 2544

ชื่อเรื่อง	การวิจัยเพื่อพัฒนาชุดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1		
ผู้วิจัย	รศ.กุลยา จันทร์อรุณ	สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม	
	ผศ.ดร.ธงชัย เครือหงษ์	สถาบันราชภัฏสุราษฎร์ธานี	
สาขาวิชา	เคมี		
ปีที่ทำการวิจัย	2544		

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดเพื่อการพัฒนาการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1 ที่เน้นการเรียนแบบ Laboratory approach และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ คณะผู้วิจัยได้ทำการสร้างชุดการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์จำนวน 6 ชุด เนื้อหาของชุดการเรียนสอดคล้องกับหลักสูตรสถาบันราชภัฏ พุทธศึกษา 2543 ในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1 ประจำภาคฤดูตัวอย่างที่ใช้ศึกษาเป็นนักศึกษาสถาบันราชภัฏจำนวนทั้งสิ้น 508 คน การวิจัยได้ดำเนินการเป็นขั้นตอนตามหลักการวิธีการและเทคนิคต่าง ๆ ในการสร้างบทเรียนและกิจกรรมการเรียนการสอนแบบชุดวิชา แบบแผนการวิจัยที่ใช้คือ Pretest – Posttest Design และใช้แบบวัดเจตคติการวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window 98

ผลการวิจัยพบว่า_nักศึกษาสถาบันราชภัฏมีเจตคติที่ดีต่อชุดการเรียนทุกชุด และในทุก ๆ ด้าน เช่น ด้านวัตถุประสงค์ เนื้อหา ความชัดเจน ความยากง่าย การทำให้เกิดการเรียนรู้อย่างใช้เหตุผลและความคิด การใช้เครื่องมือและการได้ทำการทดลองด้วยตนเองทุกขั้นตอน ซึ่งการเรียนการสอนโดยใช้ชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้นทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ มีเจตคติ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และมีความชำนาญในการใช้เครื่องมือสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิตिในระดับ $P < .01$

Research Title	The Research for Developing the modules on Organic Chemistry Laboratory I
Author	Assoc. Prof. Kulaya Junarun Asst. Prof. Tongchai Kourhong
Field	Chemistry
Research Year	2001

Abstract

The purposes of this research are to construct Chemistry Laboratory modules emphasizing on laboratory approach and scientific skills of undergraduate science students of Rajabhat Institutes. Six modules have been constructed. The topic and the content of all modules corresponded to the Rajabhat Institute Curriculum 2000 on Chemistry Laboratory I. Population in this study were Rajabhat Instituted students. They were 508 students. Pretest – Posttest designed using attitude questionaires were the research tools of this study. The data were analyzed using SPSS for window 98

The study showed that students obtained positive attitudes towards the objectives and the content of all 6 modules. They achieved logical thinking upon learning all modules. All modules have provided students opportunities to use scientific equipments. They have gained higher knowledge and better laboratory skills from learning all the modules at the level of statistically significant $P < .01$.

คำนำ

รายงานการวิจัยเรื่องการสร้างชุดเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมี ชั้นที่ ๑ ที่คณะผู้วิจัยได้สร้างขึ้นประกอบด้วย บทเรียนสำเร็จชุด ๖ ชุด ที่มุ่งเน้นให้กับศึกษาได้ศึกษา และลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง โดยเน้นการเรียนแบบ Laboratory approach และทำให้เกิด ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทำให้ผู้เรียนมีเจตคติและกระบวนการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการทาง วิทยาศาสตร์ มีความชำนาญและเชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ คณะผู้วิจัยประกอบ ด้วย รศ. ฤลยา จันทรอรุณ อาจารย์ปρограмวิชาเคมี สถาบันราชภัฏพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก พศ.๒๕๖๗ เครื่องหงษ์ อาจารย์ป्रограмวิชาเคมี สถาบันราชภัฏสุราษฎร์ธานี และผศ.ดร.อุมา ประวัติ ได้กรุณาเขียนและเรียบเรียงบทปρบัติการเรื่อง การสกัดสารโดยเทคนิค TLC และการสกัดพืช สมุนไพรด้วยไอน้ำในชุดการเรียนที่ ๓ นักศึกษาจะถูกฝึกอบรมด้วยที่ใช้ในการทดลอง คือ นักศึกษา โปรแกรมวิชาเคมี สถาบันราชภัฏพิษณุโลก สถาบันราชภัฏสุราษฎร์ธานี คณะผู้วิจัยหวังเป็น อย่างยิ่งว่างานวิจัยดังกล่าวจะใช้เป็นประโยชน์ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีในสถาบันราชภัฏทั้ง ๔๑ แห่งได้เป็นอย่างดี

คณะผู้วิจัย

20 ก.ย. 45

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการสร้างชุดเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ สำเร็จได้ เพราะได้รับความกรุณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญหลายสาขาดังรายนามต่อไปนี้ ผศ.ดร.วิชัย ใจวิสุทธิ์บรรษา ผศ.ดร.อุมา ประวัติ ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านเนื้อหาของชุดบทเรียนสำเร็จชูป ศ.ดร.ชัยยงค์ พรมวงศ์ ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านการวิจัยทางการศึกษา รศ.นุญรักษ์ ตันเจริญรัตน์ และ ผศ.เทคโนโลยี จันทรอุณ ทางด้านสถิติและวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร.อุไรวรรณ วิจารณกุล คุณศศิธิดา ชัยคำมาตย์ ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือให้งานวิจัยดำเนินไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สำนักงานสภาพัฒนาบ้านราชภัฏที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในครั้งนี้ และนักศึกษาชั้นปีแรกกรมวิชาเคมีสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม สถาบันราชภัฏสุราษฎร์ธานี และสถาบันราชภัฏภูเก็ต ที่ได้มีส่วนร่วมในงานวิจัยครั้งนี้ และ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุมา ประวัติ ที่ได้กรุณาให้บทปฏิบัติการทดลองเรื่องการสกัดพืชสมุนไพรด้วย ไอน้ำและเรื่องการแยกสารด้วยเทคนิค Thin - Layer Chromatography, Column Chromatography

คณะผู้วิจัย

20 ก.ย.45

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

Abstract

คำนำ

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญ

ก

สารบัญรูป

ค

สารบัญตาราง

ง

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

1

1.2 วิชาเคมี

1

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

3

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

3

1.6 กรอบแนวคิดและขั้นตอนในการวิจัย

3

1.7 สมมติฐานในการวิจัย

4

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5

2.1 การสอนแบบปฏิบัติการ

5

2.2 ชุดการเรียนหรือโมดูล

7

2.3 การสร้างบทเรียนโมดูล

9

2.4 การสร้างชุดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์

12

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

14

3.1 องค์ประกอบของชุดบทเรียนแบบสำเร็จรูป

14

3.2 แบบแผนการทดลองและกลุ่มทดลอง

17

3.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

18

3.4 เครื่องมือและการรวมความรู้มูลในการดำเนินการทดลอง

18

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

18

บทที่ 4 ผลการวิจัย	20
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ	39
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก ก. การคำนวณหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ	
ภาคผนวก ข. เครื่องมือวิจัย	
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างชุดบทเรียนสำเร็จรูปและคู่มือครุ	
ประวัติผู้วิจัย	

สารบัญ

หน้า

รูปที่ 1.1 แผนผังโครงสร้างหลักสูตรสถาบันราชภัฏสาขาวิทยาศาสตร์	2
รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการวิจัย	4

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 ชื่อชุดการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ ผู้สร้างและสถาบันการศึกษา	16
3.2 แบบแผนการทดลอง	17
4.1 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเขตคติของผู้เรียนต่อวัตถุประสงค์ ของชุดการเรียน	20
4.2 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเขตคติของผู้เรียนต่อความชัดเจน ของขั้นตอนในการใช้ชุดการเรียน	21
4.3 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเขตคติของผู้เรียนต่อโอกาสการใช้ เครื่องมือในการใช้ชุดการเรียน	22
4.4 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเขตคติของผู้เรียนต่อความสนุก เพลิดเพลินในการใช้ชุดการเรียน	23
4.5 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเขตคติของผู้เรียนต่อการเรียนรู้ โดยใช้ความคิดและเหตุผลของชุดการเรียน	24
4.6 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเขตคติของผู้เรียนต่อวิธีการนำเสนอ เนื้อหาของชุดการเรียนในด้านความง่าย กระชับ และความชัดเจน	25
4.7 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเขตคติของผู้เรียนต่อความเข้าใจ เนื้อหาของชุดการเรียน	26
4.8 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเขตคติของผู้เรียนต่อความยากง่าย ของเนื้อหาของชุดการเรียน	27
4.9 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเขตคติของผู้เรียนต่อความยาว ของเนื้อหาของชุดการเรียน	28
4.10 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเขตคติของผู้เรียนต่อความยาก ของศัพท์ที่ใช้ในชุดการเรียน	29
4.11 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเขตคติของผู้เรียนต่อรูปภาพ ประกอบในชุดการเรียนที่ทำให้เกิดความเข้าใจชุดการเรียน	30
4.12 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเขตคติของผู้เรียนต่อคำถ้า ของชุดการเรียนและความสามารถตอบคำถามในชุดการเรียน	31

หน้า

4.13 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อคำสั่ง หรือคำชี้แจงในใบงานและความสามารถในการปฏิบัติตามคำสั่งหรือคำชี้แจง ในใบงานของชุดการเรียน	32
4.14 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อเวลาที่กำหนด ของชุดการเรียน	33
4.15 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อแบบบัวดผล ของชุดการเรียน	34
4.16 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า t ของผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษา ก่อนและหลังการใช้ชุดการเรียน	36
4.17 ค่าประสิทธิภาพและความก้าวหน้าในการใช้ชุดการเรียน	37

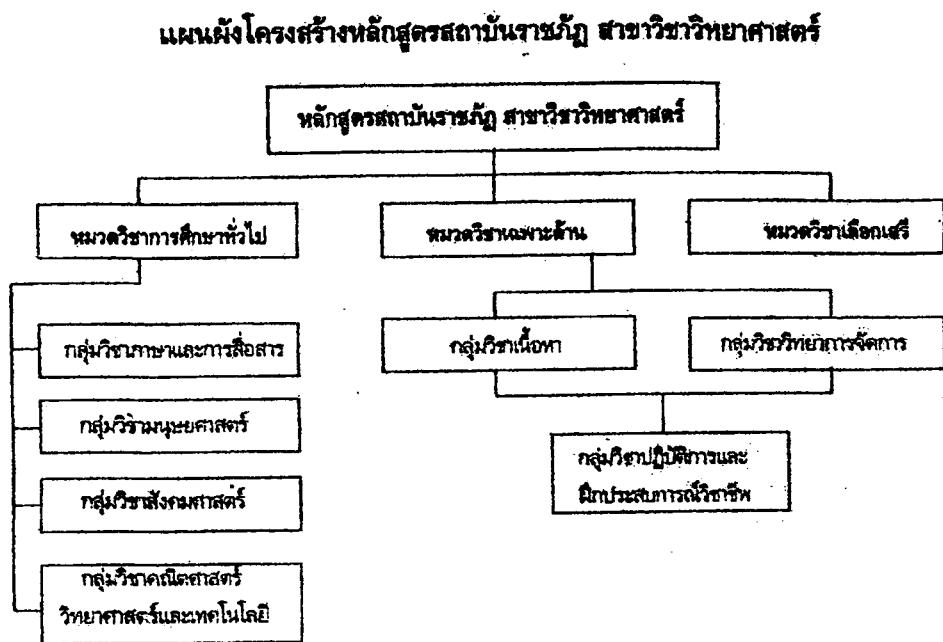
บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การเรียนการสอนในสาขาวิชาเคมีอินทรีย์นั้น การปฏิบัติการทดลองนับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เป็นพื้นฐานในการเรียนวิชาเคมีอินทรีย์และเป็นแนวทางปัจจุบันให้นักศึกษาสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองจากการทดลอง การเรียนการสอนในสาขาวิชาเคมีนั้น การปฏิบัติการทดลองนับว่ามีความสำคัญมากจนอาจจะกล่าวได้ว่าเป็นหัวใจของการเรียนรู้ก็ได้ ดังนั้นการเรียนการสอนโดยการเปิดโอกาสให้นักศึกษาสามารถทำการทดลองได้ด้วยตนเอง โดยการใช้ชุดการเรียนการสอน ซึ่งประกอบด้วยบทเรียน สำเร็จรูป (Module) ชุดปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ ซึ่งนับเป็นการเรียนรู้แบบ Laboratory approach ซึ่งจัดเป็นวิธีการสอนวิทยาศาสตร์ที่สุดวิธีหนึ่ง ที่จะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ด้วยตนเองแบบสมบูรณ์แบบ ทั้งทางด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เจตคติทางวิทยาศาสตร์ ความคิดรวบยอดและการแก้ปัญหา โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific method) ในสาขาวิชาเคมีอินทรีย์นั้น การเรียนการสอนโดยวิธีการบรรยายโดยที่ผู้เรียนไม่ได้ปฏิบัติการทดลองเอง ถึงแม้ว่าผู้เรียนจะเกิดความคิดรวบยอดในเนื้อหาวิชาที่เรียน แต่อาจจะขาดทักษะทางด้านปฏิบัติการ ทำให้การพัฒนาการทางด้านการเรียนรู้ไม่สมบูรณ์แบบ ไม่ครบถ้วนและขาดทักษะความชำนาญทางด้านการเรียนรู้จากการทดลองและค้นคว้าด้วยตนเอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการวิจัยเรื่องการวิจัยเพื่อพัฒนาชุดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1 (The Research for Developing on Organic Chemistry Laboratory 1) ซึ่งเป็นชุดการเรียนแบบบทเรียนสำเร็จรูป เพื่อนำไปใช้ในการสอนได้โดยทันที ซึ่งจากการปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง โดยการวิจัยเพื่อหาแนวทางพัฒนาการเรียนการสอนภาคปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1 ผู้วิจัยมุ่งเน้นการสร้างชุดการเรียนแบบสำเร็จรูป เพื่อให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการทางด้านการเรียนให้นักศึกษาเกิดการพัฒนาได้ผลสมบูรณ์แบบทางด้านการเรียนรู้ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น

1.2 วิชาเคมี โดยเฉพาะวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1

ตามหลักสูตรสถาบันราชภัฏธนศักดิ์ฯ 2543 สาขาวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยหมวดวิชาและกลุ่มวิชาดังแผนภูมิรูปที่ 1.1 วิชาเคมีจัดอยู่ในหมวดวิชาเฉพาะด้าน กลุ่มวิชาเนื้อน้ำซึ่งวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1 รหัสวิชา 4022308 เป็นวิชาที่บังคับเรียนในโปรแกรมวิชาต่าง ๆ ดังนี้ โปรแกรมวิชาเคมี โปรแกรมวิชาเคมีปฏิบัติ โปรแกรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีการเกษตร



รูปที่ 1.1 แผนผังโครงสร้างหลักสูตรสถาบันราชภัฏ สาขาวิชาพิทยาศาสตร์ (หลักสูตรสถาบันราชภัฏ, 2543)

คำอธิบายรายวิชา ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ I (Organic chemistry laboratory I) รหัสวิชา 4022308 รายละเอียดคำอธิบายรายวิชาดังนี้

คำอธิบายรายวิชา

เทคนิคเบื้องต้นในการทำสารให้บริสุทธิ์ เช่น การสกัด การกรอง การกรอง การแยกผลลัพธ์ และโครงการที่ ปฏิบัติการเกี่ยวกับสเตรอิโลเคมี การวิเคราะห์สารอินทรีย์เบื้องต้น การหาธาตุองค์ประกอบในสารอินทรีย์ ทดสอบหมุนพังค์ชัน การเตรียมอนุพันธ์ของสารอินทรีย์

(สำนักมาตรฐานการศึกษา สำนักงานสถาบันราชภัฏ, 2543)

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสร้างชุดการเรียนการสอน บทเรียนสำเร็จวุฒิวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1 ซึ่งประกอบด้วย บทเรียนสำเร็จวุฒิพร้อมคู่มือครุ 6 ชุด ที่ให้นักศึกษาเรียนด้วยตนเอง โดยปฏิบัติการและเน้นการฝึกทักษะและการแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้สอนนักศึกษาในชั้นปีที่ 1 – 2 ในรายวิชาบังคับ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

สร้างชุดการเรียนการสอนบทเรียนสำเร็จรูป 6 ชุดดังนี้

ชุดที่ 1 ตอนที่ 1 การทดลองลึกและการหาจุดหลอมเหลว

ตอนที่ 2 การกลั่นและการหาจุดเดือด

ชุดที่ 2 ตอนที่ 1 การสกัดสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลาย

ตอนที่ 2 การสกัดน้ำมันหอมระ夷จากพืชด้วยไอน้ำ

ชุดที่ 3 การตรวจสอบสารตัวย์เทคนิค Thin – Layer Chromatography, Column Chromatography และแยกสารให้บริสุทธิ์ตัวย์เทคนิค PTLC

ชุดที่ 4 ตอนที่ 1 การตรวจสอบสาร Hydrocarbon

ตอนที่ 2 การตรวจสอบสาร Aldehyde และ Ketone

ชุดที่ 5 ตอนที่ 1 การตรวจสอบสาร Alcohol

ตอนที่ 2 การตรวจสอบ กรรมการบักซิลิกและอะมีน

ชุดที่ 6 การศึกษาเตอริโอะเคมีตัวย์แบบจำลองไม่เกุล

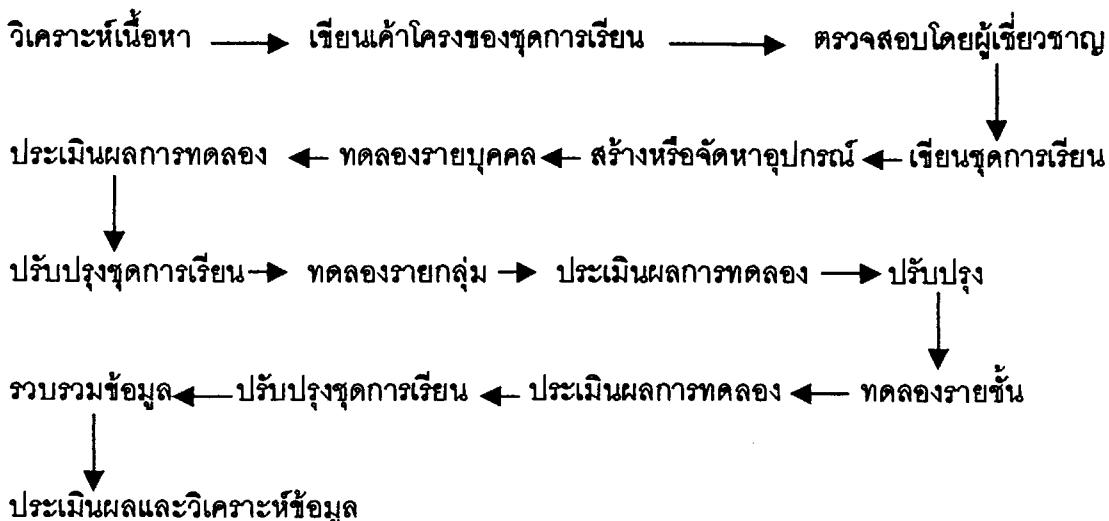
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

การพัฒนาชุดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ ดำเนินการดังนี้

1. สร้างชุดการเรียนการสอน 6 ชุด
2. ทดลองผลสัมฤทธิ์ของชุดการเรียนปฏิบัติการทุกชุด
3. สรุปผลการทดลอง
4. สร้างเอกสารชุดการทดลองแต่ละชุด
5. เผยแพร่ชุดบทเรียนสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นทั้ง 6 ชุด ให้สถาบันราชภัฏทั้ง 41 แห่ง

1.6 กรอบแนวคิดและขั้นตอนในการวิจัย

การดำเนินการวิจัยได้ดำเนินการเป็นระยะต่าง ๆ ดังแผนภูมิ



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการวิจัย

1.7 สมมติฐานในการวิจัย

การเรียนการสอนโดยใช้ชุดการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง (Laboratory approach) จะทำให้ผู้เรียนมีการเรียนรู้ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และมีความเชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น และสามารถทำให้ผู้เรียนเกิดความคิดรวบยอดที่สำคัญทางสาขาวิชาเคมีอินทรีย์ และผู้เรียนมีเจตคติทางบวกต่อการเรียน โดยการทดลองปฏิบัติการ

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ชุดการสอนวิชาปฏิบัติการวิชาเคมีอินทรีย์ จำนวน 6 ชุด
2. เป็นแนวทางการพัฒนาการเรียนการสอนวิชาเคมีอินทรีย์ ของโปรแกรมวิชาเคมี ในสถาบันราชภัฏ
3. เป็นแนวทางที่ฐานในการทำโครงการวิจัยของนักศึกษาและผู้เกี่ยวข้อง นักศึกษามีความสามารถใช้คู่มือทำโครงการวิจัยได้
4. เป็นแนวทางในการวิจัยเพื่อให้บริการทางวิชาการแก่ท้องถิ่น เป็นศูนย์กลางทางการวิจัยเพื่อท้องถิ่นต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้คุณผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นพื้นฐานในการจัดตั้งรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 การสอนแบบปฏิบัติการ (Laboratory approach)

วิธีสอนแบบปฏิบัติการ เป็นวิธีหนึ่งที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการปฏิบัติกิจกรรมการเรียนการทดลองด้วยตนเองมากที่สุด ครูเปลี่ยนบทบาทจากผู้บอกมาเป็นผู้จัดสถานการณ์สื่อการเรียนการสอนและให้คำแนะนำ จัดการเรียนการสอน โดยเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ผู้เรียนเป็นผู้กระทำการทดลอง เป็นผู้แก้ปัญหา เป็นผู้ค้นคว้าแลกเปลี่ยนประสบการณ์ซึ่งกันและกัน ช่วยเหลือกันทำงานมากขึ้น การสอนแบบปฏิบัติการเป็นการสอนที่เกิดจากแนวคิดที่ว่า การเรียนรู้เรื่องใดเรื่องหนึ่งนั้น ถ้าจะให้รู้จริงต้องลงมือปฏิบัติจริง ถ้าผู้เรียนเรียนโดยการทำจริง ปฏิบัติจริง ศึกษาและสรุปภูมิปัญญาที่ได้จากการทดลอง จะทำให้ผู้เรียนเข้าใจข้อสรุปเรื่องนั้นสามารถถ่ายโอนความรู้นั้นไปใช้ในสถานการณ์อื่นได้ และสามารถได้ความคิดรวบยอดหรือนลักษณะสำคัญของเรื่องนั้น ๆ เจอร์โรม บ魯內อร์ (Jerome Bruner) ให้แนวคิดเกี่ยวกับการสอนให้เกิดการเรียนรู้ ต้องให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ กระบวนการ (อุไรวรรณ วิจารณกุลและคณะ, 2543)

วิธีสอนแบบปฏิบัติการเป็นวิธีการสอนที่พัฒนามาจากความคิดและผลงานของนักการศึกษาในอดีตเช่น มนต์เตซอรี่ (Montessori) เกตเทเกโน (Gattegno) เพสตาโลซzi (Pestalozzi) ดีนส์ (Dienes) และดิวอีย์ (Dewey) การเรียนรู้เกิดจากการปฏิบัติจริง การสอนแบบปฏิบัติการได้ถูกนำไปใช้สอนในระดับประถมศึกษาในประเทศไทย โดยได้รับการสนับสนุนจากมูลนิธินฟิลด์ (Nuffield Foundation) ซึ่งนำโดยอิดิธบิกก์ (Edith Biggs) ในประเทศไทยสรุปเมริการและแนะนำด้านนักออกแบบ คิดด์ (Kenneth Kidd) วิลเลียม ฟิตเชอร์ (William Fitzgerald) เดวิด คลากสัน (David Clarkson) เป็นผู้เผยแพร่วิธีการนี้ โดยมีความเชื่อมั่นว่า การสอนแบบปฏิบัติการจะเป็นวิธีการที่ดีที่จะนำไปให้นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหา (ลาวัลย์ พลกัลยา, 2523) การสอนแบบปฏิบัติการเริ่มใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์ในการทดลองใช้สารเคมีเพื่อตรวจสอบวิเคราะห์ จนกลายมาเป็นวิธีสอนที่สำคัญการทดลองโดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ

กัญจนา เกียรติประวัติ (2526) กล่าวว่า วิธีสอนแบบปฏิบัติการหมายถึงกระบวนการสอนที่ใช้ประสบการณ์ตรงเพื่อให้ได้ผล หรือข้อเท็จจริงจากการสังเกต และการทดลองเป็นรายบุคคล รือกลุ่ม

ลาวัลย์ พลกล้า (2523) การสอนแบบปฎิบัติการเป็นวิธีการสอนที่ผู้เรียนได้เรียนจาก การปฏิบัติจริง เป็นการเรียนจากประสบการณ์ตรง นักเรียนได้ทดลองปฏิบัติ เสาหนาข้อมูล ค้นหาวิธี การและกระบวนการด้วยตนเอง การสอนแบบปฎิบัติการมีลักษณะสำคัญ ให้วัสดุอุปกรณ์ที่เป็น ป้องกัน มีการจัดบันทึกข้อมูล ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ทั้งหมด นักเรียนเป็นผู้กระทำ สัง สริมปฏิสัมพันธ์ นักเรียนเรียนตามความสามารถ สังเสริมความคิดสร้างสรรค์ การเรียนการสอนที่ยึดผู้ รียนเป็นศูนย์กลาง นักเรียนมีหน้าที่ในการปฏิบัติกรรมที่ครูเสนอแนะไว้ อันนำไปสู่การค้นพบกฎ บุตร ข้อมูลด้วยตนเอง ครูเป็นผู้จัดสื่อการเรียนแนะนำและอำนวยความสะดวกให้

ลาวัลย์ พลกล้า (2523) ได้สรุปคุณค่าของการสอนแบบปฎิบัติการไว้ดังนี้

1. ช่วยให้นักเรียนเกิดข้อสรุปในเรื่องนั้น ๆ เกิดจินตนาการและความคิดสร้างสรรค์ใน การหากกระบวนการและวิธีการต่าง ๆ
2. จากกิจกรรมที่ปฏิบัติจริง ทำให้เกิดข้อสรุปในเรื่องนั้น ๆ เกิดความเข้าใจอย่างถ่องแท้ ทำให้เกิดความสามารถในการถ่ายทอดเรียนรู้
3. ผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ผู้เรียนทำกิจกรรมตลอดเวลา
4. การเรียนแบบปฎิบัติการทำให้ผู้เรียนไม่เคร่งเครียด ทำให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดี ต่อวิชาที่เรียน
5. เปิดโอกาสในการนำปัญหาต่าง ๆ มาให้นักเรียนคิด เร้าให้เกิดความกระตือรือร้นในการแก้ปัญหา

ยุพิน พิพิธกุล (2523) 'ได้เสนอข้อดีของวิธีการสอนแบบปฎิบัติการไว้ดังนี้'

1. นักเรียนสนใจเพาะกายได้ทำในสิ่งต่าง ๆ ด้วยตนเอง
2. การเรียนแบบรูปธรรมไปสู่นามธรรม และการเรียนโดยการกระทำ
3. ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาวิชาได้รัดเข้มข้นและสามารถค้นพบความจริงด้วยตนเอง
4. ผู้เรียนมีอิสระในการทำงาน และมีพัฒนาการเป็นรายบุคคล ทำให้เกิดความเชื่อมั่น ในตนเอง
5. ผู้เรียนประสบงานกับและแลกเปลี่ยนความคิดกับเมื่อทดลองเป็นกลุ่ม
6. เมื่อผู้เรียนทดลองแล้วประสบผลสำเร็จทำให้มีกำลังใจในการเรียน
7. ผู้เรียนจะใช้เครื่องมือได้คล่องแคล่วขึ้น เพราะจะต้องจับเครื่องมือหรือวัสดุ
8. ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาวิชาบางเรื่องได้ดีที่สุดจากการเรียนปฎิบัติการ

ในการวางแผนการสอนแบบปฎิบัติการ เริ่มต้นด้วยการเลือกเนื้อหาที่จะสอน กำหนด ความสามารถที่ต้องการฝึก กำหนดสื่อการเรียนการสอน การจัดการ การรายงานผล และการประเมิน ล วิธีการสอนแบบปฎิบัติการต้องอาศัยสื่อการเรียนการสอนเป็นหลัก ได้แก่ บทเรียนปฎิบัติการ

(Laboratory lesson) เป็นสื่อการเรียนที่ให้ผู้เรียนได้เรียนตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนต้องทำตามข้อปฏิบัติ (Laboratory direction) แล้วสรุปนาข้อเท็จจริง สูตร กฎเกณฑ์ต่าง จากข้อมูลเหล่านั้น ด้วยตนเอง

2.2 ชุดการเรียนหรือโมดูล (Instructional Module)

ในด้านความหมายของโมดูล ลอเรนซ์ (Lawrence, 1973) ได้ให้ความหมายของโมดูลว่า โมดูล คือหน่วยการสอนที่มีเนื้อหาจบในตัวเอง สร้างขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนเองมากกว่าจะให้ครู โมดูล ประกอบด้วยสื่อการเรียนและกระบวนการที่จะถ่ายทอดเรื่องราวอย่างได้อย่างหนึ่ง

พาร์สันและคณะ (Parson and others, 1976) ให้ความหมายว่าบทเรียนโมดูลเป็นบทเรียนที่นักเรียนสามารถเรียนเองได้เรื่องหนึ่งได้ด้วยตนเองอย่างสะดวกตามความสามารถของตนเอง จะใช้เรียนเป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่มก็ได้

เสาวนีย์ สิกขานันทิต (2528 : 18) ได้สรุปไว้ว่า บทเรียนโมดูล หมายถึง หน่วยการเรียน การสอนสำเร็จภายในตัวเอง ผู้เรียนไม่จำเป็นต้องไปศึกษาค้นคว้าจากที่อื่นอีก ในบทเรียนโมดูลแต่ละหน่วยจะมีคำแนะนำๆ มุ่งหมาย การทดสอบก่อนการเรียน กิจกรรมการเรียนและทดสอบหลังการเรียน

เสาวนีย์ สิกขานันทิต (2528 : 9 – 10) ได้กล่าวไว้ว่า อาเรนส์และคณะได้เสนอรูปแบบของบทเรียนโมดูลว่ามีส่วนสำคัญ 7 ประการด้วยกัน

1. หลักการและเหตุผล (Rationale)
2. จุดมุ่งหมาย (Objectives)
3. ความรู้ที่ต้องมี (Pre – requisite)
4. การประเมินผลเบื้องต้น (Pre – assessment)
5. กิจกรรมการเรียน (Instructional alternatives)
6. การประเมินผลหลังเรียน (Post – assessment)
7. การเรียนซ่อมเสริม (Remediation)

ปัยพันธ์ คุหาร่องรอง (2529 : 7) ได้กล่าวไว้ว่าในวิทยานิพนธ์ลักษณะวิญญาคุรุศาสตร์ อุตสาหกรรมมหาบัณฑิตของเขาว่า เขายังคงและคณะได้กล่าวว่า โมดูลอาจสร้างขึ้นได้หลายแบบต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับภาระที่ต้องการนำไปใช้ ลักษณะของผู้เรียน วัตถุประสงค์ของผู้สอนเป็นต้น แต่โดยทั่วไปแล้ว โมดูลจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ 5 ส่วนด้วยกันคือ

1. บทนำ (Introduction or prospectus)
2. วัตถุประสงค์เฉพาะ (Specific objectives)
3. การทดสอบก่อนเรียน (Pre – assessment)

4. กิจกรรมการเรียน (Enabling activities)
5. การทดสอบหลังเรียน (Post - assessment)

ส่วนรูปแบบของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีพันที่ ศูนยาเรื่องรอง

2529 : 8) ได้กล่าวไว้ว่า ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 6 ส่วน คือ

1. หน่วยการเรียนที่ ชื่อ สาขาวิชา
2. บทนำ
3. วัตถุประสงค์
4. การประเมินผลก่อนการเรียน
5. กิจกรรมการเรียน
6. การประเมินผลหลังการเรียน

โดยสรุปบทเรียนไม่คุณทั่ว ๆ ไป จะประกอบด้วยอย่างน้อย 5 ส่วนคือ

1. คำนำหรือคำอธิบาย เป็นส่วนที่จะอธิบายถึงความสำคัญของบทเรียน ขอบข่ายของบทเรียน ซึ่งที่ผู้เรียนจะได้เรียนรู้
2. วัตถุประสงค์ เป็นส่วนที่กำหนดว่าผู้เรียนจะประสบผลสำเร็จอะไรบ้าง จากที่ได้เรียน บทเรียนไม่คุณนี้แล้ว
3. การประเมินผลเบื้องต้น เพื่อวัดและประเมินผลใน 2 วัตถุประสงค์ด้วยกันคือ
 - 3.1 วัดและประเมินผลเพื่อคุณว่าผู้เรียนมีความรู้พื้นฐานในสิ่งที่จะเรียนแล้วหรือยัง ถ้า เนื้อหาในบทเรียนไม่คุณไม่จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานมาก่อน ก็ไม่ต้องทำภาควัด
 - 3.2 วัดและประเมินผลเพื่อคุณว่านักเรียนมีความรู้และความสามารถในวัตถุประสงค์ที่ ระบุไว้ในบทเรียนไม่คุณหรือไม่เพียงใด หรือผู้เรียนควรจะเข้าร่วมในกิจกรรมการเรียนบางอย่างสำหรับสมรรถภาพที่หมายไว้

การประเมินผลเบื้องต้นอาจจะอยู่ในรูปของการทดสอบข้อเขียนหรือการปฏิบัติงานก็ได้ กรณฑ์ในการประเมินผลอาจจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น วางแผนที่ไว้ร้อยละ 90 ถ้าผู้เรียนได้คะแนน ร้อยละ 90 ขึ้นไป ก็ให้เรียนบทเรียนไม่คุณอีกครั้งหนึ่ง

4. กิจกรรมการเรียน เป็นส่วนที่จะกำหนดงานให้ผู้เรียนกระทำเพื่อช่วยให้เกิดการเรียนรู้และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้
5. การประเมินผลหลังการเรียน เป็นส่วนที่ประเมินความสามารถขั้นการเรียนรู้ของผู้เรียน หลังจากที่ได้เรียนบทเรียนไม่คุณแล้ว วิธีการประเมินหลังการเรียนอาจจะแตกต่างกันได้หลายอย่าง เช่นเดียวกับการประเมินผลก่อนเรียน เกณฑ์ในการประเมินผลอาจ

จะคิดเป็นเบอร์เร็นต์ เช่น วางแผนที่ไว้ร้อยละ 90 ถ้าผู้เรียนทำแบบฝึกหัดได้ถึงเกณฑ์ที่วางแผนไว้ให้ไปเรียนบทเรียนไม่ดูลื่นต่อไป

2.3 การสร้างบทเรียนไม่ดูล

สาวนีย์ ลักษบัณฑิต (2528, 35 – 38, 54 – 56) ได้กล่าวว่า ในการสร้างบทเรียนไม่ดูล APEID ได้กล่าวไว้ว่ามี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นการวางแผน ในขั้นนี้ได้กำหนดรายละเอียดดังนี้
 - 1.1 ต้องพิจารณาว่าผู้ใช้บทเรียนไม่ดูลคือใคร
 - 1.2 ต้องพิจารณาเนื้อเรื่องหรือเนื้อหาของบทเรียนไม่ดูลนั้นว่า เป็นเรื่องอะไร จะเรียนอย่างไร ใช้งบประมาณอย่างไร บุคลากรที่จะร่วมด้วยมีใครบ้าง ควรจัดวางแผนให้เหมาะสมและให้มีการยึดหยุ่นได้
2. ขั้นการเขียนต้นร่าง จะต้องตั้งวัตถุประสงค์ของบทเรียนไม่ดูลและคำนึงถึงสิ่งที่เป็นความรู้พื้นฐานที่ผู้เรียนน่าจะรู้มาก่อนที่จะเรียนบทเรียนไม่ดูลนั้น ภาษาที่ใช้ต้องให้ขัดเจนถูกต้องและอ่านเข้าใจง่าย คำสั่งหรือคำแนะนำควรแจ่มชัด เสียงให้ถูกต้องตามรูปแบบ และส่วนประกอบของบทเรียนไม่ดูล
3. ขั้นทบทวน ในขั้นนี้จะพิมพ์ต้นฉบับ ตรวจสอบความถูกต้องตามรูปแบบของบทเรียนไม่ดูล แก้คำผิดให้ถูกต้อง และพิมพ์ใหม่ ทำสำเนาอย่างน้อย 6 ชุด เพื่อทำการทดลองโดยเก็บตัวต้นฉบับไว้ ทำสำเนา 2 ชุดเก็บไว้เพื่อการแก้ไข อีก 3 ชุดนำไปทดลองกับผู้เรียน เก่ง ปานกลาง อ่อน และปรับปรุงแก้ไขจนเป็นที่พอใจ จึงจะทำการพิมพ์หน่วยบทเรียนไม่ดูลนั้น

สรุปขั้นตอนในการสร้างบทเรียนไม่ดูล

1. กำหนดผู้เรียนและเลือกหัวเรื่อง
2. เลือกเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับหัวเรื่อง
3. วางแผนในการสร้างบทเรียนไม่ดูล
4. ตั้งจุดมุ่งหมายของบทเรียนไม่ดูลตามความต้องการที่จะให้ผู้เรียนสัมฤทธิ์ผลอะไรบ้าง
5. เลือกกิจกรรมให้ผู้เรียนกระทำเพื่อให้บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่วางแผนไว้
6. กำหนดรูปแบบและส่วนประกอบที่สำคัญของบทเรียนไม่ดูลนั้น
7. จัดทำต้นร่างหน่วยการเรียนการสอน
8. ทบทวนแก้ไข

9. ทดสอบกับผู้เรียนอย่างน้อย 3 คน โดยเลือกนักเรียนที่เรียนเก่ง ปานกลาง อ่อน จากกลุ่มที่จะใช้บทเรียนโนดูลนั้น แล้วปรับปรุงแก้ไข
10. นำไปทดลองอีกครั้ง (อาจเน้นกลุ่มเล็กหรือกลุ่มใหญ่ก็ได้) แล้วปรับปรุงแก้ไข (ถ้ามีข้อบกพร่อง)
11. จัดทำแบบเรียนโนดูลที่สมบูรณ์

การหาประสิทธิภาพของหน่วยบทเรียนโนดูล

รายงานย์ สิกขารักษ์ (2526, 54 – 56) ได้กล่าวถึงการหาประสิทธิภาพของหน่วยบทเรียนโนดูลว่า ก่อนที่จะนำบทเรียนโนดูลไปใช้ควรจะมีการประเมินผลตัวบทเรียนโนดูลนั้นมีคุณภาพเพียงใด โดยการนำหน่วยบทเรียนโนดูลไปทดลองใช้กับคนหลาย ๆ คน หลาย ๆ กลุ่ม เกณฑ์ในการหาประสิทธิภาพของหน่วยบทเรียนโนดูลนั้น อาจกำหนดเป็น 90/90 หรือ 85/85 หรือ 80/80 ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้า

ในการกำหนดค่ามิใช้ตั้งขึ้นมาเองตามความพอใจของผู้สร้างหน่วยบทเรียนโนดูล แต่ควรจะให้เป็นผลจากการทดลองใช้ก่อน โดยปกติวิชาที่เป็นความรู้ ข้อเท็จจริงมักจะตั้งเกณฑ์ไว้ตั้งแต่ 90/90 ขึ้นไป ความหมายของตัวเลขดังกล่าวคือ 90 ตัวแรก เป็นคะแนนที่ได้จากการทำกิจกรรมการเรียนแบบฝึกหัดโดยเฉลี่ยร้อยละ 90 ส่วน 90 ตัวหลัง เป็นคะแนนที่ได้จากการทำแบบประเมินผลหลังการเรียนโดยเฉลี่ยร้อยละ 90

การวิจัยที่เกี่ยวกับบทเรียนโนดูล

การสร้างบทเรียนโนดูล

เตือนใจ รัชอินคำ (2522 : 641) ได้ทดลองสร้างบทเรียนโนดูล เรื่อง การจัดจำพวกพืชสำหรับนักศึกษา ป.กศ.ชั้นสูง เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนโนดูลตามเกณฑ์มาตรฐาน 90/90 ปรากฏว่าบทเรียนโนดูลที่สร้างมีประสิทธิภาพ 90.2/81.1

พวชัย รัตนธรรม (2523 : 35) ได้ทดลองสร้างบทเรียนโนดูล เรื่อง สมดุลของแรงสำหรับการสอนวิชาพิสิกส์ 111 ระดับประกาศนียบัตรวิชาการศึกษาชั้นสูง เพื่อหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 ผลการทดลองปรากฏว่าบทเรียนโนดูลมีประสิทธิภาพ 86.50/78.17

สุนทร อนุเพชร (2527 : 48) ได้ทดลองสร้างและประเมินประสิทธิภาพบทเรียนโนดูล วิชาสังคมศึกษา เรื่อง ประชารัฐกับการอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 และ

เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้บทเรียนโนดูลกับการสอนปกติในโรงเรียนวิชาพิทยา จังหวัดกำแพงเพชร เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนโนดูลตามเกณฑ์มาตรฐาน 90/90 และเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผลปรากฏว่า ประสิทธิภาพของบทเรียนโนดูลเท่ากับ 92.95/83.26 ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนจากการสอนปกติที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในประเทศไทย พบว่า โนดูลที่สร้างขึ้นโดยผู้วิจัยหลาย ๆ ท่านมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่วางไว้ อีกทั้งพบว่าผู้เรียนที่เรียนด้วยบทเรียนโนดูลมีผลสัมฤทธิ์สูงกว่าการเรียนด้วยวิธีอื่น ๆ และยังพบอีกว่าผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียน และยังสามารถลดเวลาในการเรียนได้มากด้วย หากได้มีการส่งเสริมการใช้บทเรียนโนดูลอย่างจริงจัง ย่อมจะเป็นผลดีต่อการศึกษาเป็นส่วนรวม

เยอร์ส (Hurst, 1973 : 1752 – A) ได้ศึกษาผลการใช้โนดูลเกี่ยวกับสมรรถภาพพื้นฐานของครูระดับประถมศึกษา โดยแบ่งนักศึกษาออกเป็น 3 กลุ่ม สอนโดยใช้บทเรียนโนดูลเกี่ยวกับวิธีสืบค้นปัญหา (Probling Inquiry) กลุ่มทดลองที่ 1 สอนนักเรียนเป็นรายบุคคล กลุ่มทดลองที่ 2 สอนนักเรียนเป็นกลุ่ม สนับสนุนควบคุมได้รับการสอนตามปกติในวิชาภาษาศาสตร์และการสอนคณิตศาสตร์ ผลปรากฏว่า กลุ่มทดลองที่สอนนักศึกษาเป็นรายบุคคล โดยใช้บทเรียนโนดูล ใช้เวลาน้อยกว่ากลุ่มทดลองที่สอนนักเรียนเป็นกลุ่มโดยใช้โนดูล แต่คะแนนเฉลี่ยของหัวส่องกลุ่มมีเจตคติที่ดีต่อบทเรียนโนดูล ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับของ ทูดู (Todo, 1973 : 4078 – A) ได้ศึกษาผลการใช้บทเรียนโนดูล ในระดับวิทยาลัย (The College Level) ผลปรากฏว่านักศึกษาที่ได้รับการสอนโดยใช้บทเรียนโนดูลมีความสามารถตามความมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งต่างกับการสอนที่สอนกันอยู่เดิมในวิทยาลัย

เดล (Dale, 1973 : 6481 – A) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ในการเรียนระหว่างการสอนปกติ (Tradition Manner) กับการเรียนโดยใช้โนดูล (Learning Modules) ของนักศึกษาระดับปริญญาตรีที่มหาวิทยาลัยวิสคอนซิน (The University of Wisconsin) ในวิชา Phychology of Experimental Child ปรากฏว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยบทเรียนโนดูลดีกว่านักศึกษาที่เรียนด้วยการสอนปกติ และเจตคติของนักศึกษาที่มีต่อการสอนของอาจารย์โดยใช้การสอนต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

แฮทเชอร์ (Hatcher, 1973 : 4910 – A) ได้ศึกษาการใช้ Audiotutorial Modules ในการเตรียมตัวของอาจารย์ช่วยสอน (Graduate – Assistants) ในวิชา Microbiology โดยใช้วิธีสอน 2

กลุ่ม กลุ่มละ 9 คน กลุ่มนี้ให้ทำการสัมมนาโดยทำงานด้วยไมโครล สรุนอีกกลุ่มนี้ใช้วิธีสัมมนา งานอย่างเดียว และให้อาจารย์ทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในด้านความรู้เนื้อหา เจตคติที่มีผลต่อการสอน และการทดลองของนักศึกษา

คอร์โคเม้น (Corcoman, 1974 : 4976 – A) ได้ทดลองใช้แบบเรียนโน้มูลเพื่อปรับปรุงและทดสอบความสามารถของครูก่อนที่จะออกไปทำการสอนในโรงเรียนมัธยมศึกษา ซึ่งแต่ละโน้มูล ประกอบด้วยเนื้อหา 6 หัวข้อ คือ วิธีแก้นัยหา ทักษะในการแก้นัยหา การประเมินผล การอภิปาย บทบาทของผู้นำการอภิปาย การใช้วิธีการสอน การเตรียมการสอน ผลกระทบของปภาคภูมิผู้เรียนมีความสามารถในการเรียนตามจุดมุ่งหมาย

เดดมอนด์ (Dedmond, 1974 : 5985 – A) ได้ทดลองใช้แบบเรียนที่ได้ออกแบบขึ้นใช้กับเครื่องเสียงในวิชา Informal Reading Diagnosis and Correction กับนักศึกษาระดับปริญญาตรีและนักศึกษาที่จบปริญญาตรีแล้ว โดยให้นักศึกษาทั้ง 2 กลุ่ม เรียนจากเครื่องเสียง 6 เครื่อง ผลจากการทดลองปภาคภูมิว่านักศึกษาได้รับความรู้เพิ่มขึ้น โดยดูจากคะแนนที่ได้จากการทดสอบก่อนและหลังการเรียนโน้มูล นอกจากนี้แบบเรียนนี้ทำให้ผู้เรียนแต่ละคนได้เรียนตามความสามารถของตนเอง (Competency – based)

ตามที่ได้ศึกษาค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวกับบทเรียนโน้มูลในต่างประเทศพบว่า นอกจักส่งเสริมเพิ่มพูนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแล้ว บทเรียนโน้มูลมีประสิทธิภาพในกระบวนการเรียนการสอนด้านนี้ ๆ อีกด้วย ซึ่งนับว่าเป็นเทคนิคหรือสอนที่มีคุณภาพอย่างหนึ่ง

จากการศึกษาผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในประเทศไทยและต่างประเทศ พอกลุ่มได้ดังนี้

1. บทเรียนโน้มูล สามารถสร้างให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด
2. บทเรียนโน้มูล สามารถสร้างได้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ
3. ผู้เรียนด้วยบทเรียนโน้มูล ใช้เวลาเรียนน้อยกว่าเรียนปกติ
4. ผู้เรียนที่เรียนด้วยบทเรียนโน้มูล สามารถเรียนรู้ได้อย่างอิสระตามความสามารถของตน เอง ทำให้ผู้เรียนมีเจตคติต่อบบทเรียนโน้มูล
5. บทเรียนโน้มูลมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าการเรียนปกติ
6. กิจกรรมเลือกหลาย ๆ ทาง ช่วยให้การเรียนด้วยบทเรียนมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.4 การสร้างชุดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์

การสร้างชุดหรือคู่มือปฏิบัติการวิชาเคมีอินทรีย์ มีความสำคัญและจำเป็นมากในการเรียนการสอนวิชาเคมี ซึ่งจะขาดไม่ได้สำหรับผู้เรียนและผู้สอนในทุกสถานบัน ดังเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น

- ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2538. นักศึกษาที่เรียนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ ควรทำความเข้าใจทฤษฎีทั้งในภาคบรรยายและภาคปฏิบัติก่อนทดลองทุกครั้ง และยังให้ใช้ข้อมูลของเทคนิคต่าง ๆ ให้ทำความเข้าใจเพื่อทำให้ได้รับประโยชน์สูงสุดจากคู่มือในการทำปฏิบัติการแต่ละครั้ง คู่มือปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ เป็นคู่มือที่นักศึกษาปีที่ 1 และปีที่ 2 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ต้องใช้เรียน ก่อนที่ต้องเรียน เช่น แพทยศาสตร์ พยาบาลศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เป็นต้น โดยแบ่งเนื้อหาเป็นสองส่วนคือ เทคนิคพื้นฐานในเคมีอินทรีย์ และอีกส่วนหนึ่งคือปฏิกริยา ของสารอินทรีย์ โดยคู่มือนี้ใช้สำหรับ ประกอบการเรียนในภาคปฏิบัติการ

- ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์, สุภาพ บุญยะรัตเวช และเกษร วีรชาติ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536. การทดลองทางเคมีอินทรีย์ เป็นทั้งศิลปะและวิทยาศาสตร์ การที่นักวิทยาศาสตร์สามารถหาโครงสร้างของสารที่ขับข้อนจากสารตัวอย่างเพียงไม่กี่มลลิกรัมได้นั้น จำเป็นต้องรู้ หลักในการแยกสาร การทำสารให้บริสุทธิ์รู้ปฏิกริยาของสารอินทรีย์ รู้เทคนิคและวิธีการในการระบุสาร เป็น ปัจจัยที่สำคัญ และจุดประสงค์ของการต้องทดลองปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ คือ เพื่อ ให้มีความสัมพันธ์กันระหว่างทฤษฎีและการปฏิบัติการเพื่อเน้นให้เห็นว่า ทฤษฎีเป็นผลที่ได้มาจากการทดลอง เพื่อคุ้นเคยกับสารอินทรีย์ การได้ลงมือปฏิบัติจริง ๆ จะทำให้คุ้นเคย มีความชำนาญในเทคนิคต่าง ๆ รวมทั้งรู้จักใช้เครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ

- คู่มือปฏิบัติการเคมีอินทรีย์และชีวเคมีเบื้องต้น, ประดิษฐ์ มีสุข, 2538. หลักการเรียนในการเข้าห้องทดลอง จะต้องศึกษาคู่มือปฏิบัติการอย่างละเอียด เพื่อให้ทราบว่าควรจะดำเนินการทดลองตามลำดับก่อน หลังอย่างไร รวมทั้งจะต้องสังเกตและระมัดระวังอย่างไร จะต้องจัดเตรียม อุปกรณ์อย่างไร จุดมุ่งหมายของการทดลองเฉพาะการทดลอง ศึกษาได้จากคู่มือปฏิบัติการ เพื่อให้มีทักษะในเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในวิชาเคมีอินทรีย์เบื้องต้น

จากข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยมีความเห็นว่า การวิจัยเพื่อการสร้างชุดการเรียนปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ให้ได้ผลสัมฤทธิ์ และมีประสิทธิภาพ โดยการประยุกต์และหาวิธีการใช้เครื่องมือในศูนย์วิทยาศาสตร์ของสถาบันภาษาอังกฤษ เน้นเครื่องมือเครื่องใช้ในการเรียนการสอน จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ที่ต้องดำเนินการสร้างแบบชุดทดลองประกอบเนื้อหา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการเรียนการสอนต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 องค์ประกอบของชุดบทเรียนสำเร็จรูปวิชาปฏิการเคมีอินทรีย์ 1

จากคำอธิบายรายวิชาของหลักสูตรสถาบันราชภัฏ พุทธศึกษา 2543 มีคำอธิบายรายวิชาดังนี้

เทคนิคเบื้องต้นในการทำสารให้บริสุทธิ์ เช่น การกรัด การกลั่น การกรอง การตกผลึก และครามาโตกราฟ ปฏิบัติการเกี่ยวกับสเตริโโนเคมี การวิเคราะห์สารอินทรีย์เบื้องต้น การหาธาตุองค์ประกอบในสารอินทรีย์ ทดสอบหมุฟังก์ชัน การเตรียมอนุพันธ์ของสารอินทรีย์

จากรายละเอียดคำอธิบายรายวิชาดังกล่าวแล้ว คณะกรรมการผู้วิจัยได้แบ่งเนื้อหาของชุดการเรียนการสอนนี้ออกเป็น 6 ชุด คือ

ชุดที่ 1 มี 2 ตอน

- การตกผลึกและการหาจุดหลอมเหลว (Crystallization and melting point determination)

- การหาจุดเดือดและการกลั่น (Boiling point and distillation)

แบ่งบทปฏิบัติการทดลองออกเป็น 7 การทดลอง ระยะเวลา 9 คาบ คือ

บทปฏิบัติการที่ 1 การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในการตกผลึก เวลา 2 คาบ

2 การตกผลึก Acetanilide เวลา 1 คาบ

3 การตกผลึกสารตัวอย่าง (Unknown) เวลา 1 คาบ

4 การวัดช่วงจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์ เวลา 1 คาบ

5 การวัดช่วงจุดหลอมเหลวของสารผสม เวลา 1 คาบ

6 การกลั่นแบบธรรมด้า เวลา 2 คาบ

7 การหาจุดเดือดของของเหลวแบบฉลากค์ เวลา 1 คาบ

ชุดที่ 2 มี 2 ตอน

- การกรัดและการแยกสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลาย (The extraction and separation of chemical compound from herbs by solvent)

- การกรดน้ำมันหอมระเหยจากพืชด้วยไอน้ำ (The isolation of volatile oil from plants by steam distillation)

แบ่งบทปฏิบัติการออกเป็น 2 การทดลอง ระยะเวลา 6 คาบ คือ

บทปฏิบัติการที่ 1 การสกัดสารจากพืชด้วยตัวทำละลายเมทิลีนคลอไรต์ เวลา 3 ค่ำ
 2 การสกัดน้ำมันหอมระ夷จากพืชด้วยไอน้ำ เวลา 3 ค่ำ

ชุดที่ 3

การตรวจสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิคชิโนเลเยอร์โดยรวมาโทกราฟี
 คอลัมน์โดยรวมาโทกราฟีและการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพอพาราเทิฟ
 โดยรวมาโทกราฟี

(The preliminary test of chemical compound from herbs by Thin – Layer Chromatography (TLC) ,Column Chromatography (CC) and separation and purification of compound by Preparative Thin – Layer Chromatography (PTLC) technique

แบ่งบทปฏิบัติการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ระยะเวลา 12 ค่ำ คือ

1. การตรวจสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิค TLC เวลา 3 ค่ำ
2. การแยกสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยวิธีคอลัมน์โดยรวมาโทกราฟี เวลา 3 ค่ำ
3. การตรวจสอบสารที่แยกได้จากคอลัมน์ด้วย TLC เวลา 3 ค่ำ
4. การแยกสารและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพอพาราเทิฟโดยรวมาโทกราฟี เวลา 3 ค่ำ

ชุดที่ 4 มี 2 ตอน

1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮdrocarbon (Preliminary test of hydrocarbon)
2. การทดสอบสมบัติของแอลดีไฮด์และคีโตน (Preliminary test of aldehyde and ketone)

แบ่งบทปฏิบัติการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ระยะเวลา 6 ค่ำ

บทปฏิบัติการที่ 1 การทดลองสมบัติของสารประกอบไฮdrocarbon เวลา 2 ค่ำ

- 2 การเตรียมและทดสอบแก๊สอะเซทิลีน เวลา 1 ค่ำ
- 3 การทดสอบสมบัติของแอลดีไฮด์และคีโตน เวลา 3 ค่ำ

ชุดที่ 5

การทดสอบแอลกอฮอล์ กรดcarboxylic acid และอนุพันธ์และอะมีน (Preliminary test of alcohol, carboxylic acid and derivatives and amines)

แบ่งบทปฏิบัติการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ระยะเวลา 9 ค่ำ คือ

บทปฏิบัติการที่ 1 การทดสอบออกอิทธิ์	เวลา 3 ค่ำ
2 การทดสอบกรดcarboxylic และอนุพันธ์ เวลา 3 ค่ำ	
3 การทดสอบอะมีน เวลา 3 ค่ำ	
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตรอิโนเคมีด้วยแบบจำลองโมเลกุล (Organic molecular module)	
แบ่งบทปฏิบัติการทดลองออกเป็น 3 ภารัดลอง ระยะเวลา 9 ค่ำ คือ	
บทปฏิบัติการที่ 1 การทดลองศึกษาสเตรอิโนเคมีทั่วไปด้วยแบบจำลองโมเลกุล	
เวลา 3 ค่ำ	
2 การศึกษาโครงรูป (Conformation) ด้วยแบบจำลองโมเลกุล	
เวลา 3 ค่ำ	
3 การศึกษาโครงแบบ (Configuration) ด้วยแบบจำลองโมเลกุล	
เวลา 3 ค่ำ	

ตาราง 3.1 ชื่อชุดการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ ผู้สร้าง และสถาบันการศึกษา

ชื่อชุดการเรียน	ผู้สร้าง	สถาบันราชภัฏ	
		ผู้สร้าง	ผู้ทดลองใช้ ภาคสนาม
ชุดที่ 1 1 การทดลองลึกและการหาจุดหลอมเหลว 2 การหาจุดเดือดและการกลั่น	รศ.กุลยา จันทร์อุณ	พิบูลลงกรณ์	พิบูลลงกรณ์
ชุดที่ 2 1.การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืช สมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอม ระเหยจากพืชด้วยไอน้ำ	รศ.กุลยา จันทร์อุณ	พิบูลลงกรณ์	พิบูลลงกรณ์
ชุดที่ 3 การตรวจสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพร ด้วยเทคนิคเชิงเสียงอิเล็กทรอนิกส์ คอลัมน์ โดยมาโทกราฟีและการแยกและการทำสารให้ บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพอฟิลโตรมาโทกราฟี	รศ.กุลยา จันทร์อุณ	พิบูลลงกรณ์	พิบูลลงกรณ์
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลดีไฮด์และ 酇ีติน	รศ.กุลยา จันทร์อุณ	พิบูลลงกรณ์	พิบูลลงกรณ์

ชื่อชุดการเรียน	ผู้สร้าง	สถาบันราชภัฏ	
		ผู้สร้าง	ผู้ทดลองใช้ ภาคสนาม
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของผลก่ออห�การ ภาค การบวกเชิงลึกและอนุพันธ์และอะมีน	ผศ.ดร.ธงชัย เครื่องทรง	สุราษฎร์ธานี	พิบูลสงคราม สุราษฎร์ธานี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตรอิโวเคมีด้วยแบบจำลอง ไมเลกุล	ผศ.ดร.ธงชัย เครื่องทรง	สุราษฎร์ธานี	พิบูลสงคราม สุราษฎร์ธานี

จากชุดบทเรียนสำเร็จรูปทั้ง 6 ชุดดังกล่าวแล้วคณะผู้ดำเนินการวิจัยได้วางแผนการดำเนินการวิจัยร่วมกันโดยมีขั้นตอนโดยสรุป ดังนี้

ดำเนินการสร้างบทปฏิบัติการ แบบสอบถามและแบบวัดพฤติกรรมและเครื่องมือวิจัยที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้กับนักศึกษากลุ่มทดลอง หาค่าความเชื่อมั่นหรือความเที่ยง (Reliability) ของเครื่องมือวิจัย และทำการปรับปรุงบทปฏิบัติการและเครื่องมือวิจัย และนำมาใช้ในการทดลอง

3.2 แบบแผนการวิจัยและกลุ่มทดลอง

การสร้างชุดการเรียนดำเนินไปตามกรอบการวิจัยดังรูปที่ 1.2 ส่วนการประเมินชุดการเรียนในแต่ละชุดนำไปทดลองใช้กับรายบุคคล รายกลุ่มเล็ก (3 – 5 คน) และรายชั้นในภาคเรียน ซึ่งมีสถาบันที่นำไปทดลองใช้จำนวน 2 สถาบัน คือสถาบันราชภัฏพิบูลสงครามและสถาบันราชภัฏสุราษฎร์ธานี

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองตามแบบแผนการทดลองแบบ One Group Pretest – Posttest Design ดังแสดงในตารางแบบแผนการทดลอง

ตาราง 3.2 แบบแผนการทดลอง

ก่อนปฏิบัติการ	ทดลอง	หลังปฏิบัติการ
Treatment (T ₁)	X	T ₂

สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบแผนการวิจัย

- T_1 แทนการวัดผลสัมฤทธิ์ก่อนการใช้ชุดการเรียน
- T_2 แทนการวัดผลสัมฤทธิ์หลังการใช้ชุดการเรียน
- X แทนการสอนโดยการใช้ชุดการเรียน

กลุ่มทดลองได้แก่นักศึกษาในสถาบันราชภัฏระดับปริญญาตรี ตั้งรายละเอียดในตาราง 3.1

3.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ดำเนินการวางแผนการทดลอง การสร้างชุดการเรียน การสร้างแบบทดสอบและการสร้างเครื่องมือวัด ดำเนินการทดลองใช้เครื่องมือกับกลุ่มทดลอง และปรับแก้เครื่องมือในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2543 ทำการทดลองในภาคสนามในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2543 และภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2544 วิเคราะห์ผลการทดลองในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2544

3.4 เครื่องมือและการรวมข้อมูลในการดำเนินการทดลอง

การจัดกิจกรรมและการรวมข้อมูลเป็นดังนี้

1. ชุดการเรียนที่สร้างขึ้น และก่อนใช้ชุดการเรียนแต่ละชุดให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน
2. ให้ผู้เรียนดำเนินการเรียนตามชุดการเรียนแต่ละชุด และวัดกระบวนการเรียนจากค่าตามในแต่ละชุดการเรียน
3. เมื่อสิ้นสุดการดำเนินการเรียนในแต่ละชุดการเรียน ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน
4. หลังจากสิ้นสุดการเรียนให้ผู้เรียนตอบแบบสอบถามตามวัดเจตคติต่อบทเรียน โดยใช้แบบสอบถามวัดเจตคติ ใช้ตามแบบข้อ พล คำบังส์ และคะแนน (25)

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

1. สถิติพื้นฐาน ใช้โปรแกรม SPSS/PC* ในกรณีเคราะห์หาค่าสถิติพื้นฐาน ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความเชื่อมั่นหรือความเที่ยง (Reliability) ของเครื่องมือวิจัย
2. เกณฑ์การแปลงมาร์คามิตจากผลสอบแบบวัดเจตคติ ใช้เกณฑ์ดังนี้
 $1.0 - 1.49 = \text{ระดับต่ำหรือไม่มี}$ $1.5 - 2.49 = \text{ระดับต่ำ}$
 $2.5 - 3.49 = \text{ระดับปานกลาง}$ $3.5 - 4.49 = \text{ระดับดี}$ $4.5 - 5.0 = \text{ระดับดีมาก}$

3. ประสิทธิภาพของชุดการเรียนคำนวนจากสูตร E_1/E_2

$$E_1 = \frac{\sum X / N \times 100}{A}$$

เมื่อ E_1 = ประสิทธิภาพของกระบวนการ

X = คะแนนรวมของทักษะการปฏิบัติการในระหว่างการใช้ชุดการเรียน
(กระบวนการ)

A = คะแนนเต็มของทักษะการปฏิบัติการในระหว่างการทดลองชุดการเรียน
(กระบวนการ)

N = จำนวนนักศึกษา

$$E_2 = \frac{\sum F / N \times 100}{B}$$

เมื่อ E_2 = ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

F = คะแนนรวมของผลสัมฤทธิ์หลังการใช้ชุดการทดลอง (ผลลัพธ์)

B = คะแนนเต็มของผลสัมฤทธิ์หลังการใช้ชุดการทดลอง (ผลลัพธ์)

N = จำนวนนักศึกษา

(นาพร สิงหน้า, 2533)

4. ความก้าวหน้าในการปฏิบัติการ

$$\text{ร้อยละของความก้าวหน้า} = \frac{\text{คะแนนเฉลี่ยหลังการใช้ชุดการเรียน} - \text{ก่อนใช้ชุดการเรียน} \times 100}{\text{คะแนนเต็ม}}$$

(ดนัย เทียนพูด, 2525)

5. การทดสอบความแตกต่างระหว่างก่อนใช้ชุดการเรียนและหลังการใช้ชุดการเรียนด้วยค่าที (t – test)

$$t = \frac{\Sigma D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}}$$

ΣD = ผลรวมของความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนใช้ชุดการเรียนและหลังการ
ใช้ชุดการเรียนแต่ละคู่

ΣD^2 = ผลรวมของความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนใช้ชุดการเรียนและหลังการ
ใช้ชุดการเรียนแต่ละคู่ที่ยกกำลังสอง

n = จำนวนนักศึกษา (ญศรี วงศ์รัตน์, 2530)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยได้สร้างชุดบทเรียนสำเร็จรูป 6 ชุด ชุดการเรียนที่สร้างขึ้นได้นำไปใช้ในการเรียน การสอนวิชาปฏิบัติการเคมีอนทริย์ 1 คณะผู้วิจัยได้เสนอขอรับพนและผลจากการวิจัย โดยแบ่งออก เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เจตคติของผู้เรียนต่อการใช้ชุดบทเรียนแบบสำเร็จรูป ส่วนที่ 2 การทดสอบ สมมุติฐาน และส่วนที่ 3 ประสิทธิภาพของชุดการเรียน

ส่วนที่ 1 เจตคติของผู้เรียนต่อการใช้ชุดการเรียน

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อวัตถุประสงค์ของชุดการเรียนในด้านความรู้ด้วย และความเข้าใจซึ่ง ได้ผลดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อวัตถุ ประสงค์ของชุดการเรียน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การทดลองและการหาคุณลักษณะ 2. การหาคุณเดื่อคและภารกิจ	3.7397	0.5007	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืช สมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอม ระเหยด้วยไอน้ำ	3.7692	0.5326	ดี
ชุดที่ 3 การทดสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วย เทคนิคเคมิเครย์โกร์โนมาโทกราฟี, คลัมมนิโกร์โนมาโทกราฟี และการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพธ พาร์ทิปโกร์โนมาโทกราฟี	3.7777	0.5097	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์และคีโตน	3.9630	0.4303	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์กรดcarboxylic และอนุพันธ์และอะมีน	3.7733	0.5087	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตรอิโลเคมีด้วยแบบจำลองไมโครส	3.9630	0.4300	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวัตถุประสงค์ของชุดการเรียนทุกชุดของบทเรียนแบบสำเร็จรูป นั่นคือ

วัตถุประสงค์ของชุดการเรียนทุกชุดมีความชัดเจนดี และสามารถทำให้เกิดความเข้าใจได้ง่าย

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความชัดเจนของขั้นตอนในการใช้ชุดการเรียนดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อความชัดเจนของ
ขั้นตอนในการใช้ชุดการเรียน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การทดสอบและการหาจุดยอดเหลา 2. การหาจุดเดือดและการกลับ	3.7671	0.5143	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ	3.8205	0.5793	ดี
ชุดที่ 3 การตรวจสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิคเคมิแอลอยด์โคลัมโนโคลามาโทกราฟี และการแยกและการทำสารให้เป็นสูตรด้วยเทคนิคเพชพาร์ฟิโคลามาโทกราฟี	3.8333	0.5307	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลกออล์ก็อกคีตอิน	3.9630	0.4303	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกออล์ก็อกคีตอินและอนุพันธ์และอะมีน	3.8400	0.2867	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตรอิโนเคมีด้วยแบบจำลองไมโคร	3.8340	0.5300	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความชัดเจนของขั้นตอนของชุดการเรียนทุกชุด นั่นคือ ขั้นตอนในการใช้ชุดการเรียนของชุดการเรียนทุกชุดมีความชัดเจนดี

๕๔๑
๒๑๗๗๖.๑

153292

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อโอกาสการใช้เครื่องมือในการใช้ชุดการเรียน ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อโอกาสการใช้

เครื่องมือในการใช้ชุดการเรียน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การทดสอบและการหาจุดคอมเมนต์ 2. การหาจุดเดือดและการกลั่น	3.7945	0.5259	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืช สมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอม ระเหยด้วยไอน้ำ	3.8590	0.5748	ดี
ชุดที่ 3 การทดสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วย เทคนิคอินเดียร์โคมนาถกราฟี, คลัมมน์โคมนาถกราฟี และการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพช พาร์ฟ์โคมนาถกราฟี	3.8611	0.5387	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลดีไฮด์และ酇ีโคน	3.9778	0.4314	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์กรดcarboxylic ชีลิกและอนุพันธ์และอะมีน	3.8000	0.5199	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตริโวเคมีด้วยแบบจำลองโมเลกุล	3.8660	0.6220	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อโอกาสการใช้เครื่องมือในการทดลองของชุดการเรียนทุกชุด นั่นคือผู้เรียน
มีโอกาสใช้เครื่องมือในการทดลองของชุดการเรียนทุกชุดเป็นอย่างดี

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความสนุกสนานเพลิดเพลินในการใช้ชุดการเรียน ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อความสนุก
เพลิดเพลินในการใช้ชุดการเรียน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การทดลองแล้วการหาจุดทดสอบ 2. การหาจุดเดือดแล้วการกั้น	3.7808	0.5068	ดี
ชุดที่ 2 การสักดัดและการแยกสารเคมีจากพืช สมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสักดันน้ำมันหอม ระเหยด้วยไอน้ำ	3.7950	0.5666	ดี
ชุดที่ 3 การทดสอบสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วย เทคนิคธินเลเยอร์โคลัมโนโกรามาโทกราฟี, คอลัมน์โกรามาโทกราฟี และการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพธ พาเทิฟโกรามาโทกราฟี	3.8333	0.5035	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลดีไฮด์และ酇์酇์	4.0518	0.3524	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์กรดcarboxylic และอนุพันธ์และอะมีน	3.8267	0.5544	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตรอิโนเคมีด้วยแบบจำลองโมเดล	3.9630	0.4202	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความสนุกสนานเพลิดเพลินกับการทดลองของชุดการเรียนทุกชุด นั่นคือผู้
เรียนเกิดความสนุกสนานเพลิดเพลินกับการทดลองของชุดการเรียนทุกชุด

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อการเรียนรู้โดยใช้ความคิดและเหตุผลของชุดการเรียน ดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อการเรียนรู้โดยใช้ความคิดและเหตุผลของชุดการเรียน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การหากผลึกและการหาจุดคอมเม左手 2. การหาจุดเดือดและการกลับ	3.8904	0.5154	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ	3.9103	0.5822	ดี
ชุดที่ 3 การทดสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิค吟เลเยอร์โคมากาโน่โภกรافي, คลัมมนิโคมากาโน่โภกรافي และการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพช พาเรี้ยฟโคมากาโน่โภกรافي	4.0556	0.5787	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสาบปะกอบ ไอกิราคาวะกอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์ก็อกคาบาร์บอก	4.2445	0.6332	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์ก็อกคาบาร์บอก ชิลิกและอนุพันธ์และจะมีน	3.9465	0.5171	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตรอิโคเคมีด้วยแบบจำลองโมเดลก	3.8660	0.6220	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้โดยใช้ความคิดและเหตุผลของชุดการเรียนทุกชุดนั้นคือผู้เรียน เกิดการเรียนรู้อย่างใช้ความคิดและเหตุผลจากชุดการเรียนทุกชุด

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อการนำเสนอเนื้อหาของชุดการเรียนว่ามีความง่าย กระชับและชัดเจน

ตาราง 4.6 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อวิธีการนำเสนอ

เนื้อหาของชุดการเรียนในด้านความง่ายกระชับและความชัดเจน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การทดสอบและการหาชุดหลอมเหลา 2. การหาจุดเดือดและการกรัก	4.0411	0.4229	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำลายและการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ	4.1539	0.5828	ดี
ชุดที่ 3 การทดสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิคเคมิเครียติกรรมทางการแพทย์, คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพธพาร์ทฟิลด์กรรมทางการแพทย์	4.3195	0.5261	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของยาลดไขมัน	4.3704	0.6198	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของยาลดกลอยของยาลดความร้อนออกซิลิกและอนุพันธ์และอะมีน	3.866	0.6224	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเทอริโอดิเมต์ด้วยแบบจำลองไมโครกล	3.9735	0.5920	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อการนำเสนอเนื้อหาของชุดการเรียนทุกชุดนั้นคือการนำเสนอเนื้อหาของชุดการเรียนทุกชุดทำให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายมีความชัดเจนและกระชับดี

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความเข้าใจเนื้อหาของชุดการเรียนดังตาราง 4.7

ตาราง 4.7 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อความเข้าใจเนื้อ

หาของชุดการเรียน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การทดสอบและการหาจุดหลอมเหลว 2. การหาจุดเดือดและการกั่น	3.7671	0.5143	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ	4.0895	0.5390	ดี
ชุดที่ 3 การทดสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิคเคมิเครียติกรรมทางการแพทย์, คลัตตันโดยรวมทางการแพทย์ และการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพชพาร์ฟิลด์โดยรวมทางการแพทย์	4.25	0.6223	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของยาลดดีไซด์และคีโน	4.2286	0.8844	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของยาลดกรดcarboxylic acid และอะมีน	4.1333	0.7228	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตรอริโอะเคมีด้วยแบบจำลองโมเลกุล	3.8266	0.5543	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความเข้าใจเนื้อหาที่นำเสนอของชุดการเรียนทุกชุดเป็นอย่างดี

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความยากง่ายของเนื้อหาของชุดการเรียนดังตาราง 4.8

ตาราง 4.8 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อความยากง่าย

ของเนื้อหาของชุดการเรียน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การทดสอบลักษณะการหาจุดยอดเส้น 2. การหาจุดเดือดและการกลับ	4.0959	0.5569	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพิช สมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอม ระเหยด้วยไอน้ำ	4.2175	0.6168	ดี
ชุดที่ 3 การทดสอบสารเคมีจากพิชสมุนไพรด้วย เทคนิคชิโนเลเยอร์โคลัมนาโถกราฟี, คอลัมน์โคลัมนาโถกราฟี และการแยกและการทำสารให้บริสุทธ์ด้วยเทคนิคเพช พาเรทฟ์โคลัมนาโถกราฟี	3.9861	0.7217	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลดีไฮด์และ酇ีโนน	4.3333	0.6108	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์กรดcarboxylic ชีลิกและอนุพันธ์และอะมีน	4.1067	0.6487	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตรอิโลเคมีด้วยแบบจำลองไมโครสูป	3.8402	0.2870	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความยากง่ายของชุดการเรียนทุกชุด นั่นคือ ผู้เรียนคิดว่าชุดการเรียนทุกชุดไม่ยากเกินกว่าที่จะทำความเข้าใจ

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความยาวของเนื้อหาของชุดการเรียนดังตาราง 4.9

ตาราง 4.9 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อความยาวของเนื้อหาของชุดการเรียน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การทดสอบและการหาจุดคอมเม้น 2. การหาจุดเดือดและการกลั่น	4.1644	0.7073	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ	3.9744	0.6237	ดี
ชุดที่ 3 การทดสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิคชิโนเรียร์คิรามาโทกราฟี, คอลัมน์คิรามาโทกราฟี และการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพ้อพาร์ฟิคิรามาโทกราฟี	4.1111	0.6619	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์ไฮด์และ酇ีโน	4.2222	0.6309	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์กึ่งคาวบอกชิลิกและอนุพันธ์และอะมีน	4.0667	0.5774	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตริโลเคมีด้วยแบบจำลองไมเลกุล	3.8666	0.6223	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความยาวของชุดการเรียนทุกชุดนั้นคือ ชุดการเรียนทุกชุดมีความยาวเหมาะสมสมดี

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความเข้าใจเนื้อหาของชุดการเรียนดังตาราง 4.10

ตาราง 4.10 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อความยากของศัพท์ที่ใช้ในชุดการเรียน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การทดสอบและการหาจุดล้อมเหลา 2. การหาจุดเดือดและการกลับ	4.2603	0.5780	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพิช สมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอม ระเหยด้วยไอน้ำ	4.0385	0.6731	ดี
ชุดที่ 3 การทดสอบสารเคมีจากพิชสมุนไพรด้วย เทคนิคชิโนเลเยอร์คิร์มาโทกราฟี, คลอลัมโนคิร์มาโทกราฟี และการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพธ พาเรทิฟคิร์มาโทกราฟี	3.8889	0.7970	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลกออล์ก็แคคิโน	4.0741	0.7691	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกออล์ก็แคคิโน ชิลิกและอนุพันธ์และอะมีน	3.9733	0.5922	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาเตอริโอกิเคมีด้วยแบบจำลองไม่เลกุล	3.8343	0.5308	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความยากของศัพท์ที่ใช้ของชุดการเรียนทุกชุด นั่นคือ ผู้เรียนคิดว่าคำศัพท์ที่ใช้ของชุดการเรียนทุกชุดไม่ยากเกินไป

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อรูปภาพประกอบในชุดการเรียนที่ทำให้เกิดความเข้าใจชุดการเรียน ดัง

ตาราง 4.11

ตาราง 4.11 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อรูปภาพประกอบในชุดการเรียนที่ทำให้เกิดความเข้าใจชุดการเรียน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การตกผลึกและการหาจุดหลอมเหลว 2. การหาจุดเดือดและการกรอกั่น	3.7808	0.5068	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืช สมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอม ระเหยด้วยไอน้ำ	4.0895	0.5390	ดี
ชุดที่ 3 การตรวจสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วย เทคนิคอินเลเยอร์โคลร์โนมาราโทกราฟี, คอลัมน์โนมาราโทกราฟี และการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพธ พาเรทฟ์โนมาราโทกราฟี	4.3195	0.5261	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์กราการ์บออก	3.9630	0.4303	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์กราการ์บออก ชีลิกและอนุพันธ์แคลเซมีน	3.8341	0.5305	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตรอิโคเคมีด้วยแบบจำลองไมโครกล	3.9600	0.4302	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อรูปภาพประกอบของชุดการเรียนทุกชุด นั่นคือ รูปภาพประกอบของชุด
การเรียนทุกชุด ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจดียิ่งขึ้น

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อคำถานของชุดการเรียนและความสามารถตอบคำถานในชุดการเรียน

ดังตาราง 4.12

ตาราง 4.12 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อคำถานของชุดการเรียนและความสามารถตอบคำถานของผู้เรียน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การทดสอบและการหาจุดหลอนเหลว 2. การหาจุดเดือดและการกลับ	4.0958	0.6700	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ	4.5384	0.6257	ดี
ชุดที่ 3 การตรวจสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิค吟เลเยอร์โคมากาไฟ, คลัมน์โคมากาไฟ และการแยกและการทำสารให้ปฏิสูห์ด้วยเทคนิคเพธ พาร์ฟิโคมากาไฟ	4.0556	0.62548	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลดีไฮด์และ酇ีโน	4.0740	0.7690	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์การคาร์บอกริลิกและอนุพันธ์และอะมีน	4.08	0.6316	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตรอิโนเคมีด้วยแบบจำลองไม้เลぐล	3.9734	0.5921	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อคำถานของชุดการเรียนทุกชุด นั่นคือ คำถานของชุดการเรียนทุกชุด ทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจได้ง่าย และผู้เรียนสามารถหาคำตอบได้ดีทุกชุด

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความเข้าใจคำสั่งหรือคำชี้แจง และความสามารถในการปฏิบัติตามคำสั่งหรือคำชี้แจงของชุดการเรียน ดังตาราง 4.13

ตาราง 4.13 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อคำสั่งหรือคำชี้แจง และความสามารถในการปฏิบัติตามคำสั่งหรือคำชี้แจงของชุดการเรียน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การทดสอบและการหาจุดยอดเหลา 2. การหาจุดเดือดและการกลับ	4.2600	0.5779	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ	4.0890	0.5385	ดี
ชุดที่ 3 การทดสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิคอินเครเมอร์โคลามาโทกราฟี, คลัมมนิโคลามาโทกราฟี และการแยกและการทำสารให้บีริสทธิ์ด้วยเทคนิคเพธ พาร์ฟิโคลามาโทกราฟี	4.3190	0.5260	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์และคีโตน	4.3700	0.6196	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์กรดคาร์บอกริลิกและอนุพันธ์และอะมีน	3.8700	0.6220	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตริโอเคมีด้วยแบบจำลองมิเลกูต	3.9700	0.5920	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อคำสั่งหรือคำชี้แจงของชุดการเรียนทุกชุด นั่นคือ คำสั่งหรือคำชี้แจง ของชุดการเรียนทุกชุดทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้ง่ายและสามารถปฏิบัติได้ดีทุกชุด

เจตคติของผู้เรียนที่มีเวลาที่กำหนดของชุดการเรียน ดังตาราง 4.14

ตาราง 4.14 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อเวลาที่กำหนดของชุดการเรียน

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การตอกเน็กและการหาจุดคอมเมนต์ 2. การหาจุดเดือดและการกลับ	3.7670	0.5142	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ	4.3194	0.5827	ดี
ชุดที่ 3 การทดสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิคินเลเยอร์โคมากาไฟ, คลอัลมนีโคมากาไฟ และการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพชพาร์ฟิโคมากาไฟ	4.3700	0.6196	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์และคีโตน	3.9629	0.4302	ดี
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์การความออกซิลิกและอนุพันธ์และอะมีน	3.8340	0.5306	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาสเปกตริโอมิเตอร์แบบจำลองไม่เกตุ	3.7730	0.5805	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อเวลาที่กำหนดของชุดการเรียนทุกชุด นั่นคือ เวลาที่กำหนดในการเรียน ของชุดการเรียนทุกชุดมีความเหมาะสมตื่นไม่มากไปหรือน้อยเกินไป

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อแบบวัดผลด้วยตนเองของชุดการเรียน ดังตาราง 4.15

ตาราง 4.15 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อแบบวัดผลด้วยตนเองของชุดการเรียน ดังตาราง 4.15

ชุดการเรียน	Mean	S.D.	เจตคติอยู่ในเกณฑ์
ชุดที่ 1 1. การตกแต่งและภาราจุดเด่นของหน้า	4.1506	0.5444	ดี
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ	4.1410	0.5748	ดี
ชุดที่ 3 การตรวจสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิคิโนเวอร์โคมากาไฟ, คลัมบ์โคมากาไฟ และการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพอฟาร์ฟิโคมากาไฟ	4.2500	0.5502	ดี
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน	4.3700	0.6190	ดี
2. การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์กรดคาร์บอนิก			
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์กรดคาร์บอนิกและอนุพันธ์และอะมีน	4.0933	0.5736	ดี
ชุดที่ 6 การศึกษาเตอริโอดิเอตและคีโตน	4.0517	0.3530	ดี

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความหมายของแบบวัดผลด้วยตนเองของชุดการเรียนทุกชุด นั่นคือแบบวัดผลด้วยตนเองของชุดการเรียนทุกชุดมีความหมายสมดี

ส่วนที่ 2 ผลการทดสอบสมมุติฐาน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบสมมุติฐานที่ตั้งไว้ดังนี้ การเรียนการสอนโดยใช้ชุดการเรียนแบบปฏิบัติการทดลอง จะทำให้ผู้เรียนมีการเรียนรู้มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และมีความเชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น

การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลและแปลความหมายเพื่อความเข้าใจที่ตรงกันเจิงแน่อสูญลักษณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

N = จำนวนนักศึกษากลุ่มทดลอง

\bar{X} = คะแนนเฉลี่ย

S.D.= ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

t = ค่าสถิติ

ในการทดสอบสมมุติฐานใช้สถิติพื้นฐานค่าเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้สถิติ

t-test

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ ก่อนใช้ชุดการเรียนและหลังการใช้ชุดการเรียนแตกต่างกัน โดยหลังจากการใช้ชุดการเรียนนักศึกษามีการเรียนรู้ที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 4.16 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า t ของผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษา ก่อน และหลังการใช้ชุดการเรียน

ชุดการเรียน	การทดสอบ	N	\bar{X}	S.D.	t
ชุดที่ 1 1. การตอกผลึกและการหาจุดเหลื่อมเหลา 2. การหาจุดเดียวและภารกัณฑ์	ก่อน หลัง	73 73	8.8493 18.0685	2.1646 3.8490	25.8970**
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลายและ การสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ	ก่อน หลัง	78 78	11.5641 19.5256	2.2939 1.2559	41.2960**
ชุดที่ 3 การทดสอบสมบัติของสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิคชิโนแลเยอร์คิริมาโทกราฟี, คลอสัมโนคิริมาโทกราฟี และการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค PTLC	ก่อน หลัง	72 72	13.2500 21.1700	1.9742 1.5481	26.0190**
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์และคีโตน	ก่อน หลัง	135 135	8.5925 17.7778	3.0549 3.1756	41.7249**
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์กรดคาร์บออกซิลิกและอนุพันธ์และอะมีน	ก่อน หลัง	75 75	8.8533 15.1600	1.6821 1.6929	47.9700**
ชุดที่ 6 การศึกษาสเตรอิโอดิเอเคนเมื่อตัวอย่างจำลองไม่เลกุล	ก่อน หลัง	75 75	10.1200 15.2130	1.8080 1.8837	42.2317**

จากตารางจะพบว่า

$$t(.05,72), t(.05,77), t(.05,71), t(.05,134), t(.05,74), t(.05,74) = 1.6449$$

$$t(.01,72), t(.01,77), t(.01,71), t(.01,134), t(.01,74), t(.01,74) = 2.3263$$

แสดงว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการใช้ชุดการเรียนทุกชุดแตกต่างจากก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 และ .01 ดังนั้นจึงยอมรับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ว่า การเรียนการสอนโดยใช้ชุดการเรียนที่เน้นการปฏิบัติการทดลอง จะทำให้ผู้เรียนมีการเรียนรู้ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และมีความเชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้นด้วยความเชื่อมั่น 95% ถึง 99%

ส่วนที่ 3 ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ

ค่าประสิทธิภาพของชุดการเรียนแต่ละชุดได้ถูกคำนวณโดยการหาประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) และหาค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) และแปลความโดยเทียบกับเกณฑ์ $E_1 : E_2 = 75:75$ โดยมีค่าเบี่ยงเบนได้ $\pm 5\%$ ปรากฏผลการทดลองในภาคผนวก ก ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของชุดการเรียนและความก้าวหน้าในการใช้ชุดการเรียนและสามารถสรุปผลการทดลองดังตาราง 4.17

ตาราง 4.17 ค่าประสิทธิภาพและความก้าวหน้าในการใช้ชุดการเรียน

ชุดการเรียน	ค่าประสิทธิภาพ	ความก้าวหน้า การใช้ชุดการเรียน
ชุดที่ 1 1. การตกผลึกและการหาจุดหลอมเหลว 2. การหาจุดเดือดและการกลั่น	$E_1 : E_2 = 80:72.28$	36.88%
ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ	$E_1 : E_2 = 80.96:78.12$	32%
ชุดที่ 3 การทดสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิคชิโนเลเยอร์คิรนาໂທกราฟี, คลอลัมบ์คิรนาໂທกราฟี และการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพดพาเรทฟ์คิรนาໂທกราฟี	$E_1 : E_2 = 85.95:84.83$	31.68%
ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 2. การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์ก็ตีโคน	$E_1 : E_2 = 75.48:71.12$	37.04%
ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์ก็ตีโคน ชิลิกและอนุพันธ์และอะมีน	$E_1 : E_2 = 77.93:75.80$	31.55%
ชุดที่ 6 การศึกษาเศษวิชิโอนเคมีด้วยแบบจำลองโมเดล	$E_1 : E_2 = 78.07:76.07$	25.47%

ผู้วิจัยใช้เกณฑ์ในการพิจารณา ค่า $E_1 : E_2 = 75 : 75$ โดยการยอมรับประสิทธิภาพมีค่าเบี่ยงเบนได้ $\pm 5\%$ จากเกณฑ์ในการพิจารณาดังกล่าว เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของชุดการเรียนที่ 1 เรื่อง การตกผลึกและการหาจุดหลอมเหลว, การกลั่นและการหาจุดเดือด ค่าประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ทั้งกระบวนการเรียนและผลลัพธ์ของการเรียน

ประสิทธิภาพของชุดที่ 2 เรื่อง การสกัดสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลาย และการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชด้วยไอน้ำ ค่าประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ทั้งหมดทางด้านกระบวนการเรียนและผลลัพธ์ของการเรียน

ประสิทธิภาพของชุดที่ 3 เรื่อง การทดสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิค TLC,CC และ PTLC ค่าประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ทั้งทางด้านกระบวนการเรียนรู้และผลสัมฤทธิ์ของการเรียน

ประสิทธิภาพของชุดที่ 4 เรื่องการทดสอบสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและการทดสอบสารประกอบแอลดีไฮด์และ酇ีโนน ค่าประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ทั้งทางด้านกระบวนการเรียนรู้และผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้

ประสิทธิภาพของชุดที่ 5 เรื่อง การทดสอบสารประกอบแอลกอฮอล์ กรดคาร์บอกริจิกและอะมีน ค่าประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ทั้งทางด้านกระบวนการเรียนรู้และผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้

ประสิทธิภาพของชุดที่ 6 เรื่อง การศึกษาสเตรอริโอมีตัวยแบบจำลองโมเลกุล ค่าประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ทั้งทางด้านกระบวนการเรียนรู้และผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้

ความก้าวหน้าของการใช้ชุดการเรียนทุกชุดอยู่ในช่วง 25.47 % - 37.04 %

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการสร้างชุดการเรียนเพื่อเป็นการพัฒนาการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1 ตามหลักสูตรสถาบันราชภัฏ พ.ศ.2543 หมวดวิชาเฉพาะด้านกลุ่มวิชาเนื้อหา ซึ่งสรุปผลการวิจัยดังต่อไปนี้

5.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อสร้างชุดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1 ซึ่งประกอบด้วยบทเรียน สำเร็จรูปพร้อมคู่มือครุ 6 ชุดที่ให้นักศึกษาได้ศึกษาและปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง โดยเน้นทักษะ และการแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์

5.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ใช้นักศึกษาสถาบันราชภัฏพิบูลสงครามและสถาบันราชภัฏสุราษฎร์ธานี โดยการสร้างชุดดำเนินไปตามแผนที่กำหนดไว้ โดยใช้นักศึกษาที่ทดสอบเป็นรายบุคคล และรายกลุ่มเล็ก (3 – 5 คน) เป็นนักศึกษาโปรแกรมวิชาเคมีชั้นปีที่ 2 ห้องสองสถาบัน ส่วนรายชั้นและรายภาคสนานนั้น สถาบันที่นำไปใช้ทดลองในแต่ละชุดจำนวน 2 สถาบัน คือ สถาบันราชภัฏพิบูลสงครามและสถาบันราชภัฏสุราษฎร์ธานี

5.3 เครื่องมือที่ใช้ มีดังนี้

บทเรียนสำเร็จรูปที่สร้างขึ้น 6 ชุด คือ

ชุดที่ 1 1. การตกผลึกและการหาจุดหลอมเหลว 2. การหาจุดเดือดและการกลั่น

ชุดที่ 2 การสกัดและการแยกสารเคมีจากพิชสมุนไพรด้วยตัวทำละลายและการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ

ชุดที่ 3 การตรวจสอบสารเคมีจากพิชสมุนไพรด้วยเทคนิคอินโนเวอร์โครามาโทกราฟี, คอลัมน์โครามาโทกราฟีและการแยกและการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคเพชรพาร์ฟิโครามาโทกราฟี

ชุดที่ 4 1. การทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

2. การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์และเครื่องดื่ม

ชุดที่ 5 การทดสอบสมบัติของแอลกอฮอล์กรดcarboxylic และอนุพันธ์และอะมีน

ชุดที่ 6 การศึกษาเอนไซม์ด้วยแบบจำลองโมเลกุล

แบบสอบถามวัดเจตคติ

แบบประเมินผลตนเองก่อนและหลังเรียน

5.4 การรวมข้อมูลและสถิติที่ใช้

การรวมข้อมูลสร้างข้อสอบถามก่อนใช้ (Pretest) และหลังใช้ (Posttest) บทเรียนแต่ละชุด เพื่อนำผลสัมฤทธิ์ของการเรียนของบทเรียนสำเร็จรูป

รวมรวมแบบทดสอบเจตคติของนักศึกษาที่มีต่อบทเรียนสำเร็จรูป

ประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป

สรุปสถิติที่ใช้ สถิติพื้นฐานใช้โปรแกรม SPSS / PC ในการวิเคราะห์หาค่าสถิติพื้นฐาน ค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความเชื่อมั่น หรือความเที่ยงของเครื่องมือด้วย

5.5 สรุปผลการวิจัย สรุปผลการวิจัยในด้านความคิดเห็นของผู้เรียนต่อชุดการเรียนดังนี้

- วัตถุประสงค์ ขั้นตอนการใช้ การนำเสนอเนื้อหาของชุดการเรียนทุกชุดมีความชัดเจนดี
- ผู้เรียนได้ใช้เครื่องมือในการทดลองเป็นอย่างดี
- เนื้อหาในชุดบทเรียนทุกชุดมีความเหมาะสม และผู้เรียนเกิดการเรียนรู้โดยใช้ความคิดและใช้เหตุผลตามหลักวิทยาศาสตร์
- คำสั่ง คำถ้า หรือคำชี้แจงมีความชัดเจนดีและปฏิบัติได้
- แบบวัดผลมีความเหมาะสม ผลการทดสอบสมมติฐาน “การเรียนการสอนโดยใช้ชุดการเรียนแบบปฏิบัติการทดลอง จะทำให้ผู้เรียนมีเจตคติ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และมีความชำนาญและเชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น” ได้ผลว่า หลังการเรียนโดยใช้ชุดการเรียนนักศึกษามีการเรียนรู้และมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และมีความชำนาญและเชี่ยวชาญการใช้เครื่องมือในการทดลองปฏิบัติการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
- ค่าประสิทธิภาพของชุดการเรียนคำนวนโดยการหาประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) และหาค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) การแปลความหมายโดยการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ $E_1 : E_2 = 75 : 75$ ประสิทธิภาพของบทเรียนปฏิบัติการที่อยู่ภายใต้เกณฑ์คือบทเรียนสำเร็จรูปชุดที่ 1 ชุดที่ 4 ชุดที่ 5 และชุดที่ 6 สรุปชุดที่

สูงกว่าเกณฑ์มี 2 ชุด คือบทเรียนสำเร็จฐานปฐดที่ 2 และชุดที่ 3 มีค่าประสิทธิภาพของชุดการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ ชุดการเรียนที่ 3 เรื่องการตรวจสอบสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยเทคนิค TLC, CC และ PTLC มีค่า $E_1 : E_2 = 85.95 : 84.83$

5.6 อภิปรายผล

ภายหลังจากการเรียนโดยใช้ชุดการเรียนการสอนที่สร้างขึ้นจากการวัดค่าประสิทธิภาพของชุดการเรียนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ชุดการเรียนมีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ และหลังจากการเรียนโดยใช้ชุดการเรียนแล้วนักศึกษามีการเรียนรู้ที่สูงขึ้น ได้เรียนรู้และลงมือปฏิบัติ และค้นพบหลักการที่สำคัญของเรื่องต่าง ๆ ได้ด้วยตนเอง สามารถตอบคำถาม บรรยายสรุปนลักษณะ ขอมาเป็นข้อสรุปของตนเองได้ และมีทักษะทางด้านปฏิบัติการที่สูงขึ้นขั้นเดียว เนื่องจากได้ศึกษาและลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง และเมื่อประสบปัญหา ก็สามารถคิดหาวิธีการแก้ปัญหาและลงมือแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง จนสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของการทดลองในแต่ละเรื่อง ทำให้เกิดความชำนาญและสามารถนำเทคนิคและความรู้ความสามารถที่เรียนรู้ได้ด้วยตนเองไปแก้ปัญหานอกสถานการณ์อื่นได้ ส่วนทางด้านเจตคติของนักศึกษาที่มีต่อชุดการเรียนนั้น พบร่วมกับนักเรียนโดยศึกษาและลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง แล้วพบว่านักศึกษามีความพอใจ และสิ่งที่ศึกษาจากการทดลองมีความเป็นรูปธรรมมากขึ้น ทำให้นักศึกษามีเจตคติที่ดี มีความเข้าใจ ความสนใจ ทำให้เกิดความสนุก กระตือรือร้นต่อการเรียนมาก ทำให้มีเจตคติต่อการศึกษาวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1 ไปในทางบวกสูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

- ชุดการเรียนแบบสำเร็จฐานปฐดที่สร้างขึ้นชุดนี้น่าจะสามารถนำไปใช้กับนักศึกษาในระดับปริญญาตรีในสาขาวิทยาศาสตร์ และนำไปใช้กับนักศึกษาสถาบันราชภัฏห้้ง 41 แห่ง เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ทางด้านปฏิบัติการทางสาขาวิชาเคมีอินทรีย์อย่างใช้เหตุใช้ผล เกิดทักษะและการแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และมีความชำนาญในการใช้เครื่องมือในการปฏิบัติการทดลอง
- ชุดการเรียนบทเรียนสำเร็จฐานปฐดที่สร้างขึ้นน่าจะเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนแบบ Laboratory approach สำหรับสถาบันอุดมศึกษาได้

ประวัติกรรม

บรรณานุกรม

ประดิษฐ์ มีสุข. คู่มือปฏิการเคมีอินทรีย์และชีวเคมีเบื้องต้น. สำนักพิมพ์โอดี้ยน
สโตร์. กรุงเทพมหานคร, 2538.

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. ปฏิการเคมีอินทรีย์, 2538.

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ปฏิการเคมี
อินทรีย์, 2538.

ยุพิน พิพิธกุล. การเรียนการสอนเคมีศาสตร์. กรุงเทพฯ, บพิพิธการพิมพ์, 2535.

ลาวัลย์ พลกล้า. การสอนเคมีศาสตร์แบบปฏิการ. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2523.

วิจัย ดิสสระ. การพัฒนาหลักสูตรและการสอน. กรุงเทพฯ, สวีริยะสาสน์, 2535.

ศริเพ็ญ มากบุญ. การพัฒนาแบบฝึกเพื่อเสริมสร้างสมรรถภาพทางการวิจัยสำหรับ
นักศึกษาครู. สถาบันราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี, 2541.

ธุจิตรา สุขมานันท์. การวิจัยเชิงปฏิการ : ผลของการจัดกิจกรรมการเรียน
เคมีศาสตร์แบบปฏิการในโรงเรียนที่จัดชั้นเรียนแบบรวมชั้น. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประสานมิตร, 2542.

สำนักมาตรฐานการศึกษา, สำนักงานสภาพัฒนาบ้านราชภัฏ. หลักสูตรสถาบันราชภัฏ
พุทธศึกษา 2543. กรุงเทพฯ, 2543.

เทอดศักดิ์ จันทร์อรุณ. การศึกษาการจัดการเรียนวิชาการและการตัดสินใจแบบชุด
วิชา, 2545.

อุไรวรรณ วิจารณกุลและคณะ. การวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนโดยเน้นการ
ปฏิบัติและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในสถาบันราชภัฏ : ชุดการเรียนชีววิทยา. 2543.

Dannley,R.I.and Crum,J.D.Experimental Organic Chemistry,2^d Printing,The
Macmillan company,1969.

Fishel,D.L.and Fort, R.C. Modern Experimental Organic Chemistry,The
Macmillan company,1971.

Hart, H.and Schuetz, R.C. Laboratory Manual for Organic Chemistry,
Houghton Mifflin Company, 1967.

Houston and others. Development Instruction Modules. Houston,
Texas,College of Education,University of Texas, 1972.

Lawrence,C.A. "Curriculum-Marking in the United States" Teachers College Record. December,1973.

Volgel,A.I.A. Text-Book of Practical Organic Chemistry,3rd Edition,Longman Group Limited,1973.

ภาคผนวก ก

การคำนวณหาประสิทธิภาพของบทปฎิบัติการ

บทเรียนสำเร็จชุดที่ 1

เรื่อง 1.1 การตอกผึ้งและการหาจุดหลอนเหลว

1.2 การกลั่นและการหาจุดเดือด

คันที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D*D
1	8	19	20	11	121
2	9	23	22	14	196
3	10	21	22	11	121
4	10	18	20	8	64
5	10	20	21	10	100
6	11	24	23	13	169
7	9	20	21	11	121
8	10	23	22	13	169
9	7	20	20	13	169
10	14	24	23	10	100
11	13	21	22	8	64
12	13	20	21	7	49
13	9	20	21	11	121
14	8	23	23	15	225
15	9	20	22	11	121
16	7	20	22	13	169
17	8	20	21	12	144
18	12	24	23	12	144
19	8	24	23	16	256
20	10	23	22	13	169
21	9	20	23	11	121
22	11	24	23	13	169
23	9	24	23	15	225
24	11	24	22	13	169
25	6	24	22	18	324
26	12	24	23	12	144
27	9	21	22	12	144

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D^*D
28	7	12	18	5	25
29	10	16	20	6	36
30	7	15	19	8	64
31	5	15	17	10	100
32	13	18	20	5	25
33	10	16	20	6	36
34	8	13	18	5	25
35	7	12	18	5	25
36	4	14	14	10	100
37	6	13	19	7	49
38	6	15	18	9	81
39	7	14	18	7	49
40	8	13	17	5	25
41	7	14	18	7	49
42	8	20	21	12	144
43	12	18	22	6	36
44	10	20	21	10	100
45	8	16	20	8	64
46	12	18	22	6	36
47	10	18	22	8	64
48	10	16	21	6	36
49	10	18	21	8	64
50	10	21	22	11	121
51	10	16	20	6	36
52	7	13	15	6	36
53	6	12	14	6	36
54	8	18	20	10	100

ค่าที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D^*D
55	8	14	15	6	36
56	6	12	13	6	36
57	10	18	20	8	64
58	12	19	20	7	49
59	8	18	20	10	100
60	4	10	12	6	36
61	6	17	19	11	121
62	10	16	17	6	36
63	6	15	17	9	81
64	6	14	16	8	64
65	7	15	17	8	64
66	9	19	21	10	100
67	8	18	21	10	100
68	11	18	20	7	49
69	10	15	18	5	25
70	10	21	22	11	121
71	9	20	21	11	121
72	10	16	19	6	36
73	8	15	20	7	49
รวม	646	1,319	1,460	676	6,932

ชุดที่ 1

หมายเหตุ ขั้นชั้นและความหมายที่ใช้กับสัญลักษณ์ทางสถิติ

ก = คะแนนก่อนเรียน

ล = คะแนนหลังเรียน

บ = คะแนนกระบวนการ

$$\bar{X}_n = \frac{646}{73} = 8.85$$

$$\bar{X}_n = \frac{1,319}{73} = 18.07$$

$$\bar{X}_u = \frac{1,460}{73} = 20.0$$

$$E_1 = \frac{20}{25} \times 100 = 80 \%$$

$$E_2 = \frac{18.07}{25} \times 100 = 72.28 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพของแบบฝึก} = E_1 / E_2 = \frac{80}{72.28} = 1.107$$

$$\text{ร้อยละความก้าวหน้า} = \frac{18.07 - 8.85}{25} \times 100 = 36.88 \%$$

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}}$$

$$t = \frac{676}{\sqrt{\frac{(73 \times 6,932) - (676)^2}{73-1}}}$$

$$t = 25.8970$$

บทเรียนสำเร็จชุดที่ 2

เรื่อง 2.1 การสกัดสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลาย
2.2 การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชด้วยไอน้ำ

คันที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D*D
1	10	17	18	7	49
2	15	20	21	5	25
3	13	20	20	7	49
4	14	18	18	4	16
5	13	20	20	7	49
6	17	22	21	5	25
7	13	20	20	7	49
8	17	22	20	5	25
9	14	20	21	6	36
10	12	18	19	6	36
11	10	17	18	7	49
12	13	20	19	7	49
13	13	20	20	7	49
14	14	20	21	6	36
15	10	17	18	7	49
16	12	20	19	8	64
17	10	20	20	10	100
18	12	20	20	8	64
19	10	20	21	10	100
20	13	22	21	9	81
21	13	20	20	10	100
22	10	17	18	7	49
23	10	20	20	10	100
24	10	22	21	12	144
25	17	24	22	7	49
26	10	20	20	10	100
27	19	22	21	12	144

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D^*D
28	10	22	21	12	144
29	12	22	26	10	100
30	16	22	21	6	36
31	10	20	21	10	100
32	15	24	23	9	81
33	18	24	23	6	36
34	10	17	20	7	49
35	12	22	22	10	100
36	13	18	20	5	25
37	10	16	20	6	36
38	10	18	21	8	64
39	13	22	23	9	81
40	10	18	20	8	64
41	10	17	19	7	49
42	10	18	20	8	64
43	11	18	21	7	49
44	10	18	20	8	64
45	10	16	18	6	36
46	13	20	21	7	49
47	10	18	20	8	64
48	10	17	20	7	49
49	12	22	23	10	100
50	10	20	21	10	100
51	11	18	21	8	64
52	11	23	22	10	100
53	11	22	23	8	64
54	11	22	23	7	49

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D*D
55	10	19	21	9	81
56	10	20	21	10	100
57	10	19	20	9	81
58	10	18	20	8	64
59	10	19	21	9	81
60	7	17	20	10	100
61	10	19	22	9	81
62	10	19	22	9	81
63	10	19	20	9	81
64	12	19	20	7	49
65	10	17	18	7	49
66	12	19	19	7	49
67	12	18	18	6	36
68	10	18	19	8	64
69	10	18	18	8	64
70	12	19	20	7	49
71	10	17	18	7	49
72	11	20	20	9	81
73	10	18	19	8	64
74	10	18	18	8	64
75	10	17	17	7	49
76	15	23	22	8	64
77	10	20	21	10	100
78	10	20	21	10	100
รวม	902	1,523	1,579	622	5,184

ชุดที่ 2 การละลาย

หมายเหตุ อัตราและความหมายที่ใช้กับสัญลักษณ์ทางสถิติ

ก = คะแนนก่อนเรียน

ล = คะแนนหลังเรียน

บ = คะแนน平均บวนการ

$$\bar{X}_n = \frac{902}{78} = 11.57$$

$$\bar{X}_n = \frac{1,523}{78} = 19.53$$

$$\bar{X}_u = \frac{1,579}{78} = 20.24$$

$$E_1 = \frac{20.24}{25} \times 100 = 80.96 \%$$

$$E_2 = \frac{19.53}{25} \times 100 = 78.12 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพของแบบฝึก} = E_1 / E_2 = \frac{80.96}{78.12} = 1.04$$

$$\text{ร้อยละความก้าวหน้า} = \frac{19.53 - 11.53}{25} \times 100 = 32 \%$$

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{n \frac{\sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}}$$

$$t = \frac{622}{\sqrt{\frac{(78 \times 5,184) - (622)^2}{78-1}}}$$

$$t = 41.2960$$

บทเรียนสำเร็จรูปที่ 3

เรื่อง 3.1 การสกัดสารเคมีจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลาย
3.2 การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชด้วยไอน้ำ

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D*D
1	15	20	21	5	25
2	15	20	21	5	25
3	15	23	23	8	64
4	12	23	24	11	121
5	10	23	23	13	169
6	14	20	21	6	36
7	15	23	23	8	64
8	15	23	23	8	64
9	13	23	23	10	100
10	12	20	21	8	64
11	9	20	21	11	121
12	10	23	23	13	169
13	10	23	23	13	169
14	13	23	23	10	100
15	14	18	19	4	16
16	12	22	23	11	121
17	15	23	22	7	49
18	15	23	23	8	64
19	15	24	24	9	81
20	17	23	23	6	36
21	10	20	23	10	100
22	15	23	22	8	64
23	15	22	22	7	49
24	15	23	23	8	64
25	15	23	24	8	64
26	15	23	23	8	64
27	14	20	21	6	36

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D*D
28	18	25	25	7	49
29	13	23	24	10	100
30	18	25	25	7	49
31	15	25	25	10	100
32	13	23	24	10	100
33	15	23	24	8	64
34	18	25	25	7	49
35	13	23	24	10	100
36	12	19	20	7	49
37	16	19	20	3	9
38	13	17	18	4	16
39	16	19	20	3	9
40	16	18	18	2	4
41	11	18	18	7	49
42	12	18	18	6	36
43	12	19	20	7	49
44	11	17	16	6	36
45	11	20	19	9	81
46	13	18	18	5	25
47	10	16	16	6	36
48	10	17	18	7	49
49	9	17	18	8	64
50	14	20	21	6	36
51	15	21	22	6	36
52	14	21	23	7	49
53	11	20	21	9	81
54	15	21	22	6	36

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D^*D
55	12	21	20	9	81
56	10	21	20	11	121
57	11	23	22	12	144
58	13	22	22	9	81
59	15	21	23	6	36
60	12	20	21	8	64
61	11	18	19	7	49
62	15	23	22	8	64
63	15	23	21	8	64
64	11	23	22	12	144
65	12	22	21	10	100
66	9	23	20	14	196
67	12	20	21	8	64
68	13	22	21	9	81
69	12	18	20	6	36
70	13	23	24	10	100
71	12	20	22	8	64
72	9	16	18	7	49
รวม	954	1,524	1,547	574	5,056

ชุดที่ 3 TLC

หมายเหตุ อักษรและความหมายที่ใช้กับสัญลักษณ์ทางสถิติ

ก = คะแนนก่อนเรียน

ล = คะแนนหลังเรียน

บ = คะแนนกระบวนการ

$$\bar{X}_n = \frac{954}{72} = 13.25$$

$$\bar{X}_n = \frac{1,524}{72} = 21.17$$

$$\bar{X}_u = \frac{1,547}{72} = 21.47$$

$$E_1 = \frac{1,547/72}{25} \times 100 = 85.95 \%$$

$$E_2 = \frac{1,524/72}{25} \times 100 = 84.83 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพห้องเรียนเบ็ดเตล็ด} = E_1 / E_2 = \frac{85.59}{84.83} = 1.01$$

$$\text{ร้อยละความว้าวหน้า} = \frac{21.17 - 13.25}{25} \times 100 = 31.68 \%$$

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}}$$

$$t = \frac{574}{\sqrt{\frac{(72 \times 5,056) - (574)^2}{72-1}}}$$

$$t = 26.0190$$

บทเรียนสำเร็จชุดที่ 4

เรื่อง 4.1 การทดสอบสารประกอบไฮโดรคาร์บอน
4.2 การทดสอบสารประกอบแอลดีไฮด์และ酇ีโคน

คันที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D*D
1	10	23	23	13	169
2	16	23	22	7	49
3	9	20	21	11	121
4	12	21	20	9	81
5	14	20	20	6	36
6	13	21	22	8	64
7	13	20	21	7	49
8	10	19	20	9	81
9	11	20	21	9	81
10	12	21	20	9	81
11	12	19	18	7	49
12	11	18	18	7	49
13	10	17	18	7	49
14	10	23	22	13	169
15	15	22	22	7	49
16	12	21	22	9	81
17	11	20	21	9	81
18	13	21	21	8	64
19	9	20	20	11	121
20	13	22	21	9	81
21	12	20	21	8	64
22	12	22	21	10	100
23	17	24	22	7	49
24	13	21	22	8	64
25	15	22	22	7	49
26	13	21	20	8	64
27	6	20	21	14	196

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D*D
28	6	20	21	14	196
29	8	19	20	11	121
30	9	20	21	11	121
31	13	19	20	6	36
32	10	19	20	9	81
33	9	19	20	10	100
34	7	22	23	15	225
35	5	15	17	10	100
36	7	18	19	11	121
37	3	10	12	7	49
38	8	19	20	11	121
39	13	19	20	6	36
40	8	20	21	12	144
41	7	19	20	12	144
42	9	19	20	10	100
43	10	17	18	7	49
44	6	15	16	9	81
45	9	18	19	9	81
46	7	19	20	12	144
47	13	21	20	8	64
48	13	19	20	6	36
49	10	18	19	8	64
50	13	19	20	6	36
51	7	21	20	14	196
52	9	18	19	9	81
53	8	18	18	10	100
54	3	17	18	14	196

คณที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D^*D
55	7	13	15	6	36
56	8	16	17	8	64
57	12	18	19	6	36
58	12	21	20	9	81
59	12	19	20	7	49
60	6	13	15	7	49
61	13	21	20	8	64
62	11	20	20	9	81
63	6	14	16	8	64
64	10	18	20	8	64
65	5	20	21	15	225
66	6	12	16	6	36
67	7	20	21	13	169
68	5	12	17	7	49
69	8	16	19	8	64
70	10	16	19	6	36
71	7	19	21	12	144
72	13	21	22	8	64
73	6	14	18	8	64
74	8	19	20	11	121
75	6	12	14	6	36
76	10	18	19	8	64
77	5	15	17	10	100
78	7	15	16	8	64
79	5	11	17	6	36
80	10	18	20	8	64
81	6	13	15	7	49

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D^*D
82	10	18	20	8	64
83	10	16	18	6	36
84	7	19	20	12	144
85	9	22	22	13	169
86	10	18	20	8	64
87	7	19	20	12	144
88	6	12	15	6	36
89	5	17	18	12	144
90	7	18	18	11	121
91	8	21	20	13	169
92	5	15	18	10	100
93	5	18	17	13	169
94	6	21	20	15	225
95	6	20	20	14	196
96	4	12	14	8	64
97	6	18	19	12	144
98	4	14	15	10	100
99	5	12	13	7	49
100	7	20	20	13	169
101	5	17	18	12	144
102	6	15	17	9	81
103	6	16	17	10	100
104	5	12	14	7	49
105	7	21	20	14	196
106	6	14	16	8	64
107	6	19	20	13	169
108	4	12	14	8	64

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D*D
109	6	12	15	6	36
110	7	18	17	11	121
111	5	15	16	10	100
112	5	12	15	7	49
113	8	22	20	14	196
114	5	12	14	7	49
115	6	13	15	7	49
116	6	18	16	12	144
117	5	16	14	11	121
118	4	12	14	8	64
119	5	12	15	7	49
120	5	16	17	11	121
121	6	16	16	10	100
122	8	16	18	8	64
123	13	19	18	6	36
124	10	17	16	7	49
125	10	17	17	7	49
126	10	17	18	7	49
127	10	15	16	5	25
128	8	18	19	10	100
129	10	18	20	8	64
130	10	20	19	10	100
131	10	17	18	7	49
132	10	19	18	9	81
133	10	19	20	9	81
134	10	18	19	8	64
135	10	16	18	6	36
รวม	1,160	2,400	2,520	1,237	12,207

ชุดที่ 4

หมายเหตุ อักษรและความหมายที่ใช้กับสัญลักษณ์ทางสถิติ

ก = คะแนนก่อนเรียน

ล = คะแนนหลังเรียน

บ = คะแนนกระบวนการ

$$\bar{X}_n = \frac{1,160}{135} = 8.59$$

$$\bar{X}_n = \frac{2,400}{135} = 17.78$$

$$\bar{X}_u = \frac{2,520}{135} = 18.87$$

$$E_1 = \frac{18.81}{25} \times 100 = 75.48 \%$$

$$E_2 = \frac{17.78}{25} \times 100 = 71.12 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพของแบบฝึก} = E_1 / E_2 = \frac{75.48}{71.12} = 1.06$$

$$\text{ร้อยละความก้าวหน้า} = \frac{17.78 - 8.59}{25} \times 100 = 37.04 \%$$

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}}$$

$$t = \frac{1,237}{\sqrt{\frac{(135 \times 12,207) - (1,237)^2}{135-1}}}$$

$$t = 41.7249$$

บทเรียนสำเร็จชุดที่ 5

เรื่อง การทดสอบสารประกอบกลุ่มของกรดคาร์บอซิลิกและอะมีน

คันที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D*D
1	8	12	12	4	16
2	8	12	12	4	16
3	7	13	14	6	36
4	6	12	13	6	36
5	7	14	15	7	49
6	10	14	13	4	16
7	10	16	15	6	36
8	9	16	15	7	49
9	11	17	16	6	36
10	8	14	14	6	36
11	12	18	17	6	36
12	5	13	13	8	64
13	8	14	15	6	36
14	7	15	14	8	64
15	3	10	10	7	49
16	10	17	17	7	49
17	9	15	14	6	36
18	8	14	15	6	36
19	9	15	14	6	36
20	10	15	15	5	25
21	8	13	14	5	25
22	10	17	17	7	49
23	10	15	16	5	25
24	10	16	16	6	36
25	10	17	18	7	49
26	10	16	17	6	36
27	7	12	13	5	25

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D*D
28	10	16	17	6	36
29	8	14	13	6	36
30	8	14	15	6	36
31	5	13	14	8	64
32	4	14	15	10	100
33	10	16	17	6	36
34	10	17	17	7	49
35	10	15	16	5	25
36	10	16	15	6	36
37	11	18	17	7	49
38	10	15	16	5	25
39	8	15	16	7	49
40	8	14	15	6	36
41	9	15	16	6	36
42	8	14	15	6	36
43	8	13	14	5	25
44	10	15	16	5	25
45	10	15	16	5	25
46	10	15	16	5	25
47	7	15	17	8	64
48	9	15	17	6	36
49	8	16	18	8	64
50	7	14	15	7	49
51	8	14	16	6	36
52	10	15	17	5	25
53	10	16	17	6	36
54	10	16	18	6	36

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D*D
55	8	15	16	7	49
56	10	17	18	7	49
57	10	16	17	6	36
58	10	17	18	7	49
59	10	16	17	6	36
60	10	16	17	6	36
61	8	15	16	7	49
62	7	14	15	7	49
63	8	15	15	7	49
64	9	17	16	8	64
65	10	15	15	5	25
66	10	16	16	6	36
67	10	17	17	7	49
68	11	16	15	5	25
69	10	15	14	5	25
70	12	20	19	8	64
71	10	18	19	8	64
72	8	15	16	7	49
73	9	15	15	6	36
74	10	16	16	6	36
75	10	19	19	9	81
รวม	664	1,137	1,169	471	3,053

ชุดที่ 5

หมายเหตุ จักษรและความหมายที่ใช้กับสัญลักษณ์ทางสถิติ
 ก = คะแนนก่อนเรียน
 ล = คะแนนหลังเรียน
 บ = คะแนนระหว่างการ

$$\bar{X}_n = \frac{664}{75} = 8.8533$$

$$\bar{X}_n = \frac{1,137}{75} = 15.16$$

$$\bar{X}_u = \frac{1,169}{75} = 15.5866$$

$$E_1 = \frac{15.5866}{25} \times 100 = 77.9335 \%$$

$$E_2 = \frac{15.16}{25} \times 100 = 75.8000 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพของแบบฝึก} = E_1 / E_2 = \frac{77.9335}{75.8000} = 1.02814$$

$$\text{ร้อยละความก้าวหน้า} = \frac{15.16 - 8.85}{25} \times 100 = 31.55 \%$$

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}}$$

$$t = \frac{471}{\sqrt{\frac{(75 \times 3.053) - (471)^2}{75-1}}}$$

$$t = 47.970$$

บทเรียนสำเร็จรูปที่ 6
เรื่อง การศึกษาสเตอริโอิเคมีด้วยแบบจำลองโนเลกุล

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	กระบวนการ (25)	D	D*D
1	8	16	17	8	64
2	11	18	17	7	49
3	6	11	12	5	25
4	10	16	17	6	36
5	9	14	15	5	25
6	9	15	16	6	36
7	11	16	16	5	25
8	12	18	17	6	36
9	11	17	18	6	36
10	10	15	16	5	25
11	8	14	15	6	36
12	5	10	12	5	25
13	6	12	14	6	36
14	7	12	13	5	25
15	12	18	17	6	36
16	11	17	17	6	36
17	10	16	17	6	36
18	11	17	18	6	36
19	9	14	15	5	25
20	9	15	16	6	36
21	12	18	18	6	36
22	10	16	17	6	36
23	12	19	19	7	49
24	11	17	18	6	36
25	6	12	13	6	36
26	7	15	16	8	64
27	8	16	17	8	64

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D*D
28	11	17	16	6	36
29	7	12	13	5	25
30	11	16	17	5	25
31	6	10	11	4	16
32	8	14	15	6	36
33	10	15	16	5	25
34	11	16	16	5	25
35	11	15	16	4	16
36	10	14	15	4	16
37	11	16	17	5	25
38	10	14	15	4	16
39	8	13	14	5	25
40	9	14	15	5	25
41	10	15	16	5	25
42	11	16	16	5	25
43	12	17	17	5	25
44	10	15	16	5	25
45	11	16	16	5	25
46	12	17	17	5	25
47	9	15	16	6	36
48	10	14	15	4	16
49	11	16	16	5	25
50	12	18	18	6	36
51	10	14	15	4	16
52	11	15	14	4	16
53	10	14	14	4	16
54	11	15	15	4	16

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (25)	คะแนน หลังเรียน (25)	คะแนน กระบวนการ (25)	D	D*D
55	10	15	16	5	25
56	11	16	17	5	25
57	10	14	15	4	16
58	12	16	14	4	16
59	11	15	15	4	16
60	12	17	16	5	25
61	13	18	17	5	25
62	11	16	15	5	25
63	12	14	15	2	4
64	10	13	14	3	9
65	12	17	16	5	25
66	13	18	17	5	25
67	10	14	15	4	16
68	9	12	13	3	9
69	10	14	15	4	16
70	11	15	16	4	16
71	12	16	16	4	16
72	10	14	15	4	16
73	11	16	17	5	25
74	12	17	17	5	25
75	10	15	16	5	25
รวม	759	1,141	1,171	383	2,037

ชุดที่ 6

หมายเหตุ ขั้นตอนและความหมายที่ใช้กับสัญลักษณ์ทางสถิติ

ก = คะแนนก่อนเรียน

ล = คะแนนหลังเรียน

บ = คะแนนกระบวนการ

$$\bar{X}_n = \frac{759}{75} = 10.12$$

$$\bar{X}_n = \frac{1,141}{75} = 15.213$$

$$\bar{X}_u = \frac{1,171}{75} = 15.6133$$

$$E_1 = \frac{15.6133}{25} \times 100 = 78.0667 \%$$

$$E_2 = \frac{15.213}{25} \times 100 = 76.065 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพของแบบฝึก} = E_1 / E_2 = \frac{78.0667}{76.065} = 1.0263$$

$$\text{ร้อยละความก้าวหน้า} = \frac{15.213 - 10.12}{10.12} \times 100 = 25.465 \%$$

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}}$$

$$t = \frac{383}{\sqrt{\frac{(75 \times 2,037) - (383)^2}{75-1}}}$$

$$t = 42.2317$$

ภาคผนวก ๖
เครื่องมือวิจัย

แบบประเมินชุดการเรียน (สำหรับนักศึกษา)

คำชี้แจง หลังจากนักศึกษาเรียนจบการเรียนนี้แล้ว โปรดแสดงความคิดเห็นโดยทำเครื่องหมาย x
ในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุดเพียงช่องเดียว

5 = มากที่สุด 4 = มาก 3 = ปานกลาง 2 = น้อย 1 = น้อยที่สุด

หัวข้อ	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. วัตถุประสงค์ของการเรียนเข้าใจง่าย					
2. ขั้นตอนในการใช้ชุดการเรียนแบบอิเล็กทรอนิกส์ชัดเจน					
3. ท่านมีโอกาสใช้เครื่องมือในการทดลอง					
4. ท่านเกิดความสนุกเพลิดเพลินกับการทดลอง					
5. ชุดการเรียนนี้ช่วยให้ท่านเกิดการเรียนรู้อย่างไร้ความคิดและเหตุผล					
6. ภาระนำเสนอหน้าง่าย กระชับและชัดเจนดี					
7. ท่านเข้าใจเนื้อหาที่เสนอได้ในชุดนี้ดี					
8. เนื้อหาไม่ยากเกินไป					
9. เนื้อหาไม่ยากเกินไป					
10. ศัพท์ที่ใช้มียากเกินไป					
11. รูปภาพประกอบช่วยให้ท่านเกิดความเข้าใจดียิ่งขึ้น					
12. คำอ่านที่ใช้เข้าใจง่ายและสามารถหาคำตอบได้					
13. ค้าสั่งนี้ช่วยให้ค้าชี้แจงในใบงานเข้าใจง่ายและท่านปฏิบัติตามได้					
14. เทคนิคที่กำหนดให้พอดี ไม่มากไม่น้อยเกินไป					
15. แบบวัดผลด้วยตนเองเหมาะสม					

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างชุดบทเรียนสำเร็จรูปและคู่มือครุ

บทเรียนสำเร็จรูปที่ 1

การตกผลึกและการหาจุดหลอมเหลว

CRYSTALLIZATION AND MELTING POINT DETERMINATION

และ

การหาจุดเดือดและการกลั่น

BOILING POINT AND DISTILLATION

โดย

กุลยา จันทร์อรุณ

โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันราชภัฏพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก

2544

คำแนะนำในการใช้บทเรียนสำเร็จรูป

1. ทำแบบทดสอบก่อนเรียนของบทเรียนสำเร็จรูป

2. ศึกษาบทเรียนสำเร็จรูปสำหรับนักศึกษา บทเรียนนี้ประกอบด้วยบทปฏิบัติการทดลอง 7 การทดลอง ใช้เวลาทั้งสิ้น 9 คืน คือ

- | | |
|--|------------|
| - การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในการคอกพลีก | เวลา 2 คืน |
| - การคอกพลีก Acetanilide | เวลา 1 คืน |
| - การคอกพลีกสารตัวอย่าง (Unknown) | เวลา 1 คืน |
| - การวัดช่วงจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์ | เวลา 1 คืน |
| - การวัดช่วงจุดหลอมเหลวของสารผสม | เวลา 1 คืน |
| - การกลั่นแบบธรรมชาติ | เวลา 2 คืน |
| - การหาจุดเดือดของเหลวแบบจุลภาค | เวลา 1 คืน |

โดยศึกษาทีละเรื่องในระยะเวลาที่กำหนด ถ้าต้องการทราบรายละเอียดในเรื่องนั้นๆ ให้ศึกษาเพิ่มเติมจากส่วนที่เป็นเนื้อหาท้ายบทเรียน

3. ปฏิบัติการทดลองตามกิจกรรมที่กำหนด

4. รายงานผลการทดลองตามกิจกรรมในบทเรียน

5. ตอบคำถามท้ายการทดลอง

6. ทำแบบทดสอบหลังจากเรียนจบชุดการเรียนนี้แล้ว ตามที่ผู้สอนมอบหมาย

7. นักศึกษาสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสืออ่านประกอบที่เสนอแนะไว้

ท้ายบทเรียน

บทเรียนสำหรับนักศึกษา

ตอนที่ 1 การตกผลึก และการหาจุดหลอมเหลว

ตอนที่ 1.1 การตกผลึก (Crystallization)

1. การตกผลึก การตกผลึกเป็นวิธีการทำสารที่เป็นของแข็งให้บริสุทธิ์โดยอาศัยสมบัติในการละลายของสารในตัวทำละลายที่เหมาะสม สารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการหรือแยกออกจากได้จากสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติส่วนมากจะไม่บริสุทธิ์ เพราะมีสารอื่นปนอยู่ (Impurities)

การตกผลึกเป็นการเปลี่ยนของแข็งในรูปต่าง ๆ ให้เป็นรูปผลึก โครงร่างผลึก (Crystal lattice) ของสารแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างโน้มถ่วงของสารชนิดเดียวกันขึ้นกับของแข็งเดิม โครงร่างผลึกของสารแต่ละชนิดจะมีรูปร่างและลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างกันออกไป วิธีการตกผลึกนี้ใช้กันมากคือการทำให้สารที่เป็นของแข็งตกผลึกจากสารละลายโดยการเตรียมให้สารที่จะทำให้บริสุทธินั้นอิ่มตัว (Saturated) ณ จุดเดือดของตัวทำละลาย (Solvent) โดยการเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในการตกผลึกคือ ตัวทำละลายที่มีสมบัติละลายสารได้ดีที่อุณหภูมิสูง แต่ละลายสารได้น้อยที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อต้มสารผ่านระหว่างของแข็งที่จะตกผลึกกับตัวทำละลายจนเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันแล้วปล่อยให้สารละลายผันลงอย่างช้า ๆ ของแข็งจะค่อยๆ ตกผลึกแยกออกจากสารละลาย ถ้าสารที่ต้องการตกผลึกให้บริสุทธิ์มีสารอื่นเจือปนอยู่ด้วย ตัวทำละลายนั้นควรละลายสารเจือปนได้ดีเมื่อเย็น ซึ่งจะทำให้ไม่ตกเป็นตะกรอนปนกับผลึกบริสุทธิ์ที่แยกตัวออกมา แต่ถ้าสารไม่บริสุทธิ์ที่เจือปนอยู่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่ร้อนก็จะถูกกรองออกไปก่อนในขั้นตอนการกรองสารละลายนั่น และอาจทำให้บริสุทธิ์มากขึ้น โดยการนำผลึกที่ตกครั้งแรกไปทำการตกผลึกซ้ำ (Recrystallization)

ตารางที่ 1 ตัวทำละลายในการตกผลึกสารอินทรีบ

ชื่อตัวทำละลาย	สูตร	จุดเดือด (°C)	การละลายน้ำ	ข้อสังเกต
น้ำ	H_2O	100	-	ระเหยออกมาก มีข้าวสูง
เมทานอล	CH_3OH	65	ได้	ติดไฟง่าย, เป็นพิษ
เอทานอล (95%)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	78	ได้	ติดไฟง่าย, ตัวทำละลายที่ดี
อะซีโคน	$(\text{CH}_3)_2\text{C} = \text{O}$	56	ได้	ติดไฟ, ตัวทำละลายที่ดี
เอทิลอาซีเตท	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	77	ไม่	ติดไฟ, ตัวทำละลายที่ดี
คลอร์ฟอร์ม	CHCl_3	61	ไม่	-
ไคคลอโรเมเทน	CH_2Cl_2	41	ไม่	ใช้ร่วมกับตัวทำละลายชนิดอื่นดี
ไคเอธิลອีเทอร์	$(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{O}$	35	ไม่	ใช้ร่วมกับตัวทำละลายชนิดอื่นดี
เบนซีน	C_6H_6	80	ไม่	ติดไฟ เป็นพิษ, สารก่ออนโนร์ริง
ไฮโดรเจนโซลูชัน ปิโตรเลียมอีเทอร์	C_6H_{12} -	81 30-60	ไม่ ไม่	ติดไฟใช้กับสารไม่มีข้าว ติดไฟเป็นสารผู้สน ไฮดรคาร์บอนนี เพนแทนเป็นหลัก

1.1 การใช้ตัวทำละลายคู่ (Solvent pair) หรือตัวทำละลายผสม

ในกรณีที่สารบางตัวหาตัวทำละลายเดี่ยวที่เหมาะสมไม่ได้ นักเคมีมักจะเลือกใช้ตัวทำละลายคู่ส่องตัวที่ผสมเข้ากันได้โดยเลือกตัวทำละลายตัวหนึ่งสามารถถลายน้ำสารที่เป็นตัวถูกละลายได้หมด และอีกตัวหนึ่งไม่สามารถถลายน้ำได้ ตัวอย่างเช่น สารอินทรีบที่มีข้าวส่วนมากจะละลายได้ดีในแอลกอฮอล์แต่ไม่ละลายในน้ำ ดังนั้นสารอินทรีบซึ่งเป็นตัวถูกละลายจะละลายในเอทานอลที่ร้อนแล้วก่อ ฯ หยดน้ำลงไปทีละหยด จนกระทั่งสารละลายขุ่นแล้วจึงหยดเอทานอลจนหายขุ่น เพื่อลดละลายคงอยู่ใหม่ ผลของสารละลาย (Ethanol - water) คือสารละลายคู่ที่ใช้เพื่อให้เกิดการตกผลึก ตัวอย่างตัวทำละลายที่ใช้เป็นคู่ (ตัวทำละลายผสม) เช่น

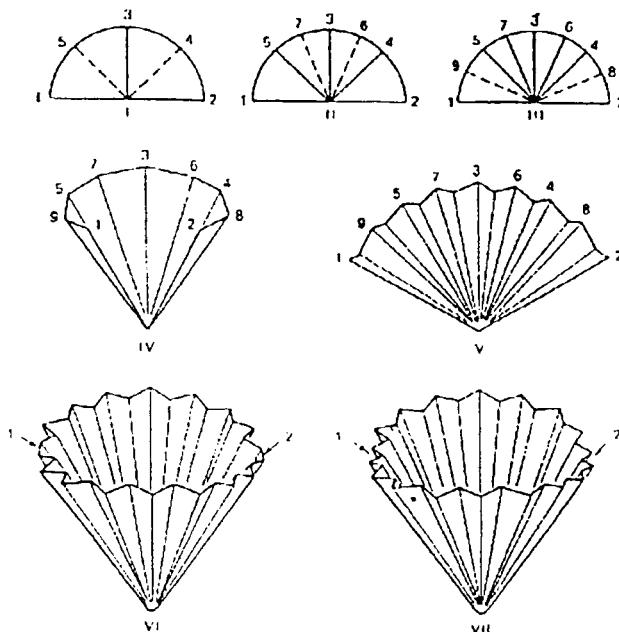
เมทานอล - น้ำ	ไคลอทิลอีเทอร์ - เมทานอล
เอทานอล - น้ำ	ไคลอทิลอีเทอร์ - อะซีโตน
อะซีโตน - น้ำ	ไคลอทิลอีเทอร์ - ปิโตรเลียมอีเทอร์
เบนซิน - ลิโกรอิน	เมทานอล - ไคลอโรมีเทน

(ของผสมของแอลกีน)

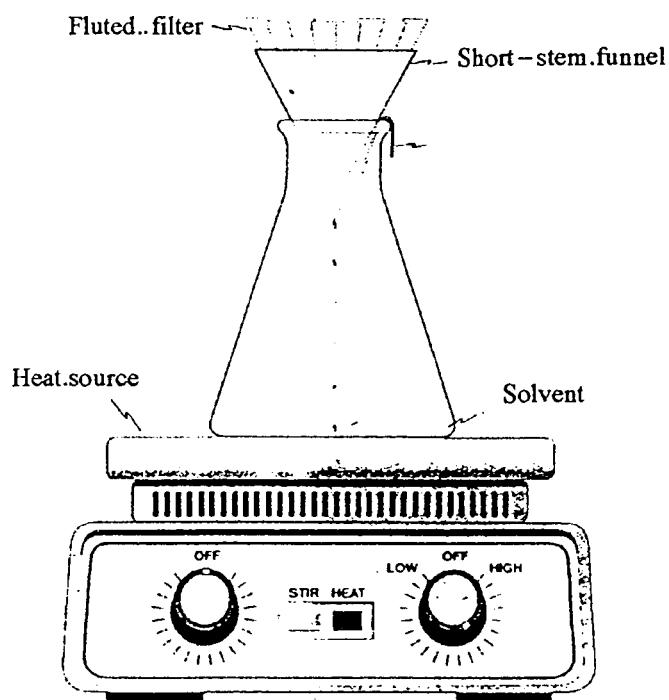
2. วิธีการคอกผึ้ง หลังจากเลือกด้วยว่าทำละลายที่เหมาะสมแล้ว วิธีการคอกผึ้งทำตามขั้นตอนดังนี้

2.1 การละลายสารที่ต้องการคอกผึ้ง โดยใช้ด้วยว่าทำละลายที่เหมาะสมในขั้นตอนนี้ กระบวนการที่พอยาจะ โดยใช้ด้วยว่าทำละลายในปริมาณน้อยเท่าที่จะละลายสารได้หมดพอๆ และเดินอีกเล็กน้อย (ในทางปฏิบัติมักจะใส่ด้วยว่าทำละลายจนทั่วสาร) แล้วนำไปทำให้ร้อนโดยคนสารจะละลายหมด ถ้ายังละลายไม่หมดก่อไป เดินด้วยว่าทำละลายที่ละลายหมด คนจนละลายหมด

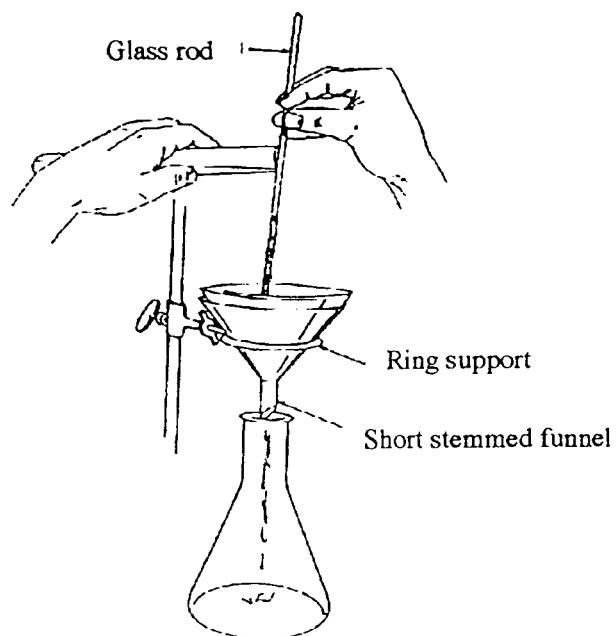
2.2 การกรองสิ่งเจือปนออก ถ้ามีสิ่งเจือปนที่ไม่ละลายอยู่ให้กรองในขณะที่ร้อนโดยใช้กรวยกรองก้านสั้น กรองโดยใช้วิธีกรองแบบธรรมชาติ (Gravitation filtration) ใช้กระดาษกรองแบบพับชิบ (Fluted filterpaper) ดังรูป



รูปที่ 1.1 การพับกระดาษกรองแบบพับชิบ



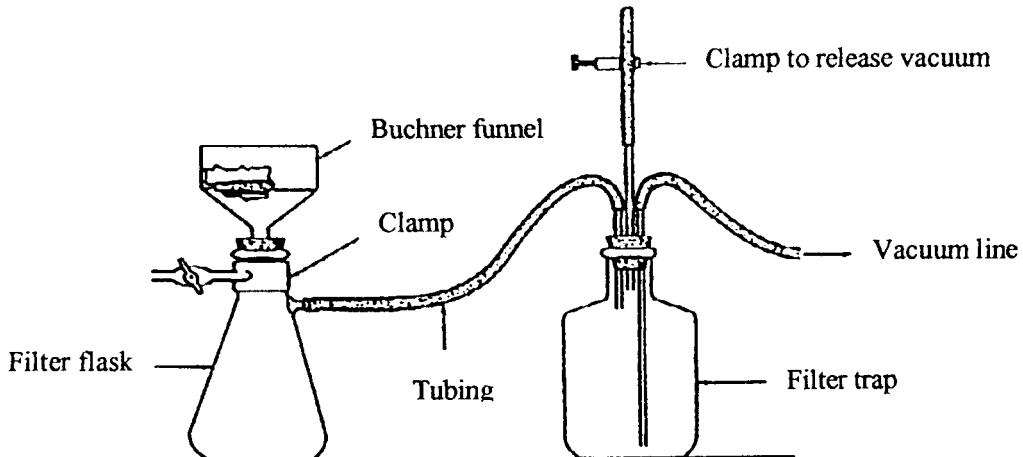
รูปที่ 1.2 การกรองสารละลายน้ำร้อน



รูปที่ 1.3 การกรองแบบธรรมชาติ (Gravity filtration)

2.3 การตอกผลึก นำสารละลายอิ่มตัวที่ร้อนปิดด้วยกระจะกนาพิกาปีองกันผุน และตัวปีองกันตัวทำละลายระเหย โดยทึ่งให้ค่ออยา เป็นที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ถูกควบคุมสารจะตกผลึกออกมานา บางครั้งสารละลายที่อิ่มตัวไม่ยอมตอกผลึกออกมานา อาจจะช่วยให้สารตอกผลึกโดยใช้แท่งแก้วบุคที่ผ่านแก้วด้านในเหนือผิวของของเหลว เพื่อเหนี่ยวนำให้ผลึกตกออกมานาหรือถ้ามีผลึกบริสุทธิ์ของสารนั้นให้ใช้วิธีการล่อผลึก (Seeding) โดยใส่ ผลึกที่บริสุทธิ์ของสารนั้นลงไปหนึ่งผลึกจะช่วยให้ผลึกตกรีวเข็น

2.4 การกรองผลึก เมื่อผลึกตกสมบูรณ์แล้วกรองผลึกเพื่อแยกผลึกออกจากสารละลาย โดยการกรองแบบสูญญากาศ หรือกรองโดยใช้ Suction (vacuum or suction filtration) ดังรูป



รูปที่ 1.4 เครื่องมือสำหรับกรองแยกผลึกออกจากสารละลาย

เครื่องมือต้องต่อให้แน่นและแข็งแรงทุกแห่ง ไม่ให้มีรอยร้าว กระดาษกรองที่ใช้วางบน Buchner funnel ต้องมีขนาดเล็กกว่าขอบในของกรวยกรอง ก่อนจะกรองต้องทำให้กระดาษกรองเปียกด้วยตัวทำละลายที่ใช้ในการตอกผลึกนั้น และทำให้กระดาษกรองแบบรวายนิท ค่อยๆ เปิด Water pump ปิดสกุก่อนเทสารละลายลงกระเบื้องด้วยเศษกระเบื้องเพื่อให้ผลึกออกมานาร์มกับสารละลายขณะเทให้น้ำกักที่สุด ใช้ช้อนตักสารที่ทำด้วยนิเกิล หรือ Stainless steel ภาชนะผลึกจากขวดลงในกรวย และผลึกที่เหลืออาจใช้ตัวทำละลายเย็นจัดนานนเดือนน้อยช่วยล้างผลึกออกมานา

2.5 การล้างผลึก หลังจากการกรองผลึกแล้วต้องล้างผลึก เพื่อขจัดสารละลายหลังตอกผลึกที่ติดที่ผิวของผลึกออกให้หมด โดยใช้ปลายแท่งแก้วคนหรือก้นหลอดทดลองกดบนผลึก

ขณะที่มีการคุกแสวงปีดให้อาการเข้า เทตัวทำละลายใหม่ ๆ ที่ยืนถังผลึกเพื่อถังสารละลาย ออก 2 - 3 ครั้ง แล้วใช้กระดาษกรองซับผลึกให้แห้ง

2.6 การทำผลึกให้แห้ง ทำได้หลายวิธี เช่น

- ปล่อยทิ้งให้แห้งในอากาศโดยนำผลึกใส่ในกระถานพิการและใช้บีกเกอร์ ครอบป้องกันผุน

- ใช้สารคุกความชื้น โดยใส่ผลึกในภาชนะปิดที่ปลดความชื้น (Desiccator) นำผลึกวางบนกระถานพิการแล้ววางบนกระเบื้องเคลือบใน Desiccator

เก็บผลึกที่แห้งในขวดใส่สารถ้าผลึกไวต่อแสงเก็บในขวดสีชาติดคลาด ข้างขวด บอกชื่อหรือโครงสร้างสารใส่ชนิดตัวทำละลาย วันที่ตกผลึก สมบัติผลึก เช่น ขุคหลอมเหลว

ข้อควรระวัง

1. ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการตกผลึกต้องทำให้ร้อนจนถึงจุดเดือด ไอของตัวทำละลายระเหยอาจจะไม่มีกลิ่น แต่เป็นพิษได้จึงให้ทำในตู้คุกควัน

2. ตะเกียงบุนเซน์ที่ใช้กับสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายหรือตัวทำละลายที่ไม่ติดไฟเท่านั้น และความร้อนจากผิว Hot plate ก็อาจจะทำให้ตัวทำละลายติดไฟได้ทางที่ปลดภัยที่สุดคือ ใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น ใช้ไอน้ำเดือด

3. ใส่ Boiling chips หรือ Boiling stone ซึ่งอาจจะเป็น Calcium carbonate หรือ Silicon carbide ใส่เมื่อจะต้มตัวทำละลาย

4. ห้ามใส่ผงถ่านขณะสารละลายเดือดหรือร้อนจัด เพราะจะทำให้สารละลายพุ่งขึ้นมาเร็วและล้นขวดได้ และการเติมถ่านกันน้ำต์ เพื่อฟอกสีถ้าเติมน้อยไปจะฟอกสีไม่หมด แต่ถ้ามากไปถ่านอาจจะคุกชับสารที่ต้องการตกตะกอนไปด้วย และในการกรองผงถ่านออกให้ใช้วิธีกรองแบบธรรมชาติ ถ้ากรองคัวบรอนส์ทูนิคจะทำให้ผงถ่านที่มีขนาดเล็กมากลดลงค่อนข้างในขวดกรองทำให้ตัวทำละลายระเหยออกและอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว สารละลายจึงมีความเข้มข้นมากจะเกิดการตกผลึกที่กรวยบุคเนอร์ ซึ่งจะเป็นผลึกขนาดเล็กและอุดตันบุคเนอร์ ได้ และการกรองแบบธรรมชาติให้ใช้ขวดรูปกรวยรองรับสารละลายเพื่อไม่ให้ตัวทำละลายระเหยเร็วเกินไป หรือมีสารอื่นลงไปเจือปนได้ง่ายจะทำให้ผลึกที่ตกไม่บริสุทธิ์ การกรองผลึกให้กรองในขณะที่ร้อนจัดเพื่อป้องกันการตกผลึกในขณะกรอง และใช้กรวยกรองก้านสั้นเพื่อให้สัมผัส

สารละลายน้อยที่สุด และใช้กระบวนการรองพับจีบช่วยให้กรองได้เร็วขึ้น ถ้ามีสารตกค้างในกระบวนการหรือกรวยกรองให้ล้างด้วยตัวทำละลายที่ร้อนจัดจะได้ไม่เสียสารที่ตกหลัก

3. วัสดุประสรงค์ หลังจากจนบทเรียนนี้แล้ว นักศึกษามีความสามารถดังนี้

- 3.1 สามารถเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในการตกหลักได้
- 3.2 รู้ขั้นตอนวิธีการตกหลัก คำนวณการทดลองการตกหลักได้
- 3.3 สามารถตกหลักสารให้บริสุทธิ์ได้
- 3.4 รู้จักเลือกและใช้เครื่องมือในการตกหลักได้อย่างถูกต้อง

4. การทดลองเรื่อง การตกหลัก

การทดลองที่ 1 การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการตกหลัก

วิธีทดลอง

1. นักศึกษารับสารตัวอย่างของแมงเพื่อใช้หาตัวทำละลายที่เหมาะสมแล้วทดสอบการละลายน้ำด้วยตัวทำละลายต่อไปนี้ น้ำ เอทานอล 95% ปิโตรเลียมอิเทอร์ กลอฟอร์ม เอทาน
2. ใส่สารตัวอย่างลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก 5 หลอด ๆ ละประมาณ 50 mg เดินตัวทำละลายที่กำหนดให้ลงไว้ในแต่ละหลอดทีละหยด ๆ เบ่า สังเกตการละลายถ้าละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แสดงว่าละลายได้ดี ถ้าละลายบ้างไม่ละลายบ้าง เดินตัวทำละลายต่อไป
3. เดินตัวทำละลายต่อให้ครบ 1 cm^3 ถ้าบังไม่ละลายถือว่าตัวทำละลายตัวนั้นไม่ละลายสารนั้น
4. นำสารตัวอย่างในข้อ 3 ไปอุ่นบนหม้ออังไอน้ำ (Water bath) สังเกตตัวทำละลายชนิดใดละลายสารตัวอย่างได้จะร้อนปล่อยให้สารละลายเย็น
5. สังเกตว่ามีผลึกเกิดขึ้นที่หลอดโดยบัง
6. หลอดที่บังไม่ตกหลัก เดินสารอีกเล็กน้อย หรือใช้หลอดคนบูดข้างหลอด เพื่อกระตุ้นการตกหลัก
7. บันทึกผลการทดลองและหาข้อสรุปจากการทดลองว่า ตัวทำละลายชนิดใดเหมาะสมมากที่สุด ในการใช้ตกหลักสารตัวอย่างเพาะเหตุใด
8. การบันทึกการละลายให้ถือเกณฑ์ ถ้าละลายหมดใช้เครื่องหมาย +++, ละลายปานกลางใช้เครื่องหมาย ++, ละลายได้น้อยใช้เครื่องหมาย + ถ้าไม่ละลายเลยใช้เครื่องหมาย -

**รายงานผลการทดลอง
การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการตกผลึก**

ชื่อผู้รายงาน เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 ผู้ร่วมงาน 1. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 2. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 3. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 วันที่ เดือน พ.ศ.
 อาจารย์ผู้สอน

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตัวทำละลาย	ผลจากการสังเกตเห็น		
	ขณะเป็น	ขณะร้อน	เมื่อตั้งทิ้งไว้
1. น้ำ			
2. เอทานอล			
3. ปิโตรเลียมอีเทอร์			
4. คลอรอฟอร์ม			
5. เอกซ์โซน			

จากผลการทดลอง ตัวทำละลายที่ควรเลือกในการตกผลึก สารตัวอย่างคือ

.....

.....

.....

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

การทดลองที่ 2 การตกผลึก Acetanilide

1. ใส่สารตัวอ่อน Acetanilide (Lab grade) 3 g ลงในขวดรูปกรวยขนาด 25 - 50 cm³ เดินน้ำกากลั่นลงไปให้เพียงพอที่จะละลายสารตัวอ่อนได้หมดในขณะที่ร้อน ต้มให้เดือด เดินน้ำอีกประมาณ 5 cm³ (ในขณะที่สารละลายเดือดอยู่)
2. ยกสารละลายลงแล้วกรองสารละลายในขณะร้อน โดยใช้กรวยแก้วก้านสั้นที่มีกระดาษกรองพันจีบสวนในกรวย (ชั่งทำให้ร้อนก่อน โดยผ่านตัวทำละลายที่ร้อนก่อนนำมานำลง)
3. ตั้งสารละลายให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทิ้งให้ตกผลึก
4. กรองผลึกคั่วของกรวยบุคเนอร์และล้างผลึกบนกระดาษกรองคั่วน้ำเย็น 2 ครั้งๆ ละประมาณ 5 cm³ ใช้กระดาษกรองกดซับผลึกให้แห้ง นำไปวางบนกระดาษพิมพ์แล้วนำไปวางบนหม้ออังไอน้ำหรือใส่ในโถอบแห้ง จนผลึกแห้ง
5. ชั่งน้ำหนักผลึกที่ได้และคำนวณหา้น้ำหนักร้อยละของผลึกที่ได้
6. บันทึกผลการทดลอง

**รายงานผลการทดลอง
การตกผลึก Acetanilide**

ชื่อผู้รายงาน เลขที่ ภาค ปี ประจำวันที่ ประจำปี
 ผู้ร่วมงาน 1. เลขที่ ภาค ประจำวันที่ ประจำปี
 2. เลขที่ ภาค ประจำวันที่ ประจำปี
 3. เลขที่ ภาค ประจำวันที่ ประจำปี
 วันที่ เดือน พ.ศ.
 อาจารย์ผู้สอน

ผลการทดลอง

1. น้ำหนักผลึกที่หาได้
2. น้ำหนักร้อยละของผลึกที่หาได้
3. Acetanilide ที่ไม่บริสุทธิ์มีลักษณะ
สี
4. Acetanilide ภายหลังตกผลึกด้วยน้ำมีลักษณะ
สี

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

.....

การทดลองที่ 3 การทดสอบลักษณะตัวอย่าง (Unknown sample)

ดำเนินการดังนี้

1. นักศึกษารับสารตัวอย่างกลุ่มละ 1 ตัวอย่าง
2. ทดลองหาตัวทำละลายที่เหมาะสม
3. เมื่อได้ตัวทำละลายที่เหมาะสมแล้ว นำสารตัวอย่างที่จะทำการทดสอบไปซึ่งอย่างละเอียด
 4. นำสารตัวอย่างที่ซึ่งแล้วไปทดสอบให้บริสุทธิ์ตามวิธีที่กล่าวแล้วข้างต้น
 5. ซึ่งจะทราบได้ว่าสารใดอยู่ในสารตัวอย่าง
 6. ให้เก็บผลลัพธ์ไว้ในกระดาษห่อไว้ในกรณีที่ต้องนำไปตรวจยืนยัน
 7. บันทึกการทดลอง

รายงานผลการทดลอง
การทดสอบสารตัวอย่าง (Unknown sample)

ชื่อผู้รายงาน เลขที่ กถุน โปรแกรมวิชา
 ผู้ร่วมงาน 1. เลขที่ กถุน โปรแกรมวิชา
 2. เลขที่ กถุน โปรแกรมวิชา
 3. เลขที่ กถุน โปรแกรมวิชา
 วันที่ เดือน พ.ศ.
 อาหารของผู้สอน

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตัวทำละลาย	ผลจากการสังเกตเห็น		
	ขณะเย็น	ขณะร้อน	เมื่อคืนทึ่งไว้
1.			
2.			
3.			

- ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการทดสอบสารตัวอย่างคือ
.....
.....
- ลักษณะพลักที่คิดและมีปริมาณมากที่สุดคือ
.....
.....
- เปรียบเทียบลักษณะและสีของสารตัวอย่างกับผลลัพธ์ที่คาดได้
.....
.....

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

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

ค่าตอบแทนหลังจากทดลองเรื่อง การตกผลึก

คำถาม 1 ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการตกผลึกควรมีลักษณะอย่างไร

คำตอบ

คำถาม 2 ขั้นตอนในการตกผลึกมีขั้นตอนอย่างไร

คำตอบ

คำถาม 3 ทำไมไม่ควรใส่ตัวทำละลายมากเกินไปในการตกผลึก

คำตอบ

คำถาม 4 ทำไมไม่ควรตกผลึกทันที โดยการแช่ในน้ำเย็น

คำตอบ

คำถาม 5 จงหาอัตราอิ่อมละ Acetanilide ที่ตกได้

$$\text{จากสูตร อัตราอิ่อมละของผลึกที่ตกได้ } = \frac{\text{น้ำหนักของผลึกที่บวกรวม}}{\text{น้ำหนักสารก่อนตกผลึก}} \times 100$$

$$(\% \text{ Yield})$$

คำตอบ

เอกสารอ่านประกอบบทเรียน

ตอนที่ 1.1 การตกผลึก (CRYSTALLIZATION)

1. การตกผลึกสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นของแข็งที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ หรือจากการสกัดหรือแยกได้จากสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ (Natural product) เช่น จากใบไม้ กิ่ง หรือหัวของต้นไม้ เก็บทั้งหมดเป็นสารไม่บริสุทธิ์ เทคนิคง่าย ๆ ในการทำให้สารที่แยกหรือสกัดมาได้ให้บริสุทธิ์ คือ การตกผลึก (Crystallization) วิธีการตกผลึกขึ้นแรกโดยการละลายสารที่จะตกผลึกในตัวทำละลายที่เหมาะสมโดยใช้ตัวทำละลายในปริมาณน้อยที่สุดละลายในขณะที่ร้อน ถ้ามีสารที่ไม่บริสุทธิ์ที่ยังไม่ละลายเจือปนอยู่ให้กรองสารละลายจนหมดที่ยังร้อน ถ้าสารละลายที่ได้มีสีปนเปี้ยนอยู่ควรฟอกสีก่อน โดยทิ้งให้สารละลายเย็นลงเล็กน้อย เดินผ่านกัมมันต์ (Activated charcoal) แล้วนำไปอุ่นให้ร้อนใหม่แล้วกรองเอาผงถ่านออกจนหมดเพื่อป้องกันการตกผลึกขณะกรอง การตกผลึกโดยทำให้สารละลายอิ่มตัวขณะร้อนแล้วทิ้งให้ค่อย ๆ เย็นลงช้า ๆ ให้ตกผลึกด้วยอัตราเร็วที่เหมาะสม จะได้ผลึกที่มีโครงร่างผลึก (Crystal lattice) ที่สมบูรณ์จึงแยกออกจากสารละลายหลังตกผลึก (Mother liquor) โดยการกรอง

การตกผลึกไม่เหมือนการตกตะกอน (Precipitation) การตกตะกอนเกิดจากการตกออกมาเป็นของแข็งอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การตกผลึกจะเกิดการตกออกมาเป็นผลึกอย่างช้า ๆ แต่ถ้าสารละลายอิ่มตัวที่ร้อนถูกทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว สารที่อยู่ในสารละลายอาจจะตกออกมาเป็นตะกอนแทนการตกผลึกออกมา ซึ่งตะกอนที่ตกออกมาอาจมีสารไม่บริสุทธิ์ปนอยู่ด้วยในทางตรงกันข้ามถ้าสารละลายถูกปล่อยทิ้งไว้ให้ตกผลึกอย่างช้า ๆ สารไม่บริสุทธิ์ที่เจือปนอยู่มีแนวโน้มจะแยกออกจากโครงร่างผลึก เพราะว่าไม่เกลุกของสารในโครงร่างผลึกอยู่ในสภาวะสมดุลกับไม่เกลุกของสารในสารละลาย ไม่เกลุกของสารที่ไม่เหมาะสมในการตกผลึกจะกลับไปอยู่ในสารละลาย ไม่เกลุกที่เหมาะสมที่สุดเท่านั้นที่จะตกผลึก เพราะว่าสารที่ไม่บริสุทธิ์จะปกติจะยังคงอยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำและจะยังคงอยู่ในสารละลายแม้เมื่อสารละลายเย็นลงแล้ว เมื่อได้ผลึกที่ตกลงมาแล้วถ้าต้องการให้ผลึกบริสุทธิ์มากให้นำมาตกผลึกซ้ำ (Recrystallization) การตกผลึกอาจจะสูญเสียผลึกไปบ้าง ซึ่งอาจจะยังอยู่ในสารละลายหลังตกผลึก

2. ตัวทำละลายที่ใช้สำหรับการตกผลึก (Solvent for crystallization) การละลายเกิดจากการที่สารถูกห้อมล้อมด้วยตัวทำละลายจนได้สารละลายเป็นเนื้อเดียวที่มีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกันหรือเหมือนกันจะละลายด้วยกันได้ดี (Like dissolves like) ความสามารถ

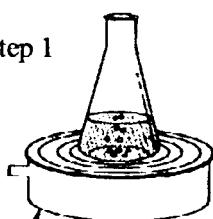
ในการละลายเขื่อนอยู่กับโครงสร้างของสาร เช่น สารพิวท์มีข้าว (Polar) จะละลายคุ้ยกันได้ง่าย เพราะมีแรงดึงดูดระหว่างข้าวต่อข้าวของสารเกิดขึ้นหรือสารต่างชนิดที่เกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ได้จะละลายคุ้ยกันได้ตัวอย่าง เช่น แอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นสารที่มี – OH (R-OH) เป็นหมุ่ฟังก์ชั่น จะละลายในน้ำ เพราะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ ตัวอย่าง เช่น CH_3OH หรือ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ กรณีการ์บอชิลิก ($-\text{CO}_2\text{H}$) และอะมีนสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนและละลายในตัวทำละลายที่มีข้าว (Polar solvent) ส่วนสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ และสารประกอบพิวท์ไฮโดรคาร์บอนจะไม่ละลายในตัวทำละลายที่มีข้าว เพราะว่าพันธะ C – C และ C – H ไม่มีข้าว ซึ่งสารประเภทเหล่านี้ต้องเลือกตัวทำละลายที่ไม่มีข้าว (Non polar solvent) เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ สารพิวท์แอลกเคน เช่น เพนเทน เอกเซน แต่ถ้าไม่รู้ว่าควรจะเลือกใช้ตัวทำละลายชนิดใดให้นำสารที่จะละลายมาเล็กน้อย แล้วทดสอบคุ้ยตัวละลายหลาย ๆ ชนิด จนกว่าจะได้ตัวทำละลายที่ต้องการ ส่วนสารตัวอย่างที่นำมาทดสอบสามารถกลับมาใช้ได้ใหม่ โดยการได้ตัวทำละลายออกไป ในการทดสอบของสารใด ๆ นั้นถ้าใช้ตัวทำละลายที่จะละลายสารได้ดีมากสารนั้นจะคงผลึกได้ยาก แต่ถ้าละลายตัวอุกจะละลายได้น้อยจะทำให้สารจะละลายเป็นเนื้อเดียวกันต้องใช้ตัวทำละลายมากซึ่งจะทำให้สารจะละลายเจือจางมาก ทำให้การทดสอบลึกซึ้ง การเลือกใช้ตัวทำละลายมากกว่าหนึ่งชนิด เช่น การใช้ตัวทำละลายคู่ (Solvent pair) หรือใช้ตัวทำละลายผสม (Mixed solvent) จึงต้องมีหลักในการเลือกใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดสอบมีคุณสมบัติ ดังนี้

2.1 ตัวทำละลายชนิดเดียว มีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่จะทดสอบ
2. จุดเดือดของตัวทำละลายต้องต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสารที่จะทดสอบ เพื่อป้องกันไม่ให้สารหลอมเหลวก่อนที่จะละลายในตัวทำละลาย ทำให้ได้ของเหลวสองชั้นคล้ายน้ำกับน้ำมัน สารที่อาจจะมีเจือปนอยู่จะเข้าไปในชั้นน้ำมันเมื่อผึ้งลงจะติดปนมากับผลึก
3. ตัวทำละลายจะต้องไม่ละลายสารที่เจือปนขณะที่ร้อนจะทำให้กรองสารเจือปนออกง่าย
4. ตัวทำละลายเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย ซึ่งจะทำให้ผลึกที่ตกແลวแห้งเร็ว
5. ตัวทำละลายไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟง่าย ไม่มีกลิ่นเหม็น และราคาไม่แพง

ขั้นตอนการตกผลึกซ้ำ สรุปขั้นตอนดังนี้

Step 1



Steam bath

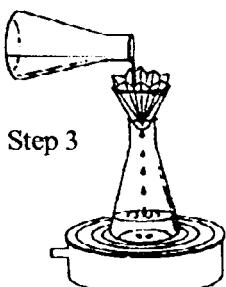
ขั้นที่ 1 ละลายของแข็งที่จะตกผลึกในตัวทำละลาย โดยค่อนข้างเติมตัวทำละลายปริมาณครึ่งหนึ่งๆ ในขวดรูปกรวย แก้วงให้ละลายนำไปต้มบนหม้ออังไอน้ำ (Steam bath) ต้มส่วนผสมระหว่างของแข็งและตัวทำละลายจนถึงจุดเดือดของตัวทำละลายใส่ Boiling chips หรือเศษกระเบื้องแตกลงไปในขวด 2 - 3 ชั้น เพื่อให้ฟองแก๊สที่ออกจาก Boiling chips ทำให้ของเหลวกระชาขยคลอกเวลา ป้องกันไม่ให้เกิด Superheating และการเดือดแบบ Bumping ของสารละลาย สังเกตปริมาณของแข็งที่จะตกผลึกได้หมด เช่น (ถ้าใช้ตัวทำละลาย 50 cm^3 ละลายของแข็งได้ประมาณครึ่งหนึ่ง แล้วเติมอีก 100 cm^3 จะละลายของแข็งได้หมด) หลังจากนั้นเติมตัวทำละลายอีกเล็กน้อยจนไม่นิ่งของแข็งที่ไม่ละลายตกลงค้างอยู่ ซึ่งปกติจะไม่เป็น 10% ของตัวทำละลาย ทั้งหมดที่ใช้กรองของแข็งที่ป่นอยู่ที่ไม่ละลายในขณะที่ร้อนโดยใช้วิธีกรองแบบธรรมชาติ

Step 2



ขั้นที่ 2 นำสารละลายที่อ่อนตัวที่กรองแล้ววางบนหม้ออังไอน้ำนำขวดกรวยอีก 1 ใบซึ่งรวมด้วยกรวยก้านสัน ซึ่งรวมด้วยกระดาษกรองที่พับจีบสำหรับกรอง วางขวดรูปกรวยบนหม้ออังไอน้ำทำให้ร้อนจัดกรองสารละลายบนหม้ออังไอน้ำ เพื่อป้องกันการตกผลึกถ้าตัวทำละลายกระแทบความเย็น

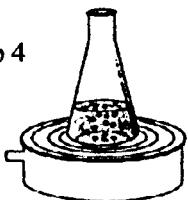
Step 3



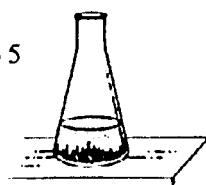
ขั้นที่ 3 ยกสารละลายที่จะตกผลึกกรองผ่านกรวยกรองที่เตรียมไว้ขณะที่สารละลายร้อนเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายตกผลึกออกนาในระหว่างที่กรอง

ขั้นที่ 4 ต้มเพื่อจะไล่ตัวทำละลายที่เติมเกินมา 10% ออก เพื่อให้สารละลายยั่นตัว

Step 4

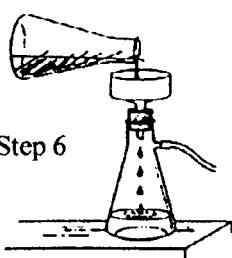


Step 5



ขั้นที่ 5 นำขากรูปกรวยซึ่งใส่สารที่กรองແດ้วางทึ่งไว้ให้ตกผลึก โดยทึ่งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง หลังจากเกิดผลึกตกลอยกมาแล้ว นำขาก ใส่ไปแช่ในน้ำเย็นใน Ice bath เพื่อให้เกิดการตกผลึกเพิ่มขึ้นจนเกิดผลึกสมบูรณ์

Step 6



ขั้นที่ 6 กรองผลึกโดยใช้กรวยกรองแบบ Buchner funnel โดยกระดาษกรองต้องมีขนาดเล็กกว่าขอบในของกรวยกรองเล็กน้อย ทำให้กระดาษกรองเปียกเล็กน้อยด้วยตัวทำละลายก่อนกรองคัวระบบลดความดัน กรองผลึกอยู่บนกระดาษกรองเหตุว่าทำละลายที่เย็นล้างผลึกเล็กน้อยเพื่อล้างล้างที่ปน (Impurities) ที่เกาะที่ผิวผลึกและ Mother liquor ต้องล้างออกให้หมด การล้างผลึกควรทำ 2 - 3 ครั้ง โดยใช้ตัวทำละลายเพียงเล็กน้อยและเย็นแล้วใช้กระดาษกรองซับผลึกให้แห้ง

การตกผลึกดังกล่าวแล้วเป็นการตกผลึกรุ่นแรก (First crop) หลังจากนั้นนำสารละลายที่ผ่านการกรองมาทำให้เย็นโดยแช่ในน้ำแข็งจะได้ผลึกรุ่นที่สอง (Second crop) ถ้าต้องการตกผลึกอีก นำสารละลายที่ได้จากการกรองครั้งที่ 2 มาเคี่ยวเพื่อให้ได้ผลึกที่ตกในรุ่นที่สาม (Third crop) โดยปกติผลึกรุ่นแรกจะบริสุทธิ์ ถ้าต้องการให้ผลึกบริสุทธิ์ต้องตกผลึกซ้ำ (Recrystallization)

บทเรียนสำหรับนักศึกษา

ตอนที่ 1.2 การหาจุดหลอมเหลว (MELTING POINT, mp.)

1. จุดหลอมเหลวของสาร

จุดหลอมเหลวของสาร หมายถึง อุณหภูมิซึ่งสารนั้นอยู่ในสถานะของแข็งและของเหลวอยู่ร่วมกัน โดยสมมุติที่ความดันหนึ่งบรรยายกาศ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้สารจะเป็นของเหลว แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้สารจะเป็นของแข็ง จุดหลอมเหลวและจุดเยือกแข็งของสารจึงเป็นอุณหภูมิเดียวกัน สารบริสุทธิ์จะมีจุดหลอมเหลวคงที่และช่วงการหลอมเหลวจะสั้นปกติ ไม่เกิน 0.5°C ซึ่งสังเกตได้จากอุณหภูมิที่สารเริ่มหลอมเหลวจนถึงอุณหภูมิที่สารหลอมเหลวหมด ถ้ามีสารอื่นปน (Impurities) แม้จะเป็นปริมาณเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ช่วงอุณหภูมิการหลอมเหลวกว้างและทำให้จุดหลอมเหลวของสารต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์ ดังนั้น การที่จะตัดสินว่าสารชนิดใดจะบริสุทธิ์หรือไม่จึงจำเป็นต้องทำการทดสอบหาจุดหลอมเหลว ประกอบด้วย ถ้าช่วงของการหลอมเหลวสั้นและตรงกับจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์ที่แท้จริง จึงจะเป็นสารบริสุทธิ์ จุดหลอมเหลวยังใช้ทดสอบสารที่สงสัยว่าเป็นสารชนิดเดียวกันกับสารใดสารหนึ่งอีกด้วย เช่น มีสารตัวอย่าง A ที่ทราบจุดหลอมเหลวแล้วการจะบอกว่าสารตัวอย่างที่สงสัยเป็นสารชนิดเดียวกับสาร A หรือไม่ทำได้โดยการทดสอบสารตัวอย่างที่สงสัยกับสาร A ให้ละเอียดเข้ากันแล้วนำไปหาจุดหลอมเหลว ถ้าสารทั้งสองเป็นสารชนิดเดียวกันของผู้คนจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิเดียวกับสาร A และช่วงการหลอมเหลวจะสั้นมาก แต่ถ้าสารทั้งสองไม่ใช่สารเดียวกัน จุดหลอมเหลวของสารผู้คนจะต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสาร A และช่วงการหลอมเหลวจะกว้างมาก วิธีการนี้เรียกว่า การวัดจุดหลอมเหลวของของผู้คน (Mixed melting point determination) การหาจุดหลอมเหลวของของผู้คน ควรทำหลาย ๆ ครั้ง โดยใช้สักส่วนสารต่าง ๆ กัน การบันทึกช่วงการหลอมเหลวเริ่มต้นแต่การเริ่มหลอมจนหลอมหมด

2. เทคนิคและขั้นตอนในการหาจุดหลอมเหลวแบบหลอดแคปิลารี (Capillary tube)

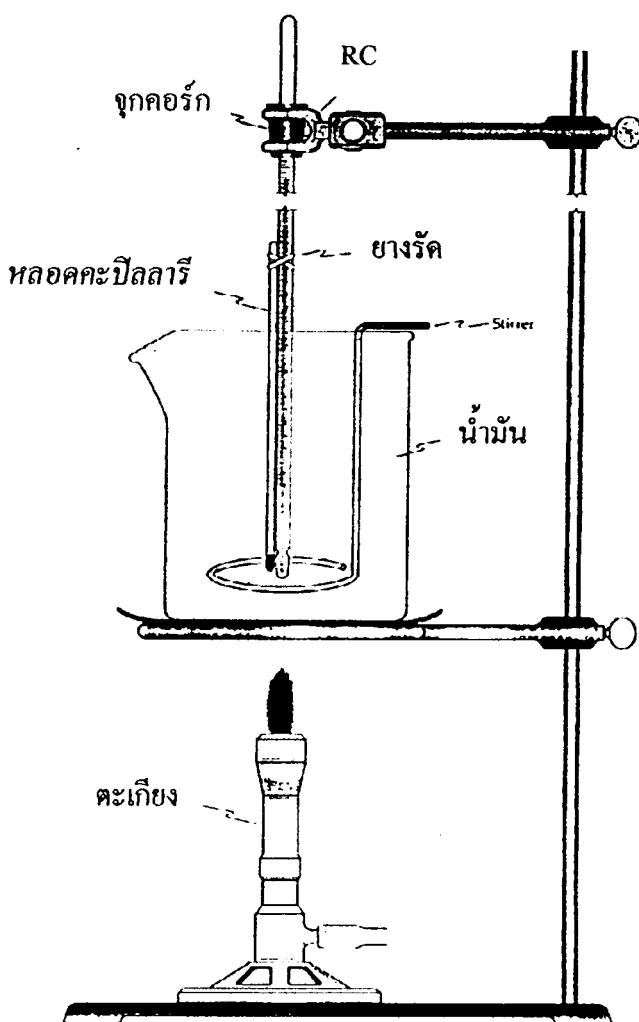
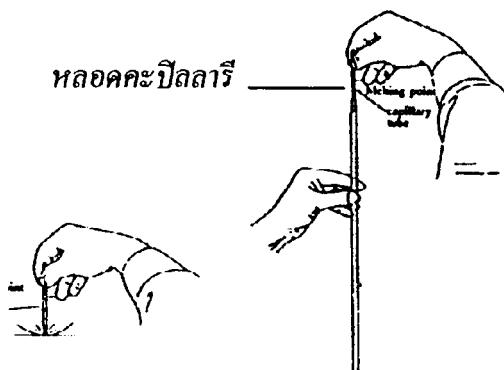
2.1 การบรรจุสารลงในหลอดแคปิลารี นำสารที่จะหาจุดหลอมเหลวที่แท้จริงนิทบคให้ละเอียดโดยใช้ช้อนตักสารหรือแท่งแก้วคนปลายด้านบนบดสารตัวอย่างเล็กน้อยบนกระดาษหินหรือแผ่นกระเบื้องขาว

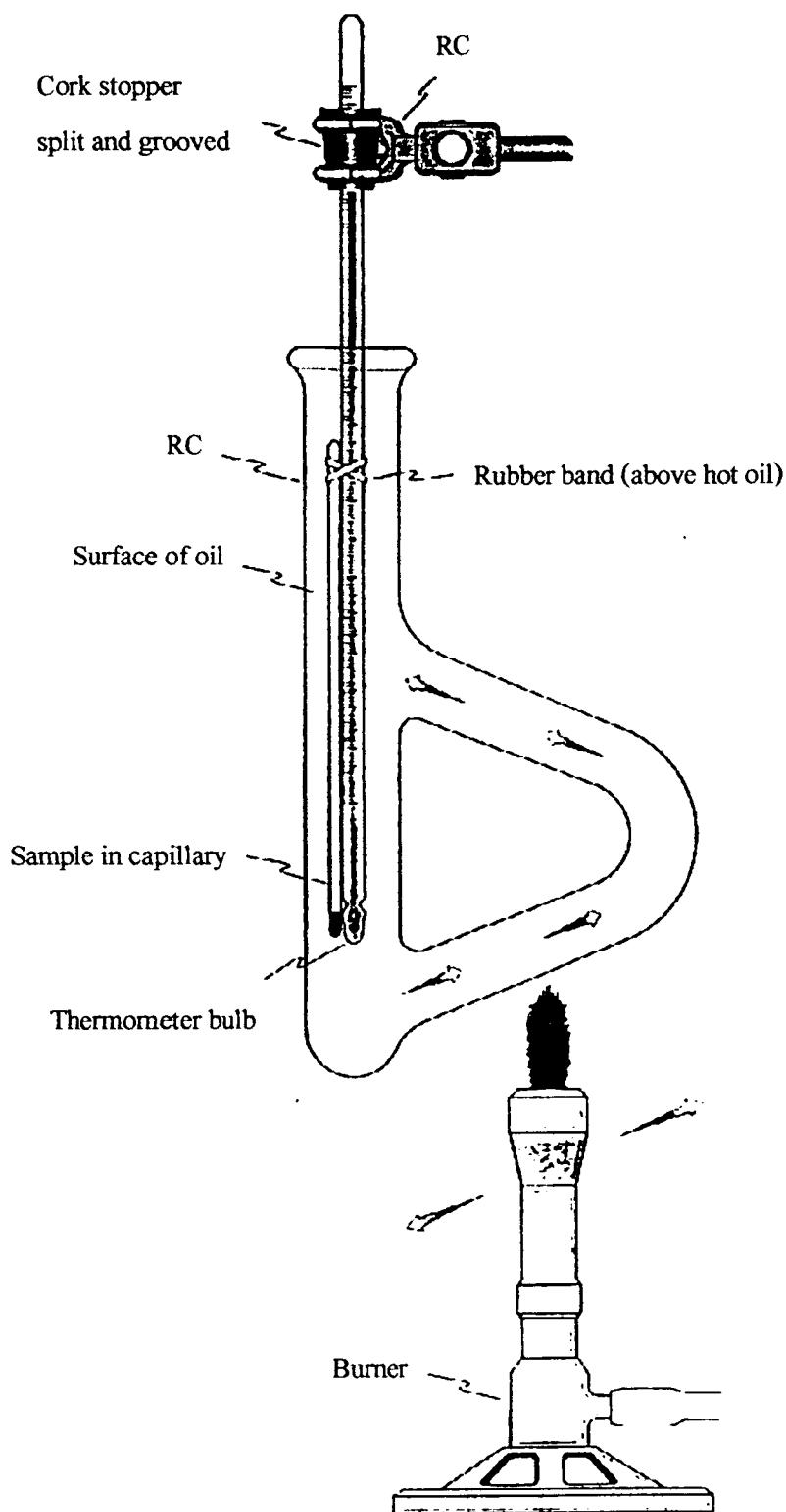
2.2 ใช้หลอด昏迷ปีลลารีปลาสเตอร์ด้านหนึ่งยาวประมาณ 7 cm ใช้ปลายทางด้านเปิดของหลอด昏迷ลงไปบนกองสารหรือใช้ปลายช้อนตักสารด้านเข้าไปในรูแล้วหงายหลอดที่มีรูเล็กขึ้น หงายหลอดเคาะหลอดทางด้านปลายดันกับโถเพื่อให้ผงสารตัวอย่างตกลงก้นหลอด ต้องบรรจุพุงอัดให้แน่น โดยวิธีปล่อยให้หลอด昏迷ปีลลารีตกลงในหลอด ทำโดยนำแก้วสูงประมาณ 2 พุตที่วางตั้งไว้กับโถ แล้วใส่หลอด昏迷ปีลลารีให้ตกลงไปและบรรจุสารให้สูงประมาณเท่ากับกระเบ้าเทอร์นอมิเตอร์ไม่เกิน 1 cm แล้วผูกติดกับเทอร์นอมิเตอร์โดยให้ก้นหลอดอยู่ในระดับเดียวกับส่วนล่างของกระเบ้าเทอร์นอมิเตอร์และ昏迷ปีลลารี ด้านปีกอยู่ด้านล่างจุ่มอยู่ในน้ำมัน และสูงจากก้นภาชนะที่ใช้หาดูดหลอมเหลวพอสมควร

2.3 วิธีหาดูดหลอมเหลว ใส่น้ำมันที่มีดูดเค็มสูง เช่น น้ำมันพาราฟินลงในภาชนะที่จะใช้ทำ Oil bath เช่น บิกเกอร์ หรือขวดก้นกลมที่แห้งให้ความร้อนแก่ Oil bath อย่างสม่ำเสมอใช้แท่งแก้วคนน้ำมันอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ความร้อนกระจายให้ทั่วน้ำมันและใช้ความร้อนค้างนอุณหภูมิต่ำกว่าดูดหลอมเหลวของสารประมาณ $15 - 20^{\circ}\text{C}$ จึงลดความร้อนจนกระทั่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิประมาณ 2°C ต่อนาที ถ้าไม่รู้ดูดหลอมเหลวของสารที่หาให้ทดสอบโดยบรรจุสารตัวอย่างลงในหลอด 2 หลอด หลอดแรกหาดูดหลอมเหลวย่างรวดเร็ว ก่อนหลังจากนั้นปล่อยให้ของเหลวในบิกเกอร์ที่ใช้หาดูดหลอมเหลวเย็นลงค่อนกว่าดูดหลอมเหลวครึ่งแรกประมาณ $30 - 35^{\circ}\text{C}$ แล้วจึงหาดูดหลอมเหลวของสารในหลอดที่ 2 โดยละเอียดต่อไป

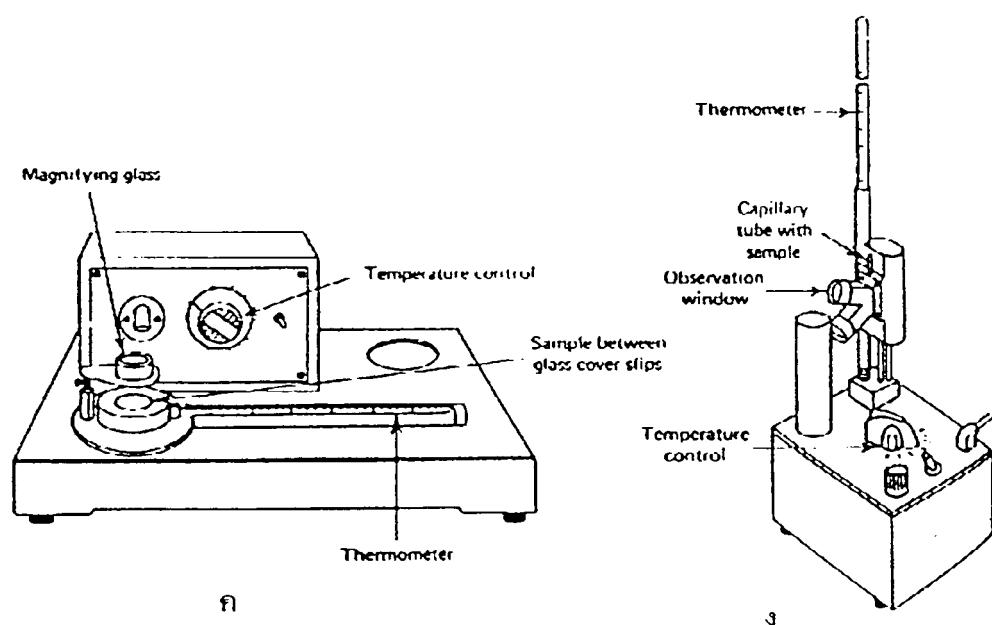
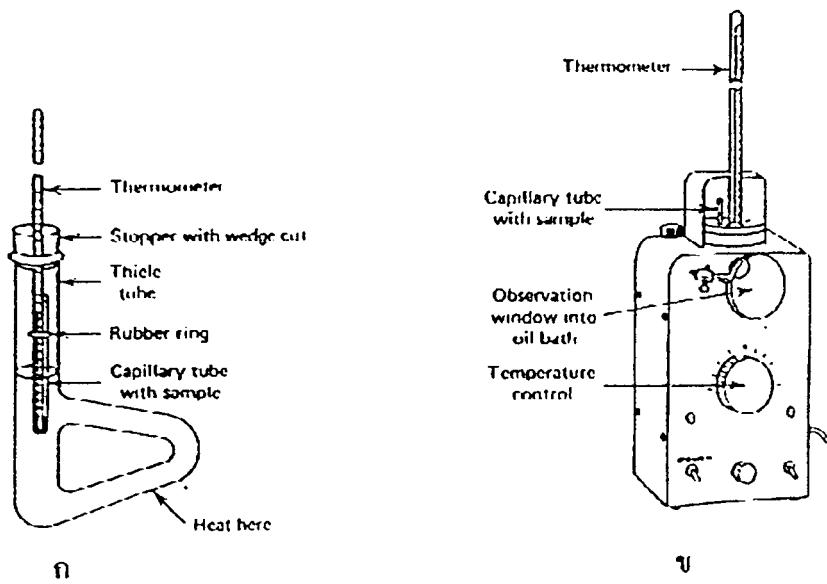
ตารางที่ 2.1 ดูดหลอมเหลวของสารอินทรีย์บางชนิด

สาร	m.p. ($^{\circ}\text{C}$)	สาร	m.p. ($^{\circ}\text{C}$)
Acetanilide	115	Succinic acid	189
Benzoic acid	123	Benzanilide	161
Urea	133	<i>o</i> -Chlorobenzoic acid	140
Salicylic acid	157	3, 5- Dinitrobenzoic acid	205





รูปที่ 2.3 เครื่องมือหาจุดก้อนเหลวแบบ Thiele



รูปที่ 2.4 เครื่องมือหาจุดละลายชนิดต่างๆ

ก. แบบ Thiele Tube ($25 - 180^{\circ}\text{C}$)

ข. แบบ Thomas-Hoover ($25 - 300^{\circ}\text{C}$)

ค. แบบ Fisher-Johns ($25 - 300^{\circ}\text{C}$)

ง. แบบ Mel-Temp ($25 - 400^{\circ}\text{C}$)

3. วัสดุประสงค์

หลังจบบทเรียนนี้แล้วนักศึกษามีความสามารถดังนี้

1. หาจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์ได้
2. พิสูจน์เอกลักษณ์สารตัวอย่างโดยศึกษาจากจุดหลอมเหลว
3. ใช้เครื่องมือเพื่อหาจุดหลอมเหลวของสารได้
4. ทำการทดลองหาจุดหลอมเหลวของสารตัวอย่างได้อย่างมีทักษะ

4. การทดลองเรื่องการหาจุดหลอมเหลวของสาร

การทดลองที่ 1 การวัดช่วงจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์

1. นักศึกษาได้รับแบบสำรวจกุ่มละ嫩ชငิให้หาจุดหลอมเหลวของสารโดยใช้ข้อมูลจากบทเรียนที่กล่าวมาแล้ว
2. เก็บสารตัวอย่างไว้ทดลองในการทดลองที่ 2
3. บันทึกผลการทดลองช่วงอุณหภูมนิยองการหลอมเหลว

**รายงานผลการทดลอง
การวัดช่วงจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์**

ชื่อผู้รายงาน เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
ผู้ร่วมงาน
 1. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 2. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 3. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
วันที่ เดือน พ.ศ.
อาชารย์ผู้สอน

ผลการทดลอง

- ผลของการทดลองหาช่วงอุณหภูมิของการหลอมเหลวของสารตัวอย่าง
 วัสดุรังสี 1
 วัสดุรังสี 2
- สารตัวอย่างมีจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับสารในตารางคือ
 1)
 2)

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

การทดลองที่ 2 การวัดช่วงจุดหลอมเหลวของสารผสม

1. ให้นักศึกษานำสารตัวอย่างจากทดลองที่ 1 ที่หาจุดหลอมเหลวแล้วมาเทบันกับค่าจุดหลอมเหลวในการ 2.1 ว่าควรจะเป็นสารใดในตาราง 2.1
2. ให้นำสารจริง (Authentic sample) ที่บริสุทธิ์ที่เทบันจากตารางมาผสานกับสารตัวอย่างในปริมาณท่า ๆ กันบดผสมให้เข้ากันบนกระถางพิเศษ วัดช่วงของจุดหลอมเหลวของสารผสมโดยบวชชีเดียวกับการทดลองที่ 1
3. บันทึกผลการทดลอง

รายงานผลการทดลอง

การวัดช่วงของจุดหลอมเหลวของสารผสม

ชื่อผู้รายงาน เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา.....
 ผู้ร่วมงาน 1. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา.....
 2. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา.....
 3. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา.....
 วันที่ เดือน พ.ศ.
 อาจารย์ผู้สอน

ผลการทดลอง

1. ผลการวัดช่วงจุดหลอมเหลวของสารผสม

วัสดุรังสี 1

วัสดุรังสี 2

2. สารตัวอย่าง กือ

3. สารตัวอย่างมีสูตรโครงสร้าง

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5. คำตาม หลังจากการทดลองเรื่องการหาจุดหลอมเหลว

คำตาม 1 ของแข็งที่มีจุดหลอมเหลวคงที่และช่วงการหลอมเหลวสั้นเป็นสารบริสุทธิ์หรือไม่

ตอบ
.....
.....

คำตาม 2 สารสองชนิดมีจุดหลอมเหลวเท่ากันท่านจะทราบได้อย่างไรว่าสารทั้งสองชนิดเป็นสารชนิดเดียวกันหรือไม่

ตอบ
.....
.....

คำตาม 3 ของแข็งชนิดหนึ่งมีลักษณะคล้าย Acetanilide ท่านจะพิสูจน์ได้อย่างไรว่าของแข็งนั้นใช้ Acetanilide หรือไม่

ตอบ
.....
.....

คำตาม 4 จงบอกประโยชน์ของการหาจุดหลอมเหลวนานา 2 ข้อ

ตอบ 1.
.....
2.
.....

เอกสารอ่านประกอบบทเรียน

ตอนที่ 1.2 การหาจุดหลอมเหลว (Melting point , m.p.)

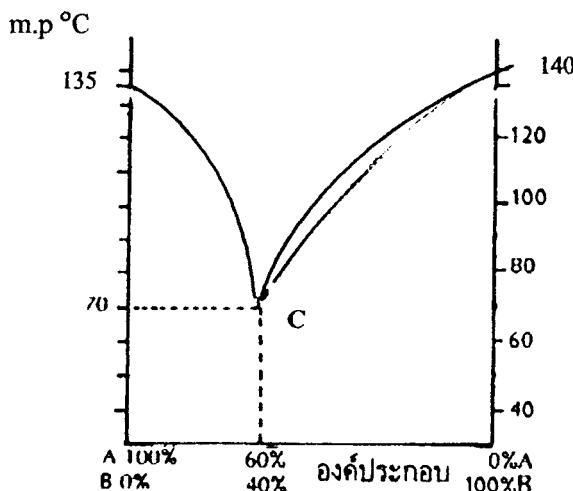
จุดหลอมเหลวของสารจะเป็นจุดเดียวกับจุดเยือกแข็ง (Freezing point) ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ของเหลวเปลี่ยนเป็นของแข็ง แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะนิยมวัดจุดหลอมเหลวมากกว่าจุดเยือกแข็ง เพราะว่าการทำของเหลวให้เป็นของแข็งโดยการลดอุณหภูมิจนถึงจุดเยือกแข็งหรือต่ำกว่าแล้วสารยังคงอยู่ในสภาพเป็นของเหลวอยู่ จุดเยือกแข็งที่วัดได้จะอาจจะคลาดเคลื่อนได้ซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเย็นยิ่งขวด (Supercooling) เช่น เครื่องคั่นที่แช่เย็นจัด แต่ยังเป็นของเหลวอยู่ในสภาพเย็นยิ่งขวด เมื่อเทียบเพียงเบา ๆ จะกล้ายเป็นน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว

การวัดจุดหลอมเหลวของสารจะวัดค่าอุณหภูมิที่จุดใดจุดหนึ่งได้ยาก เพราะการให้ความร้อนเพื่อหลอมเหลวสารอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจึงให้วัดเป็นช่วง เรียกว่า ช่วงของจุดหลอมเหลว (Melting point range) โดยวัดตั้งแต่ของแข็งเริ่มหลอมละลายจนหลอมเหลวหมดอย่างสมบูรณ์ ช่วงอุณหภูมิของจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์จะแคบประมาณไม่เกิน $0.5 - 1.0^{\circ}\text{C}$ ยกเว้นสารบางชนิดบริสุทธิ์น้อยหรือไม่บริสุทธิ์ซึ่งจะกว้างและสารผสมบางชนิดจะมีจุดหลอมเหลวเฉพาะตัว ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ชนิดของสารและใช้หาพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะตัวของสารแต่ละชนิดได้ สารสองชนิดเมื่อจุดหลอมเหลวต่างกันแสดงว่าไม่ใช่สารเดียวกัน แต่ถ้ามีจุดหลอมเหลวท่ากันสารสองชนิดนั้นอาจจะเป็นสารเดียวกันหรือไม่ก็ได้ ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้โดยนำสารทั้งสองชนิดมาบดผสมให้เข้ากันแล้วนำไปหาจุดหลอมเหลว ถ้าเป็นสารเดียวกันช่วงจุดหลอมเหลวจะคงที่ แต่ถ้าสารทั้งสองชนิดเป็นสารต่างชนิดกันจุดหลอมเหลวจะเปลี่ยนไปและมีช่วงกว้างขึ้น ซึ่งค่าที่วัดได้นี้เรียกว่าการวัดจุดหลอมเหลวผสม (Mixed melting point determination)

การหาจุดหลอมเหลวของสารผสม

สารผสมสองชนิด คือ สาร A หรือสาร B ที่บริสุทธิ์ เรียกว่า สารผสมไบนาเรีย (Binary mixture) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่างกันมาผสมกันในสัดส่วนต่าง ๆ กัน จุดหลอมเหลวของสารผสมจะต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสาร A หรือสาร B ที่บริสุทธิ์ ดังรูป นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงการหลอมเหลวของสารทั้งสองจะกว้างมาก จุดหลอมเหลวของสารผสมที่ต่ำสุดที่ Curve C เรียกว่าจุดเย็คติก (Eutectic point) เป็นจุดที่อุณหภูมิต่ำสุดของสารผสมหลอมเหลวส่วนของผสม A และ B ที่ให้จุดหลอมเหลวต่ำสุดเรียกว่า สารผสมญูเย็คติก (Eutectic

mixture) ซึ่งสารประกอบสองชนิดจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิคงที่ และช่วงของการหลอมเหลวจะสั้นมากจนทำให้คิดว่าเป็นสารบริสุทธิ์ แต่ถ้าผู้สมสาร A และ B ลงในของผสมจุดหลอมเหลวจะสูงขึ้น และช่วงของการหลอมเหลวจะกว้างขึ้นและสัดส่วนของ A และ B ที่จุดยุทธิ์คิดกิฟารับสารคู่หนึ่ง ๆ จะคงที่ ของแข็งที่ไม่บริสุทธิ์เมื่อนำมาหาจุดหลอมเหลวจะพบว่าจุดหลอมเหลวจะต่ำกว่าที่ควรจะเป็น แต่ถ้านำไปตกผลึกใหม่ให้บริสุทธิ์จุดหลอมเหลวจะสูงขึ้น และช่วงของการหลอมเหลวจะแคบเข้า



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดหลอมเหลว กับ องค์ประกอบของของผสมของสารสองชนิด

นอกจากจุดหลอมเหลวจะใช้ทดสอบความบริสุทธิ์ของสารแล้วยังใช้ทดสอบสารที่สงสัยว่าเป็นสารชนิดเดียวกันหรือไม่ โดยใช้วิธีการที่เรียกว่า Mixed melting point determination ดังกล่าวแล้ว ในการหาจุดหลอมเหลวของสารผ่านกระบวนการทำหلامา ฯ ครั้ง โดยใช้สัดส่วนของสารทั้งสองต่าง ๆ กัน โดยปกติสารจะเริ่มหลอมตั้งแต่จุดยุทธิ์คิดกิ แต่ต่อจากจะเห็นไม่ทัน ดังนั้น ช่วงการวัดของ การหลอมเหลวจึงเริ่มวัดเมื่อตอนต้นของเห็นน้ำสารหลอมละลายหมด

เครื่องมือวัดจุดหลอมเหลว มีหลายแบบแต่ใช้หลักการเหมือนกัน คือ มีตัวนำความร้อนสำหรับถ่ายเทความร้อนให้แก่สารตัวอย่างที่จะหาจุดหลอมเหลว และมีเทอร์นอมิเตอร์สำหรับใช้วัดอุณหภูมิขณะที่สารได้รับความร้อนจนหลอมเหลว โดยใส่สารตัวอย่างในหลอดคีปิลลารี เครื่องมือวัดจุดหลอมเหลวที่นิยนใช้คือ

1. เครื่องมือหาจุดломเหลวที่ใช้ของเหลวเป็นตัวให้ความร้อนแก่สาร เครื่องมือประเภทนี้ คือ

- เครื่องมือหาจุดломเหลวที่ใช้บีกเกอร์

- เครื่องมือแบบทิล (Thiele apparatus) มีภาระบรรุน้ำมันมีลักษณะพิเศษ คือ หลอดแก้วทิล (Thiele tube) หลอดแก้วชนิดนี้ออกแบบให้น้ำมันถูกไฟฟ้านร้อนเกิดการไหเลวในส่วนโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือความร้อนของเหลวที่บรรจุในภาระสำหรับหาจุดломเหลว ของเหลวที่ใช้เป็นสารที่มีจุดเดือดสูงและเสถียร นิยมใช้น้ำมันพาราฟิน กลีเซอเรน การหาจุดломเหลวโดยใช้เครื่องมือประเภทดังกล่าวแล้วให้บรรจุสารตัวอย่างที่ต้องการหาจุดломเหลวบรรจุในหลอดจะปีลลารี แล้วนำหลอดมาผูกติดกับเทอร์มนิเชอร์ โดยให้ก้นหลอดอยู่ระดับเดียวกับกระปาของเทอร์มนิเชอร์ และอยู่สูงจากก้นภาระที่ใส่น้ำมันพอกสมควร ใช้ตะเกียงให้ความร้อนอย่างช้า ๆ สำหรับอุณหภูมิใกล้จะถึงจุดломเหลวของสารประมาณ $15 - 20^{\circ}\text{C}$ ลดความร้อนลงจนอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิประมาณ 2°C ต่อนาทีจนถึงช่วงอุณหภูมิที่สาร ตัวอย่างเริ่มหลอมเหลวจนหลอมเหลวหมด

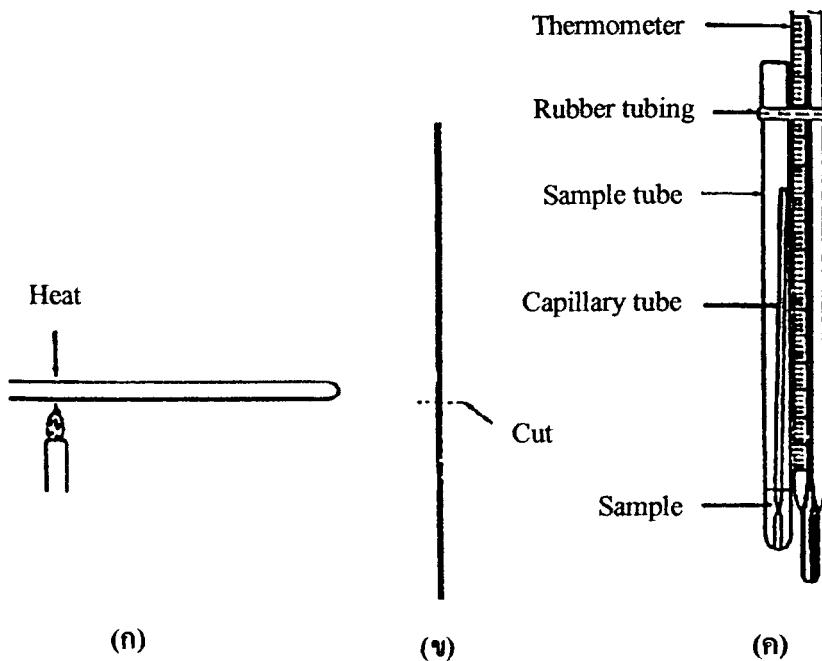
2. เครื่องมือหาจุดломเหลวที่ใช้ไฟฟ้าเพื่อทำให้หอนโลหะที่มีช่องใส่หลอดจะปีลลารีร้อนขึ้น ตัวอย่างเช่น แบบ Mel-Temp apparatus, Kofler Kot Bench และแบบ Thomas Hoover melting-point apparatus

บทเรียนสำหรับนักศึกษา

ตอนที่ 2 จุดเดือดและการกลั่น (Boiling Point and Distillation)

1. จุดเดือด (Boiling point, b.p.) จุดเดือดของสารได้คืออุณหภูมิที่ความดันไอล์ของสารนั้นซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวมีค่าเท่ากับความดันที่อยู่เหนือของเหลว ความดันไอล์ของสารขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นความดันไอล์ของสารจะสูงขึ้นด้วย ดังนั้น จุดเดือดของสารจะเปลี่ยนไปตามความดันของบรรยายกาศ จุดเดือดเป็นสมบัติทางกายภาพอย่างหนึ่งของสาร จุดเดือดของสารบริสุทธิ์แต่ละชนิดจะมีค่าคงที่ແเนื่องจากสภาพตัวให้เป็นค่าในการพิสูจน์หรือตรวจสอบสารเมื่อออยู่ในสถานะของเหลวให้เช่นเดียวกับการใช้จุดหลอมเหลวตรวจสอบเมื่อสารอยู่ในสถานะของแข็ง แต่จุดเดือดของสารที่หาได้จากการทดลองอาจจะมีค่าคาดคะذอนไปจากค่าจุดเดือดปกติของสารด้วยน้ำที่ใช้ในการอ้างอิงได้ ขึ้นอยู่กับความดันบรรยายกาศขณะที่ทำการทดลองว่ามากกว่าหรือน้อยกว่าความดันปกติที่ 1 บรรยายกาศ

1.1 วิธีการหาจุดเดือดโดยวิธีจุลภาค (Micro method) การหาจุดเดือดโดยวิธีจุลภาคหมายสำหรับสารที่มีปริมาณน้อย ๆ (ถ้ามีปริมาณมาก นิยมหาจุดเดือดโดยการกลั่น) วิธีการใส่สารที่ต้องการหาจุดเดือดในหลอดทดลองขนาดเล็กประมาณ 0.25 – 0.5 ml นำหลอดคละปีกแลร์ใช้ความร้อนบนปลายข้างหนึ่งให้ปีกแลร์ให้ใส่ในหลอดทดลอง โดยให้ปลายเปิดอยู่ใต้ระดับสารแล้วนำหลอดทดลองไปผูกติดกับเทอร์มомิเตอร์แล้วนำไปจุ่มใน Oil bath ที่ใส่น้ำมันพาราфин จัดรูปการทดลองดังรูปที่ 3.2 ใช้ตะเกียงแยกออกจากหลอดคละปีกแลร์อย่างช้า ๆ สม่ำเสมอและให้บันทึกอุณหภูมิขณะที่ฟองอากาศเริ่มปุคออกจากหลอดคละปีกแลร์อย่างรวดเร็ว และมีฟองอากาศออกมากเป็นสายขณะที่ยังให้ความร้อนอยู่ หลังจากนั้นเอ้าไฟออกเพื่อให้ Oil bath เมินลงเองอย่างช้า ๆ ฟองอากาศเหล่านี้เกิดจากการขยายตัวของอากาศในหลอดรูเล็กและฟองอากาศจะผุดออกช้าลงตาม Oil bath ที่เมินลงจนไม่มีฟองอากาศต่อไปของเหลวจะไหลเข้าไปแทนที่อากาศในรูเล็กของหลอดคละปีกแลร์ บันทึกอุณหภูมิขณะที่ฟองอากาศหมดและของเหลวเริ่มไหลเข้าไปในรูเล็กของหลอดคละปีกแลร์ ซึ่งอุณหภูมิที่จุดนี้คือจุดเดือดของของเหลวที่ทดลองนั้น ทำการทดลองซ้ำอีกรอบหนึ่ง โดยเอาหลอดคละปีกแลร์มาสักด้วยเหลวออกแล้วใส่ในหลอดทดลองใหม่ ควบคุมความร้อนให้อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 2°C ต่อน้ำที่จนมีฟองอากาศผุดออกมากจึงเอาระเกียงอุ่นบันทึกผลซึ่งผลการทดลองทั้งสองครั้งไม่ควรต่างกันมากกว่า $1 - 2^{\circ}\text{C}$

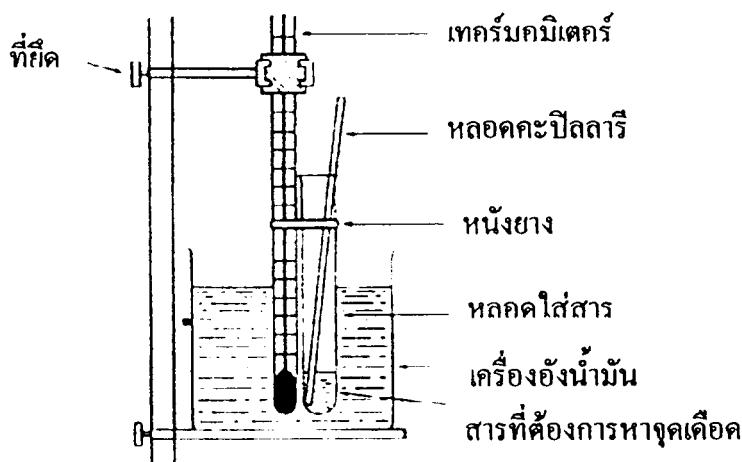


รูปที่ 3.1 เครื่องมือสำหรับหาจุดเดือดโดยวิธีชลภาค

(ก) เครื่ยมหลอดคงปีลารี

(ข) ตัดหลอดคงปีลารีให้ห่างจากจุดหลอดติดกัน^{ประมาณ 0.5 cm}

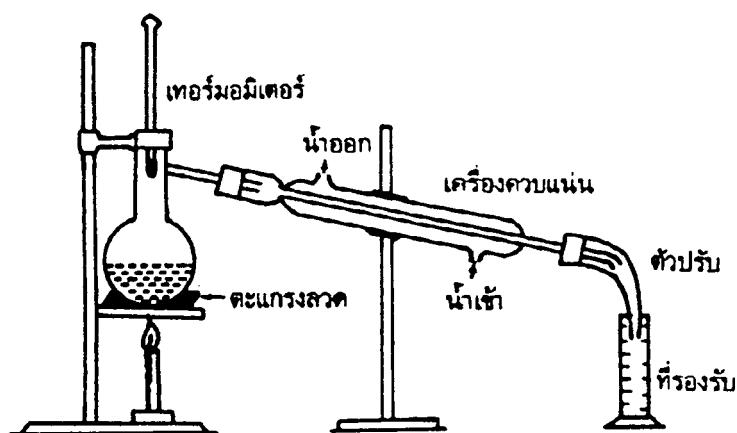
(ค) นำหลอดสารด้วอย่างผูกติดกับเทอร์นอมิเตอร์
แล้วใส่หลอดคงปีลารีที่เครื่ยมไว้ลงไป



รูปที่ 3.2 เครื่องมือหาจุดเดือดโดยวิธีชลภาค

2. การกลั่น (Distillation) การกลั่นเป็นวิธีที่ศึกษาหนึ่งในการทำให้ของเหลวบริสุทธิ์โดยการทำให้ของเหลวถูกแยกเป็นไอแล้วทำให้ไอควบแน่นกลับเป็นของเหลวอีก วิธีการกลั่นเหมาะสมสำหรับใช้กับของเหลวที่ระเหยถูกเป็นไอได้ง่าย (Volatile liquid) ออกจากการของเหลวที่ระเหยถูกเป็นไอได้ยาก (Non-volatile liquid) หรือใช้แยกของเหลวหลาย ๆ ชนิดที่มีจุดเดือดต่างกันมาก ๆ เครื่องกลั่นแบบธรรมดาก็สามารถใช้แยกของเหลวสองชนิดที่มีจุดเดือดต่างกันมากกว่า 80°C ขึ้นไป แต่ถ้าของเหลวผสมนั้นมีจุดเดือดใกล้เคียงกันมาก ต้องใช้วิธีกลั่นช้ำหลาย ๆ ครั้งหรือใช้วิธีการกลั่นแบบใช้เครื่องมือกลั่นแยกลำดับส่วน (Fractional distillation) ในการกลั่นแบบธรรมดานั้นความดันที่อยู่เหนือของเหลวคือความดันบรรยายกาศ ดังนี้ถ้าต้องการทราบอุณหภูมิແນ่นอนต้องบันทึกความดันในขณะทดลองด้วย แต่โดยทั่วไปในห้องปฏิบัติการถือว่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากของเหลวทุกชนิดถ้าไม่สลายตัวก่อนที่ความดันไอลดึงความดันบรรยายกาศ (760 mm) จะมีจุดเดือดคงที่ແเน่นอนเฉพาะตัวจึงใช้เป็นค่าคงตัวในการทดสอบของเหลวขึ้นขึ้นชนิดของเหลวได้ เช่นเดียวกับการหาจุดหลอมเหลว แต่การหาจุดเดือดจะคลาดเคลื่อนได้มากกว่าถ้าความดันบรรยายกาศเปลี่ยนแปลงและของเหลวนั้นไม่บริสุทธิ์

2.1 วิธีการกลั่นแบบธรรมด้า (Simple distillation) เป็นวิธีที่ใช้ในการแยกของเหลวที่ระเหยง่ายออกจากของเหลวที่ระเหยยาก เครื่องมือที่ใช้โดยทั่วไปในห้องปฏิบัติการ ดังรูป



รูปที่ 3.3 เครื่องมือการกลั่นแบบธรรมด้า

วิธีการกลั่น ติดตั้งเครื่องมือดังรูป

1. ใช้เหล็กขาตั้งยึดเครื่องมือดังรูป
2. เครื่องมือประกอบด้วยขวดกลั่นที่มีแขนข้างเสียบทะลุถุงครัวไว้และต่อเข้ากับเครื่องควบแน่นที่ใช้น้ำหล่อ (Water cooled condenser) โดยให้ทางค้านปลายคอนเดนเซอร์

เอียงลงเล็กน้อยใช้สายยางต่อที่ไข่น้ำเข้าทางปลายด่างและนำออกทางด้านบน ปากขวดถักใช้จุกคอร์กเจาะรูเดี่ยวนเทอร์มอมิเตอร์โดยให้ปลายกระเพาะเทอร์มอมิเตอร์อยู่ค้างไว้ระดับแขนของขวดถักประมาณ 10 mm

3. ยึดขวดถักและเครื่องความแน่นด้วยตัวหนีบชี้ด (Clamp) กับขาตั้งโดยวางขวดถักไว้บนตะแกรง漉漉ที่มีแอสเบสทอส (Asbestos) วางบนเหล็กวงกลม เพื่อให้ความร้อนจากตะเกียงบุนเซนกระจายอย่างสม่ำเสมอ และไม่ร้อนมากเกินไป

4. ขวดถักเลือกใช้ให้เหมาะสมกับปริมาณสารที่ถักถ้วนควรใช้ขนาดใส่สารที่ถักถ้วนได้ประมาณสองในสามของขวด ถ้าใส่มากเกินไปของเหลวอาจหลุดออกมานะ ใส่สารที่จะถักถ้วนลงไปในขวดถักพร้อมกับใส่ Boiling chip 2 – 3 เม็ดลงไป

5. ปลายด้านล่างขวดถักใช้ขวดรูปกรวย หลอดทดลองหรือกระบอกหัวเป็นภาชนะรองรับ เมื่อให้ความร้อนแก่ของเหลวในขวดถักจะคลายเป็นไอ ไอส่วนหนึ่งจะควบแน่นเกาะบนเทอร์มอมิเตอร์หรือข้าง ๆ ขวดถักแต่ส่วนมากจะผ่านไปตามแขนของขวด ถักถ้วนและควบแน่นเป็นของเหลว เพราะน้ำเย็นที่ไหลเข้ามาหล่อจากท่อแก้วทึบ nokreikของเหลวผลถัก (Distillate) จะไหลไปตามท่อหลอดแก้วสู่ภาชนะรองรับ ส่วนที่เหลือในขวดถักเรียกส่วนที่เหลือ (Residue)

6. การให้ความร้อนแก่ขวดถักเป็นไฟต้องปรับไฟให้ของเหลวหลักถ้วนออกมาน้ำมัน ซึ่งดูได้จากการน้ำเดือกที่เทอร์มอมิเตอร์ลดเวลา ของเหลวที่ถักถ้วนเมื่อได้รับความร้อนมากจะร้อนมากยิ่ง(Superheated) ซึ่งจะทำให้ของเหลวเดือดและพลุ่งขึ้นข้างบน(Bump) ไอของสารมีอุณหภูมิสูงเกินจุดเดือดทำให้ค่าอ่านได้สูงเกินไป แก้ไขโดยการใส่ชิ้นป้องกันการเดือดพลุ่ง (Boiling chip) อาจเป็นเศษกระเบื้อง 2 – 3 ชิ้น อาการที่อยู่ในรูถักๆ ในนั้นกันเดือดจะทำให้เกิดฟองทำให้ของเหลวเดือดอยู่เสมอใส่ขณะเดือดจะทำให้ของเหลวเดือดรุนแรงล้นออกจากขวดได้ ถ้าสารที่นำมาถักถ้วนเป็นสารบริสุทธิ์ถักถ้วนที่ความดันคงที่อุณหภูมิของไอของสารที่ถักถ้วนจะคงที่ตลอดเวลา ถ้าป้องกันไม่ให้เกิดการร้อนอย่างယคยิ่ง (ซึ่งอาจจะทำให้อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือด ประมาณสองถึงสามองศา) อุณหภูมิที่อ่านได้คือจุดเดือดของของเหลวที่บริสุทธิ์และอุณหภูมิจะคงที่ตลอดเวลาที่สารบริสุทธิ์ยังคล้ายเป็นไอ

7. ถ้าเป็นของเหลวผสมละลายซึ่งกันและกันจุดเดือดใกล้กัน เมื่อของเหลวผสมเดือดไอของสารตัวที่มีจุดเดือดต่ำจะถักถ้วนออกมาก่อนสารที่มีจุดเดือดสูง เมื่อถักถ้วนไปนานอุณหภูมิจะสูงขึ้น สารที่มีจุดเดือดสูงจะถักถ้วนออกมาก่อนการถักถ้วนแบบบรรจุแจ้งแยกของเหลวที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกันไม่ได้ต้องใช้วิธีถักถ้วนแบบแยกลำดับส่วน (Fractional distillation)

3. วัสดุประสงค์

หลังจากจนบทเรียนนี้แล้วนักศึกษามีความสามารถดังนี้

1. ทำการทดลองหาจุดเดือดของสารที่กำหนดให้ได้
2. ทำการทดลองกลั่นสารที่กำหนดให้ได้โดยวิธีการกลั่นแบบธรรมดาย่างมีหักงา
3. หาจุดเดือดโดยวิธีการกลั่นแบบธรรมดากลไกแบบวิธีจุลภาค (Micro) ได้

4. การทดลองเรื่อง การหาจุดเดือดและการกลั่น

4.1 การทดลองที่ 1 การกลั่นแบบธรรมด้า

วิธีทดลอง

1. นักศึกษารับของเหลว และให้ทำการกลั่นของเหลวที่ได้รับโดยวิธีกลั่นแบบธรรมด้า
2. ติดตั้งเครื่องมือดังรูปที่ 3.3 และทำการทดลองโดยใช้แนวโน้มหัวข้อ 2.1
3. ใช้วาตกลั่นขนาด 100 cm^3 กระบอกวงขนาด 10 cm^3 และ 50 cm^3 เป็นภาชนะรองรับ โดยเครื่องแก้วที่จะใส่สารตัวอย่างและที่ใช้ทดลองต้องแห้งสนิท
4. ใส่สารตัวอย่างของเหลวที่ได้รับลงในวาตกลั่น 50 cm^3 ใส่ Boiling chips 2 ชิ้น ก่อนกลั่น
5. เนื่องจากสารตัวอย่างมีสมบัติไวไฟจึงต้องระมัดระวังอุบัติเหตุจากการถูกติดไฟของสาร การกลั่นใช้ตะเกียงบุนเซนปรับเป็นไฟให้แผ่นตะแกรงลวดด้วยอสเปสตอสหานใช้เปลวไฟบนวาตกลั่นโดยตรง และไม่ใช้ไฟแรงเกินไป เพราะโอกาสการตัวอย่างอาจจะระเหยออกมานถูกติดไฟได้ วัสดุหกนิวให้อ่านเทอร์มอมิเตอร์ขณะที่ด้านล่างของเหลวของเทอร์มอมิเตอร์
6. วัดอุณหภูมิขณะที่กลั่นสารออกมา $5, 10, 15, 20, 25, 30 \text{ cm}^3$ จนเหลือสารในวาตกลั่นประมาณ 5 cm^3 ไม่ควรกลั่นจนแห้งเพื่อความร้อนจะทำให้วาตกลั่นแตกได้หลังจากนั้นหยุดกลั่นปล่อยให้เย็น
7. บันทึกรายงานผลการทดลอง

6. วัดอุณหภูมิขณะที่กลั่นสารออกมา $5, 10, 15, 20, 25, 30 \text{ cm}^3$ จนเหลือสารในขวดกลั่นประมาณ 5 cm^3 ไม่ควรกลั่นจนแห้ง เพราะความร้อนจะทำให้ขวดกลั่นแตกได้หลังจากนั้นหยุดกลั่นปล่อยให้เย็น

7. บันทึกรายงานผลการทดลอง

รายงานผลการทดลอง การกลั่นแบบธรรมชาติ

ชื่อผู้รายงาน เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 ผู้ร่วมงาน 1. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 2. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 3. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 วันที่ เดือน พ.ศ.
 อาจารย์ผู้สอน

ผลการทดลอง

1. ตารางบันทึกผลการทดลอง

ของเหลวที่กลั่นได้ (cm^3)	5	10	15	20	25	30				
อุณหภูมิ $^{\circ}\text{C}$										

- ปริมาตรที่กลั่นได้มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิคือ

.....

2. ช่วงจุดเดือดเริ่มต้นของการกลั่นสารตัวอย่างก่อนคงที่ $^{\circ}\text{C}$

3. ปริมาตรของสารที่กลั่นได้ก่อนใส cm^3

4. จุดเดือดของสารตัวอย่างที่มีค่าคงที่ $^{\circ}\text{C}$

5. ปริมาตรของสารตัวอย่างที่กลั่นได้มีอุจจุดเดือดคงที่ cm^3

6. ปริมาตรสารที่เหลืออยู่ในขวดกลั่น cm^3

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

.....

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

4.2 การทดลองที่ 2 การหาจุดเดือดของของเหลวแบบบุลภาค (Micro method)

วิธีทดลอง

1. ให้นักศึกษานำของเหลวที่ได้จากการทดลองที่ 1 มาหาจุดเดือดแบบบุลภาค โดยใช้วิธีการในข้อ 1.1 วิธีการหาจุดเดือดแบบบุลภาค
2. ดำเนินการทดลองโดยจัดตั้งเครื่องมือดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 แล้วทำการทดลองหาจุดเดือดของสารตัวอย่างนี้ได้จากการทดลองที่ 1 ดังกล่าวแล้ว
3. ทำการทดลองหาจุดเดือด 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย
4. บันทึกผลการทดลอง

รายงานผลการทดลอง
การหาจุดเดือดของของเหลวแบบบุลภาค

ชื่อผู้รายงาน เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 ผู้ร่วมงาน 1. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 2. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 3. เลขที่ กลุ่ม โปรแกรมวิชา
 วันที่ เดือน พ.ศ.
 อาจารย์ผู้สอน

ผลการทดลอง

1. ตารางแสดงอุณหภูมิของของเหลวตัวอย่าง

	ครั้งที่ 1 ($^{\circ}\text{C}$)	ครั้งที่ 2 ($^{\circ}\text{C}$)	ครั้งที่ 3 ($^{\circ}\text{C}$)
อุณหภูมิเมื่อมีฟองอากาศปูดออกเป็นสาย			
อุณหภูมิเมื่อมีฟองอากาศสุกห้ำยปูดออกมาก และของเหลวไหลเข้าหลอดขณะปีลารี			

2. จุดเดือดของของเหลว $^{\circ}\text{C}$

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

5. คำตามหลังจากการทดลองเรื่องชุดเดือดและการกลั่น

คำตาม 1 ในการกลั่นทำไม่ต้องใส่ Boiling chip ทุกครั้ง

ตอบ

คำตาม 2 ในการทดลองเรื่องการกลั่นควรขัดคำแนะนำเทอร์มอนิเตอร์อยู่ในระดับใดจึงจะเหมาะสมเพราะเหตุไร

ตอบ

คำตาม 3 การกลั่นแบบธรรมดា (Simple distillation) ควรใช้กับสารประเภทใดเพราะเหตุไร

ตอบ

คำตาม 4 การหาจุดเดือดแบบจุลภาคเหมาะสมสำหรับหาจุดเดือดสารประเภทใด

ตอบ

คำตาม 5 การกลั่นสารผสมที่อุณหภูมิใกล้กันควรใช้การกลั่นวิธีใด

ตอบ

คำตาม 6 การกลั่นลำดับส่วนจะกลั่นได้ผลคึกว่าการกลั่นแบบธรรมดาย่างไร

ตอบ

เอกสารอ่านประกอบบทเรียน

ตอนที่ 2 จุดเดือดและการกลั่น (Boiling point and Distillation)

จุดเดือด (Boiling point, b.p.) คือ อุณหภูมิที่ของเหลวมีความดันไอล์กับความดันของบรรยากาศที่จุดเดือดไม่เกิดข้อปฏิกัดในลักษณะเป็นแก๊สหรือไอกับไม่เกิดก้อน เป็นของเหลวจะอยู่ในสภาพสมบุคคลโดยที่ความดันไอล์ของสารซึ่งอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นความดันไอล์ของสารจะสูงขึ้น จุดเดือดของสารจะเปลี่ยนแปลงไปตามความดันบรรยากาศ ถ้าความดันของบรรยากาศคงที่จุดเดือดของสารจะคงที่ด้วย จุดเดือดเป็นสมบัติทางกายภาพของสารเมื่อกล่าวถึงจุดเดือดของสาร ใจจะหมายถึง จุดเดือดปกติ (Normal boiling point) ของสารนั้นซึ่งวัดที่ความดันปกติ 1 บรรยากาศ (760 mm ของproto) จุดเดือดของสารบริสุทธิ์แต่ละชนิดจะมีค่าคงที่แน่นอนเฉพาะคัวสารมาใช้ในการตรวจสอบและพิสูจน์ในสถานะของเหลวได้แต่จุดเดือดของสารอาจจะคลาดเคลื่อนจากจุดเดือดปกติที่ใช้อ้างอิงได้ โดยที่น้อยกว่าความดันของบรรยากาศจะลดลงมากกว่า 1 บรรยากาศ แต่ถ้าของเหลวสองชนิดที่มีจุดเดือดเท่ากันผสมเป็นเนื้อเดียวกันจะมีจุดเดือดคงเดิมซึ่งค่างจากของแข็ง เช่น โดยปกติแล้วของเหลวที่มีจุดเดือดต่างกันผสมเป็นเนื้อเดียวกันจะมีจุดเดือดอยู่ระหว่างจุดเดือดของของเหลวบริสุทธิ์ทั้งสอง แต่ในบางครั้งพบว่าไม่เป็นไปตามกฎดังกล่าว แต่จะรวมกันเป็นสาร Azeotropic mixture หรือ Constant boiling mixture (ของเหลวผสมจุดเดือดคงที่) ของผสมส่วนนี้จะมีสัดส่วนของของเหลวทั้งสองและสัดส่วนของไอที่ถูกอกมาคงที่ และกลั่นที่อุณหภูมิคงที่คล้ายกับเป็นของเหลวที่บริสุทธิ์ จุดเดือดของ Azeotrope จะไม่อยู่ระหว่างจุดเดือดของของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Maximum boiling azeotrope) หรือต่ำกว่าจุดเดือดของของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Minimum boiling azeotrope) ตัวอย่างของผสม Azeotropic mixture เช่น Ethanol-toluene, Ethanol-water, Acetone-chloroform เป็นต้น การวัดจุดเดือดปกติทำได้โดยการกลั่นอย่างง่าย (Simple distillation) จุดเดือดของสารนี้ซึ่งอยู่กับขนาดของไม้เลกุล และแรงดึงดูดระหว่างไม้เลกุลของสาร สารที่มีหมุนเวียนดีมาก เช่น พากอัลเคน (Alkane, C_nH_{2n+2}) สารที่มีไม้เลกุลใหญ่เช่นจะมีจุดเดือดสูงขึ้นตามลำดับ เช่น CH_4 , b.p. - 164°C เป็นต้น ส่วนของเหลวพากที่มีขี้ว (Polar) จะมีจุดเดือดสูงกว่าของเหลวที่ไม่มีขี้ว (Nonpolar) เช่นน้ำหนักไม้เลกุลเท่ากันและของเหลวที่มีขี้วที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนได้จะมีจุดเดือดสูงกว่าของเหลวที่มีขี้วที่ไม่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนได้ เช่น C_2H_5OH สร้างพันธะไฮโดรเจนได้มี b.p. 78.8 °C สูงกว่า $CH_3 - O - CH_3$, b.p. - 23.7°C ซึ่งมีขี้วเล็กน้อย แต่ไม่สร้างพันธะไฮโดรเจน ส่วน C_2H_6 ไม่มีขี้วและไม่สร้างพันธะไฮโดรเจน มี b.p. เพียง -42.1°C

การกลั่น การกลั่นเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งที่ใช้ในการทำของเหลวให้บริสุทธิ์ การแยกของเหลวผสมออกจากกันหรือใช้ในการกำจัดตัวทำละลายและใช้ในการหาจุดเดือดของสาร การกลั่นอาศัยหลักความแตกต่างของความดันไอ (Vapour pressure) ของของเหลวที่ผสมกันอยู่ ทำให้ของเหลวร้อนกลายเป็นไอ และกลั่นตัวเป็นของเหลวอีก ของเหลวที่มีความดันไอมากกว่า จะระเหยได้ง่ายกว่าจึงกลั่นตัวเป็นของเหลวก่อนจะใช้เป็นหลักทำให้แยกของเหลวที่ระเหยง่าย ยกจากของเหลวที่ระเหยยากกว่าได้ การกลั่นมี 4 ประเภท คือ การกลั่นแบบธรรมชาติ การกลั่นแยกลำดับส่วน การกลั่นแบบลดความดัน และการกลั่นแบบใช้ไอน้ำ การกลั่นแต่ละแบบมีวิธีการพิเศษๆ ได้ดังนี้ คือ

การกลั่นแบบธรรมชาติ (Simple distillation)

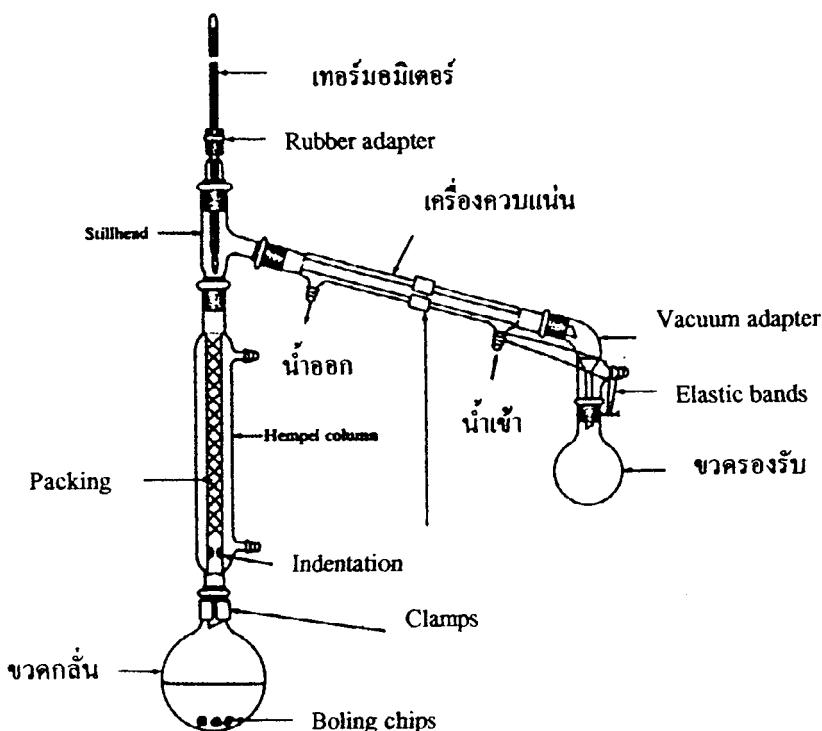
การกลั่นแบบธรรมชาติเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแยกของเหลวที่ระเหยง่าย (Volatile) ออกจากของเหลวที่ระเหยยากหรือไม่ระเหย (Nonvolatile) ถ้าของเหลวมีสิ่งเจือปนที่ไม่ระเหยผสมอยู่ ของเหลวนั้นจะมีความดันไอลดลงเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกัน อุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นของเหลวนิดนึงจึงต้องสูงขึ้น เพื่อให้ความดันไอลของของเหลวสูงขึ้นเป็นปกติ เท่ากับความดันไอลของของเหลวนิดนึงเมื่อบริสุทธิ์ อุณหภูมิใด ๆ ความดันไอลของของเหลวที่ไม่บริสุทธิ์จะต่ำกว่าความดันไอลของของเหลวที่บริสุทธิ์ การกลั่นแบบธรรมชาติใช้แยกของเหลวสองชนิดที่ระเหยได้และมีจุดเดือดต่างกันมากกว่า 80°C เมื่อนำของเหลวผสมนี้มากลั่นไอลที่เกิดขึ้นจะมีความเข้มข้นของสารที่ระเหยง่ายกว่า (สารนี้มีจุดเดือดต่ำกว่า) ในปริมาณที่มากกว่า เมื่อไอลที่เกิดขึ้นกลั่นตัวเป็นของเหลว ของเหลวที่ได้จากการกลั่นตัวของไอนี้จะมีความเข้มข้นเพิ่ม เดียวกับไอลของของเหลวนั้น ซึ่งมีความเข้มข้นของสารที่ระเหยยากกว่าหรือมีจุดเดือดสูงกว่ามาก ขึ้น ทำให้ของเหลวในขวดกลั่นมีจุดเดือดต่ำจะออกมาก่อน ต่อจากนั้นของเหลวที่มีจุดเดือดสูงจะออกมากายหลัง ถ้าของเหลวผสมที่มีอุณหภูมิต่างกันน้อยกว่า 80°C จะใช้วิธีแยกของเหลวออกจากกันโดยวิธีกลั่นแบบธรรมชาติไม่ได้ผลดี อุณหภูมิขยะกลั่นจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงควรใช้วิธีกลั่นแยกลำดับส่วน

การกลั่นแบบลำดับส่วน (Fractional distillation)

การกลั่นแบบลำดับส่วน เป็นวิธีการกลั่นที่ใช้แยกของเหลวตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่ระเหยได้และรวมเป็นเนื้อเดียวกันมีจุดเดือดต่างกันควรจะน้อยกว่า 80°C เครื่องมือที่ใช้ในการกลั่นแยกต่างหากการกลั่นแบบธรรมชาติเล็กน้อยคือมี Fractional column เพิ่มขึ้น การกลั่นลำดับส่วนแยกเป็นการกลั่นลำดับส่วนของสารละลายสมบูรณ์แบบ (Ideal solution) และสารละลายไม่สมบูรณ์แบบ (Non-ideal solution)

การกลั่นแยกสารละลายสมบูรณ์แบบ สารละลายแบบสมบูรณ์แบบหรือสารละลายในอุณหภูมิ คือ สารละลายที่แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารชนิดเดียวกันมีค่าเท่ากับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารต่างชนิดกัน เมื่อนำมาผสานกันแล้วจะไม่มีความร้อนเกิดขึ้น สารละลายสมบูรณ์แบบเท่านั้นจึงจะใช้กฎของราอูลต์ (Raoult's Law) แต่โดยทั่วไปแล้วถ้าสารละลายใดไม่เกิดเป็นสารผสม จุดเดือด (Azeotropic mixture) ก็ให้ถือเป็นสารละลายอุณหภูมิได้ สารละลายส่วนมากจะมีสมบัติเป็นสารละลายอุณหภูมิ

การกลั่นแยกสารละลายไม่สมบูรณ์แบบ สารละลายไม่สมบูรณ์แบบมีสมบัติต่างจากสารละลายสมบูรณ์แบบ คือ เมื่อนำแต่ละชนิดมาผสานกันจะมีความร้อนเกิดขึ้นหรือนี้ปริมาตรรวมเปลี่ยนแปลงไป สารละลายที่ได้จึงมีค่าความคันไอที่ไม่เป็นไปตามกฎของราอูลต์



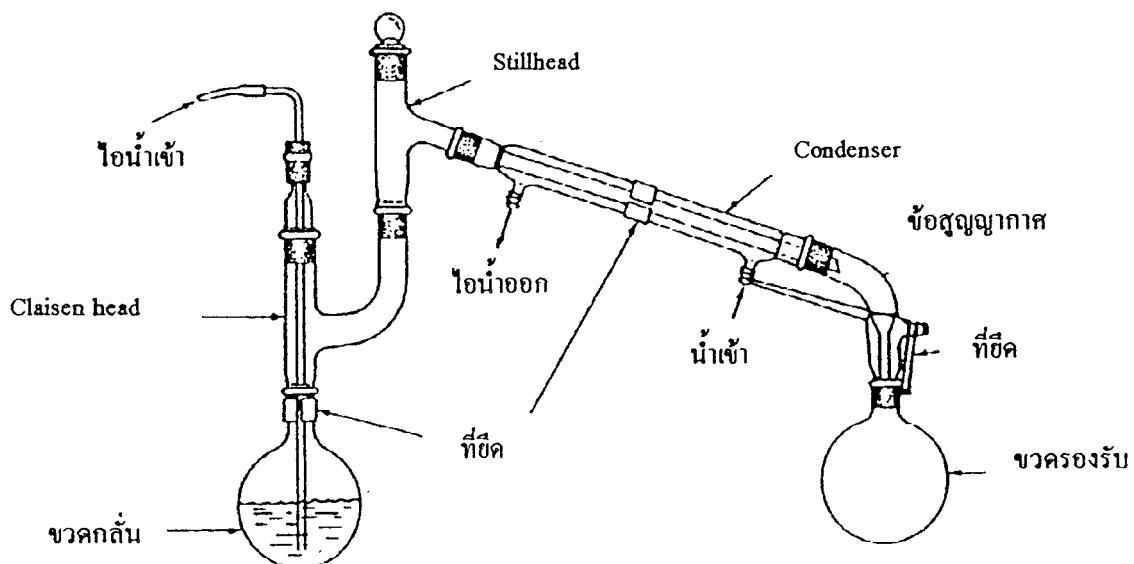
รูปที่ 3.1 เครื่องกลั่นแบบดำน้ำส่วน

การกลั่นแบบไอน้ำ (Steam distillation)

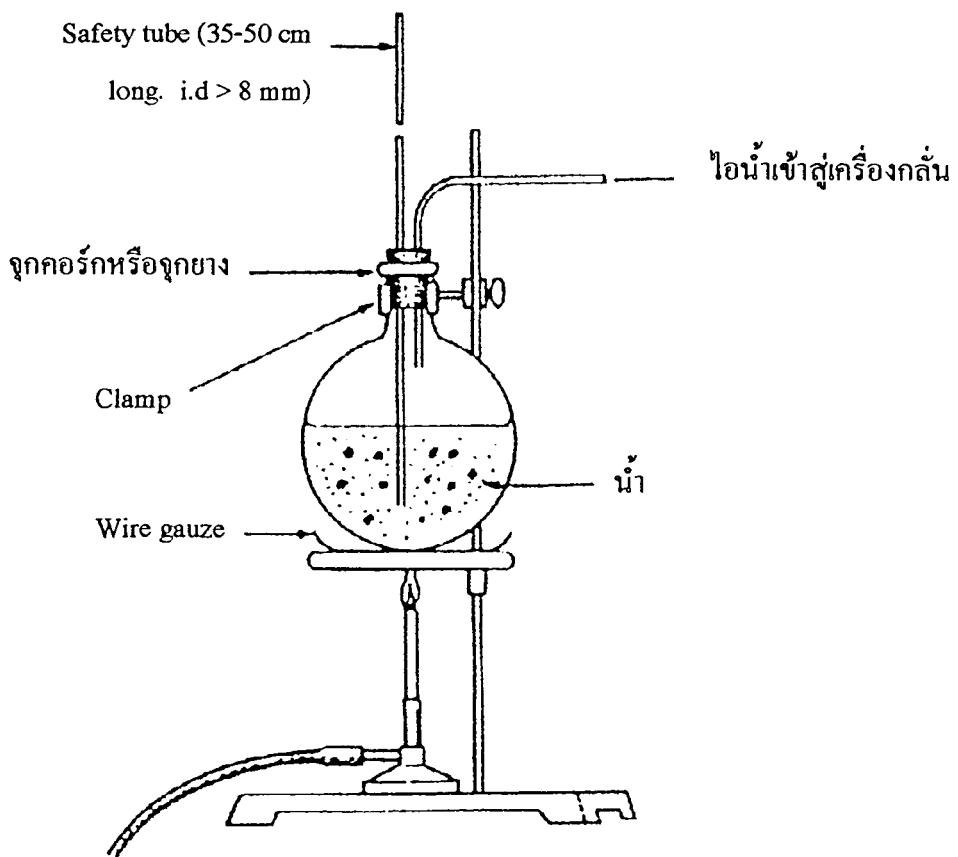
การกลั่นแบบไอน้ำ ใช้ในการกลั่นสารเคมีที่ระเหยได้ออกมาพร้อมกับไอน้ำ โดยสารไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ การกลั่นด้วยไอน้ำมีประโยชน์มากในการแยกของเหลวที่ระเหยได้ และไม่ละลายน้ำออกจากสารที่กล้ายเป็นไอน้ำได้ยาก ของเหลวที่กลั่นออกมานะจะออกมาน้ำที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงกว่าจุดเดือดของน้ำและจุดเดือดของสารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงใช้เป็น

วิธีที่ทำให้สารที่มีจุดเดือดสูงหรือสาร слaboตัวที่มีจุดเดือดบริสุทธิ์ และการกลั่นแบบไอน้ำขึ้นใน การแยกสารที่ต้องการออกจากการประเทกอื่น เช่น แยกออกจากการที่มีลักษณะเป็นน้ำมัน และไม่ระบุ แยกออกจากการผสมของน้ำที่มีเกลืออนินทรีย์คลาบทอยู่สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่สามารถละลายในน้ำและสารที่ระบุได้จำกัดคัวไอน้ำ

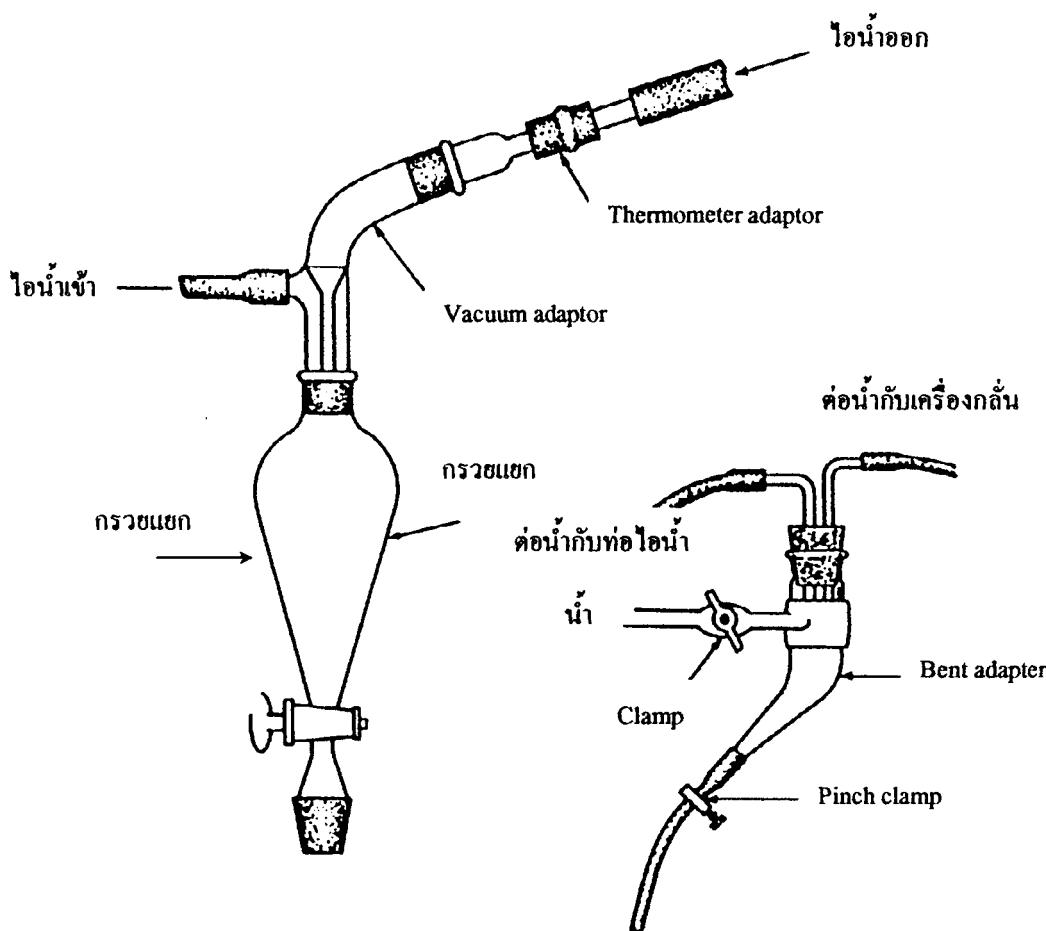
เครื่องมือการกลั่นแบบไอน้ำ



รูปที่ 3.2 เครื่องกลั่นแบบใช้ไอน้ำ



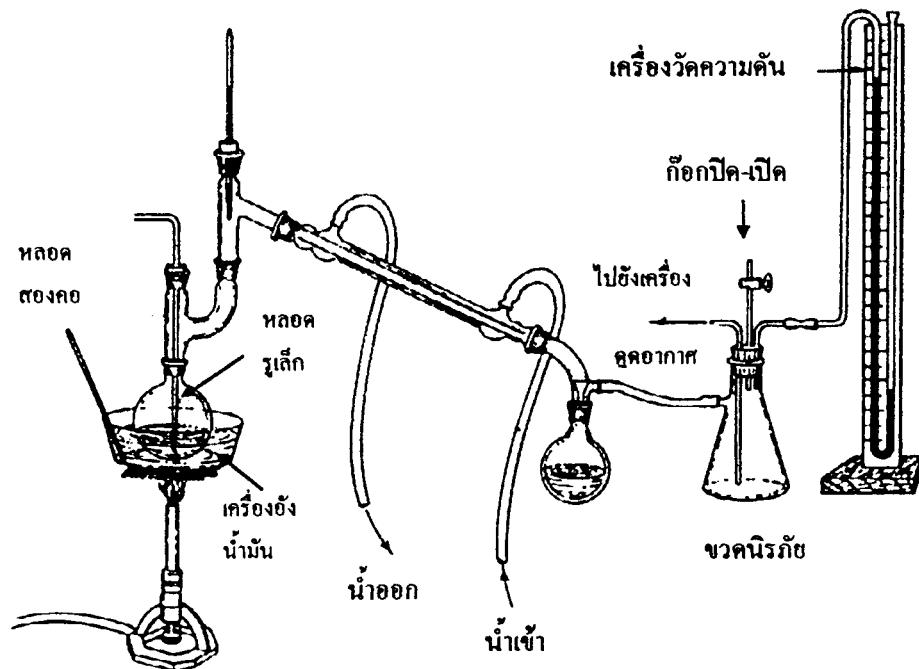
รูปที่ 3.3 เครื่องกำเนิดไอน้ำ



รูปที่ 3.4 ขวดคักไอน้ำ

การกลั่นแบบลดความดัน (Distillation under diminished or reduced pressure)

หากเดือดของของเหลวขึ้นอยู่กับความดัน ถ้าความดันเหนือของเหลวลดลงจะทำให้
หากเดือดค้าง ถ้าสามารถกลั่นโดยการลดความดัน โดยการดูดอากาศออกจากเครื่องกลั่นที่
ปิดแน่นให้ความดันภายในลดลงจนถึงประมาณ 10-30 mm ของปerroh จะทำให้กัดลั่นของเหลว
ออกมากที่อุณหภูมิค่อนข้างกว่าจุดเดือดของนั้นมาก เรียกการกลั่นแบบนี้ว่าการกลั่นโดยลดความดัน
และถ้าดูดอากาศออกจากเครื่องกลั่นจนเป็นสูญญากาศเรียกการกลั่นในสูญญากาศ (Vacuum
distillation) การกลั่นแบบลดความดันหรือการกลั่นในสูญญากาศมีประโยชน์ในการกลั่นของ
เหลวที่สลายตัวที่จุดเดือดของนั้นที่ความดันของบรรยากาศ หรือของเหลวที่ถูกดูดซูบได้สำไง



รูปที่ 3.5 เครื่องมือสำหรับการกลั่นโดยลดความดัน

หนังสืออ่านประกอบ

ศุนันทา วินูลย์จันทร์. ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ พิพิธรั้งที่ 2. นนทบุรี. โรงพยาบาลเด็ก. 2538.

เพชร์ ลิทธิสุนทรและคณะ. คู่มือปฏิบัติการเคมีอินทรีย์. กรุงเทพมหานคร. โรงพยาบาลเด็กพิมพ์ สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539.

พิฒนา รุกข์ไชยศรีกุล. ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 1. กรุงเทพมหานคร. โรงพยาบาลเด็กพิมพ์ สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543.

Adams, Roger John R, and Wilcox, Charles F., Jr. *Laboratory Experiments in Organic Chemistry*. 7th. ed. New York : Macmillan Publishing Co., Inc. , 1979.

Robert, M.R, Gilbert, C. J and Rodewald, B.L. *Modern Experiment Organic Chemistry*. 4th. ed. Japan. Halt - Saunders. 1985.

คู่มือครู
บทเรียนสำหรับชั้นปีที่ 1

การตกผลึกและการหาจุดหลอมเหลว

CRYSTALLIZATION AND MELTING POINT DETERMINATION

และ

การหาจุดเดือดและการกลั่น

BOILING POINT AND DISTILLATION

โดย

กุลยา จันทร์อรุณ

โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาบันราชภัฏพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก

คูมีอครู

การตกผลึกและการหาจุดหลอมเหลว

ตอนที่ 1.1 การตกผลึก (Crystallization)

1. จุดประสงค์เชิงพุทธิกรรม

เมื่อนักศึกษาเรียนจนเรื่อง การตกผลึกแล้ว นักศึกษามีความสามารถ

- เลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมที่ใช้ในการตกผลึกได้
- ตกผลึกสารให้บริสุทธิ์ได้
- รู้จักเดือดและใช้เครื่องมือเพื่อตกผลึกสารได้

2. แผนการสอน

บทเรียนสำเร็จรูปนี้ใช้เวลาทั้งหมด 4 คาบ ประกอบด้วย การทดลอง 3 เรื่อง ดังนี้

- | | |
|--|------------|
| 1. การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในการตกผลึก | เวลา 2 คาบ |
| 2. การตกผลึก Acetanilide | เวลา 1 คาบ |
| 3. การตกผลึกสารตัวอย่าง | เวลา 1 คาบ |

3. เนื้อหาและความคิดรวบยอด

1. การตกผลึกเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการทำให้องเจ็บบริสุทธิ์ โดยกำจัดสิ่งปนเปื้อนในสารที่ต้องการตกผลึก โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมกับสารตัวอย่าง ละลายสารตัวอย่างและปล่อยให้ตกผลึกออกมานะ

2. ขั้นตอนในการตกผลึกสรุปดังนี้ ละลายสารที่จะตกผลึกในตัวทำละลายที่อุณหภูมิสูง แล้วการองสารละลายจะร้อน เพื่อกรองสารไม่บริสุทธิ์ที่ไม่ละลายออก ตั้งสารละลายให้เย็นลง และทิ้งไว้ให้ผลึกออกมาน หลังจากนั้นแยกผลึกออกจาก Mother liquor แล้วล้างผลึกและนำไปให้ผลึกแห้งโดยไอล์วาร์ก้าละลายออกจากผลึก

3. การเลือกตัวทำละลายในการตกผลึกสาร ควรบีดหลักการละลายของสารแบบ

Like dissolves like

4. ตัวทำละลายที่เหมาะสมมีสมบัติเช่นพำนัชตัวคือ ละลายสารที่จะทดสอบได้ดีที่สุด แต่ละลายสารได้น้อยที่อุณหภูมิต่ำ และไม่ละลายสารที่เจือปนขณะที่ร้อน จะทำให้กรองสารเจือปนออกได้ง่าย

5. สารละลายที่จะทดสอบต้องเป็นสารละลายอิ่มตัว เมื่อทิ้งให้ค่อยๆ เย็นตัวถูกละลายจะค่อยๆ ทดสอบออกมากจากตัวทำละลาย

6. การกรองผลลัพธ์ควรกรองด้วยกรวยกรองก้านสั้น โดยใช้วิธีกรองแบบธรรมชาติเพื่อช่วยไม่ให้ผลลัพธ์ตกรอกมาติดด้านในของก้านกรวยได้ง่าย

7. ตัวทำละลายเดียวต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่จะทดสอบและจุดเดือดของตัวทำละลายต้องต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสารที่จะทดสอบ เพื่อป้องกันไม่ให้สารหลอมเหลวก่อนที่จะละลายในตัวทำละลายที่ใช้ทดสอบ

4. กิจกรรมที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

การทดลองที่ 1 การเลือกตัวทำละลายในการทดสอบ

อุปกรณ์และสารเคมีที่ต้องเตรียมล่วงหน้า

1. ขวดรูปกรวย ขนาด 250 ml 3 ใบ
2. กระดาษกรอง Whatman's No. 1 หรือ 4 และ No. 2, 5 หรือ 6
3. Hot plate
4. กรวยกรองก้านสั้น
5. Spatula
6. อ่างน้ำ (Water bath)
7. หลอดทดลองขนาดเด็ก
8. น้ำ
9. เอทานอล
10. ปิโตรเลียมอีเทอร์
11. คลอรอฟอร์น
12. เยกเซน
13. สารตัวอย่าง Benzoic acid (m.p.121°C)

14. สารตัวอย่าง Acetanilide (m.p.114°C)

แนวคิดอบหลังการทดลอง จากผลการทดลองตัวทำละลายที่ควรเลือกในการ
ตกลดลึกรสสารตัวอย่าง Acetanilide คือ น้ำ เพราะละลายไม่หมดในน้ำเย็น และละลายหมดใน
น้ำร้อน ตั้งทั้งไว้ให้เย็นจะตกลดลึกรอกรณา

การทดลองที่ 2 การตกลดลึกรสสาร Acetanilide

อุปกรณ์และสารเคมีที่ต้องเตรียมล่วงหน้า

1. ขวดรูปกรวย ขนาด 25 - 50 cm³
2. กรวยกรองก้านสั้น
3. กระดาษกรอง Whatman's No. 3 หรือ 4 , 2 , 5 หรือ 6
4. Hot plate , water bath
5. Spatula
6. บีกเกอร์
7. กระจาดนาฬิกา
8. เครื่องกรองแบบธรรมชาติ (Gravitation filtration)
9. เครื่องกรองแบบสูญญากาศ (Vacuum filtration)
10. Acetanilide (Lab grade)

การทดลองที่ 3 การตกลดลึกรสสารสารตัวอย่าง (Unknown)

อุปกรณ์และสารเคมีที่ต้องเตรียมล่วงหน้า

1. ขวดรูปกรวย ขนาด 25 - 50 cm³
2. กรวยกรองก้านสั้น
3. กระดาษกรอง Whatman's No. 3 หรือ 4 , 2 , 5 หรือ 6
4. Hot plate , water bath
5. Spatula
6. บีกเกอร์

7. กระบวนการพิกา
8. เครื่องกรองแบบธรรมชาติ
9. สารตัวอย่างคือ Benzoic acid

แนวคิดต้องหลังการทดลอง

1. ละลายน้ำที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์ได้มากขนาดไหน แต่ละลายได้น้อยมาก
ขณะเย็น

2. ขั้นตอนในการตกผลึก เลือกตัวทำละลายน้ำที่เหมาะสมละลายน้ำที่อุณหภูมิสูง
กรองผลึก ตั้งทึ้งให้เย็น ให้ตกรดลึกออกมาก กรองผลึกและทำผลึกให้แห้ง
3. จะทำให้สารละลายน้ำมากตกผลึกยาก
4. ถ้าสารละลายน้ำเร็วเกินไปและถูกกระทบผลึกจะเล็ก ผลึกเล็กเกินไปจะคุกชบ
สิ่งเจือปนอยู่ที่ผิวผลึกเล็ก ๆ
5. คำนวณจากสูตร

$$\text{อัตราร้อยละของผลึกที่ตกได้} = \frac{\text{น้ำหนักของผลึกที่บริสุทธิ์}}{\text{น้ำหนักสารก่อนตกผลึก}} \times 100$$

ตอนที่ 1.2 การหาจุดหลอมเหลว (MELTING POINT, mp.)

1. จุดประสงค์เชิงพุทธิกรรม

เมื่อนักศึกษาเรียนจบบทเรียนเรื่องนี้แล้ว นักศึกษามีความสามารถ

1. อธิบายความหมายของคำต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองได้
2. ทำการทดลองหาจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์และสารดื้อย่าง (Unknown) ได้
3. เตรียมและใช้เครื่องมือในการหาจุดหลอมเหลวได้

2. แผนการสอน

บทเรียนสำเร็จรูปนี้ใช้เวลาทั้งหมด 2 ภาค ประกอบด้วย การทดลอง 2 เรื่อง ดังนี้

1. การวัดช่วงของจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์ เวลา 1 ภาค
2. การวัดช่วงของจุดหลอมเหลวของสารผสม เวลา 1 ภาค

3. เนื้อหาและความคิดรวบยอด

1. การวัดจุดหลอมเหลวของสารเป็นวิธีที่ดีวิธีหนึ่งในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสาร
2. สารบริสุทธิ์โดยทั่วไปจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน และมีช่วงการหลอมเหลวแคบตั้งแต่สารเริ่มหลอมเหลวจนสารหลอมเหลวหมดจะมีค่าไม่เกิน 1°C
3. สารที่ไม่บริสุทธิ์หรือมีสารเจือปนมากมีจุดหลอมเหลวค่อนข้างกว่าจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์และช่วงการหลอมเหลวจะกว้าง ยกเว้นสารผสม Eutectic ซึ่งเป็นสารผสมคู่ จะหลอมเหลวที่อุณหภูมิคงที่หรือแคบ เช่นเดียวกับสารบริสุทธิ์ เรียกว่าจุดนี้ว่า Eutectic point หรือ Eutectic temperature

4. กิจกรรมที่ครุต้องเตรียมล่วงหน้า

การทดลองที่ 1 การวัดช่วงจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์

อุปกรณ์และสารเคมีที่ต้องเตรียมล่วงหน้า

1. หลอด capillary
2. บีกเกอร์
3. เทอร์มомิเตอร์
4. ด้วยมัค
5. แท่งแก้วคน, แท่งแก้วกลวงยาว 2 ฟุต
6. ตะเกียงแอลกอฮอล์
7. ตะเกียงบุนเซน, ช้อนตัก
8. น้ำมันพาราฟิน
9. Benzoic acid
10. Acetanilide

การทดลองที่ 2 การวัดช่วงจุดหลอมเหลวของสารผสม

1. อุปกรณ์เช่นเดียวกับกิจกรรมที่ 1
2. สารเคมี
 - Benzoic acid
 - Acetanilide
 - Napthalene

(สารบริสุทธิ์ที่ใช้หาจุดหลอมเหลวอาจจะใช้สารที่นักศึกษาตกผลึกซึ้งในการทดลองตอนที่ 1)

แนวคิดออบหลังการทดลอง

1. การทดลองสารที่บริสุทธิ์จุดหลอมเหลวจะคงที่ เมื่อจะมีการตกผลึกใหม่ก็ไม่ทำให้จุดหลอมเหลวสูงขึ้น

2. โดยการทดลองนำสารสองชนิดนั้นมาผสมกันและบดให้เข้ากันให้ดี แล้วหาจุดหลอมเหลว เรียกว่า การหาจุดหลอมเหลวของของผสม ถ้าสารทั้งสองเป็นสารเดียวกันของผสมทั้งสองจะหลอมที่อุณหภูมิเดียวกันกับสารบริสุทธิ์ทั้งสองที่นำมาผสมกัน

3. นำสารที่สองสัมมาหาจุดหลอมเหลวโดยวิธี Mixed-melting point determination ดังกล่าวเดี้ยวนี้ข้อ 2

4. ประโยชน์

4.1 ใช้หาจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์แต่ละชนิด

4.2 ใช้ยืนยันเอกลักษณ์ชนิดของสาร โดยเทียบกับสารที่ทราบจุดหลอมเหลวที่แน่นอน

ตอนที่ 2 จุดเดือดและการกลั่น (Boiling point and Distillation)

1. จุดประสงค์เชิงพุติกรรม

เมื่อนักศึกษาเรียนจบบทเรียนเรื่องนี้แล้ว นักศึกษามีความสามารถดังนี้

1. ทดลองหาจุดเดือดของสารโดยวิธีจุลภาค (Micro method) ได้

2. กลั่นสารแบบการกลั่นแบบธรรมชาติ (Simple distillation) ได้

3. ใช้ความรู้จากเรื่องการหาจุดเดือดและการกลั่นพิสูจน์เอกลักษณ์สาร ได้

4. ออกรูปแบบการทดลองและอธิบายขั้นตอนการทดลองการหาจุดเดือดและการกลั่น ได้

2. แผนการสอน

บทเรียนดำเนินรูปนี้ใช้เวลาทั้งหมด 3 คาบ ประกอบด้วยการทดลอง 2 เรื่อง ดังนี้

1. การกลั่นแบบธรรมชาติ เวลา 2 คาบ

2. การหาจุดเดือดของของเหลวแบบจุลภาค (Micro method) เวลา 1 คาบ

3. เนื้อหาและความคิดรวบยอด

1. จุดเดือดของของเหลวคืออุณหภูมิที่ความดันไอน้ำของของเหลวมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ จุดเดือดของของเหลวจะเปลี่ยนไปตามความดันและสารประกอบแต่ละชนิดจะมีจุดเดือดต่างกัน

2. สารบริสุทธิ์แต่ละชนิดจะมีจุดเดือดคงที่ ช่วงการเดือดไม่เกิน 5°C ยกเว้นสารผสม Azeotropic ซึ่งเป็นของผสมที่มีจุดเดือดคงที่

3. การหาจุดเดือดแบบจุดภาคเหนาะสำหรับสารที่มีปริมาณน้อย ๆ ถ้าสารมีปริมาณมากควรหาจุดเดือดโดยใช้วิธีการกลั่น

4. การกลั่นเป็นวิธีการแยกสารผสมออกจากกัน โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือดของของเหลวใช้หลักการให้ความร้อนจนของเหลวละลายเป็นไอ แล้วไอควบแน่นกลายเป็นของเหลวในภาชนะอีกใบหนึ่ง การกลั่นมีหลายประเภท เช่น การกลั่นแบบธรรมชาติ การกลั่นแบบลำดับส่วน การกลั่นแบบลดความดันและการกลั่นแบบใช้อิน้ำ

5. การแยกของเหลวผสมที่มีอุณหภูมิใกล้กันจะใช้การกลั่นแบบธรรมชาติแยกสารให้บริสุทธิ์ได้ยากมาก วิธีการที่เหมาะสมคือ การกลั่นแบบการกลั่นลำดับส่วน

4. กิจกรรมที่ครุต้องเตรียมล่วงหน้า

การทดลองที่ 1 การกลั่นแบบธรรมชาติ

อุปกรณ์และสารเคมีที่ต้องเตรียมล่วงหน้า

1. ขวดกลั่นก้นกลม ขนาด 100 ml
2. กระบอกตวง ขนาด 10 และ 50 ml
3. เทอร์มомิเตอร์
4. ขาตั้ง
5. เครื่องควบแน่น
6. ตะแกรง漉ค
7. สายยาง
8. ตะเกียงบุนเซน
9. ยางรัด
10. ตัวปรับ (Vacuum adapter)
11. ไอลูอิน
12. อะโนลีน

การทดลองที่ 2 การหาจุดเดือดของของเหลวแบบจุดภาค

อุปกรณ์และสารเคมีที่ต้องเตรียมล่วงหน้า

1. หลอดคorkscrew
2. หลอดทดลองขนาดเล็ก
3. เทอร์มอมิเตอร์
4. บีกเกอร์
5. สายยางรัด
6. แท่งแก้วคน
7. น้ำมันพาราฟิน
8. โกลูอีน
9. อะโนลีน

แนวคิดตอบหลังจากการทดลอง

1. ในการกลั่นต้องใส่ Boiling chip เพื่อป้องกันของเหลวเกิด Bumping ในขณะกลั่น เพราะเศษกระเบื้องที่ใส่ลงไปมีรูพรุนเล็ก ๆ เมื่อให้ความร้อนแก่ของเหลว อากาศในรูพรุนจะทำให้เกิดฟองอากาศขึ้น ซึ่งจะทำให้ของเหลวเดือดอย่างสม่ำเสมอ
2. ใน การกลั่นควรจัดเทอร์มอมิเตอร์ให้เดียบเข้าไปทางหัวของขวดกลั่น โดยให้กระปาของเทอร์มอมิเตอร์อยู่ในระดับต่ำกว่า Side arm ของหัวกลั่น เพราะเป็นตำแหน่งที่เทอร์มอมิเตอร์จะสัมผัสกับไอของของเหลวได้ดีที่สุด
3. การกลั่นแบบธรรมดาก็ใช้ของเหลวที่ระเหยจ่ายออกจากของเหลวที่ระเหยากโดยที่ของเหลวทั้งสองนั้นจะต้องมีจุดเดือดต่างกันไม่น้อยกว่า 80°C
4. การหาจุดเดือดแบบจุดภาคเหมาะสำหรับหาจุดเดือดของสารที่มีปริมาณน้อย ๆ
5. ใช้วิธีการกลั่นลำดับส่วน (Fractional distillation)
6. การกลั่นลำดับส่วนได้ผลดีกว่าการกลั่นแบบธรรมดาก 因为 การกลั่นแบบธรรมดาก็จะไม่สามารถแยกสารของเหลวที่มีจุดเดือดใกล้กันออกมาได้ในขณะที่การกลั่นแบบจุดภาคจะโดยการกลั่นอย่างต่อเนื่องออกจากกันได้สารบริสุทธิ์ได้ ต้องใช้วิธีการกลั่นช้า ๆ เป็นช่วง ๆ ที่จุดเดือดของสารแต่ละตัวทำให้เสียเวลาและได้สารจากการกลั่นที่บริสุทธิ์ได้มาก

ชื่อผู้สอบ เลขที่ กลุ่ม วิชาเอก.....
วันที่ เดือน พ.ศ.....

คำสั่ง จงเลือกข้อที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว

1. วิธีทำให้ของแข็งละลายที่คือการเลือกใช้วิธีใด จากวิธีการดังต่อไปนี้
 - ก. การสักดิ์
 - ข. การหาจุดหลอมเหลว
 - ค. การตกผลึก
 - ง. การหาจุดเยือกแข็ง
 2. หลักในการเลือกตัวทำละลายสารบีคหลัก “Like dissolves like” ท่านเข้าใจว่าอย่างไร
 - ก. สารที่คล้ายกันจะละลายในสารที่คล้ายกัน
 - ข. สารอินทรีย์จะได้ดีในสารละลายอนินทรีย์
 - ค. สารอนินทรีย์จะได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์
 - ง. ไม่มีหลักเกณฑ์ออกจากต้องทบทลອง
 3. ขั้นตอนในการตกผลึกสารตัวอ่อน ควรจะเรียงลำดับอย่างไร
 - ก. หาจุดหลอมเหลว → ละลายสารตัวอ่อน → กรองสาร → แยกผลึก
 - ข. หาจุดเยือกแข็ง → หาตัวทำละลาย → ละลายกรองผลึก → แยกผลึก
 - ค. แยกผลึก → ละลาย → กรอง → ตกรตะกอน
 - ง. หาตัวทำละลาย → สารละลาย → กรองสารละลาย → แยกผลึก → กรองผลึก
 4. ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการตกผลึกสารตัวอ่อน ควรมีสมบัติอย่างไร
 - ก. ละลายสารตัวอ่อน ได้ดีเมื่อเย็นและไม่ละลายเมื่อร้อน
 - ข. ละลายสารตัวอ่อน ได้ดีขณะร้อน แต่ละลายได้น้อยมากขณะเย็น
 - ค. ละลายสารตัวอ่อน ได้ดีทั้งเย็นและร้อน

๔. ขึ้นอยู่กับสมบัติเฉพาะตัวของสารตัวอย่าง

10. ในการตกผลึกซ้ำ Acetanilide ควรเลือกตัวทำละลายตัวไหนในการตกผลึก
- ก. คาร์บอนเตคอลดิไพร์ค
 - ข. กลอโรฟอร์ม
 - ค. ไอคลอโรเมเทน
 - ง. น้ำ
11. วิธีตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารที่เป็นข้องเข็งที่ดีควรเลือกวิธีใดจากวิธีการต่อไปนี้
- ก. การกลั่น
 - ข. การหาจุดเดือด
 - ค. การหาจุดหลอมเหลว
 - ง. การหาจุดเยือกแข็ง
12. ของแข็งที่บริสุทธิ์เมื่อนำไปหาจุดหลอมเหลวจะมีลักษณะดังนี้
- ก. ช่วงจุดหลอมเหลวกว้าง
 - ข. ช่วงจุดหลอมเหลวแคบ
 - ค. จุดหลอมเหลวไม่แน่นอน
 - ง. ขึ้นอยู่กับวิธีการหา
13. จุดหลอมเหลวของสาร Eutectic mixture ของสารที่มีส่วนผสมเท่าๆ กัน ควรมีจุดหลอมเหลวย่างไร
- ก. ช่วงจุดหลอมเหลวกว้าง
 - ข. ช่วงจุดหลอมเหลวแคบ
 - ค. ไม่แน่นอน
 - ง. แล้วแต่วิธีหา
14. ขั้นตอนในการหาจุดหลอมเหลวของสารควรเรียงลำดับดังนี้
- ก. หาตัวทำละลาย → ละลายสาร → ตกผลึก → หาจุดเดือด → หาจุดหลอมเหลว
 - ข. ตกผลึกซ้ำ → เพาผลึก → สังเกตลักษณะผลึก → หาจุดหลอมเหลวของผลึก
 - ค. นำสารที่จะหามาปริมาณน้อย → บดให้ละเอียด → ใส่ใน Capillary tube → ชุ่มน้ำมันบน Oil bath
 - ง. บดสารใส่ Capillary tube → ผูกติดปลายกระเบาะเทอร์มอโนมิเตอร์ → ชุ่มน้ำมันบน Oil bath

**แบบทดสอบหลังเรียนเรื่อง : การตกผลึกและการหลอมเหลว
: การหาจุดเดือดและการกลั่น**

ชื่อผู้สอบ เลขที่ กลุ่ม วิชาเอก.....
วันที่ เดือน พ.ศ.....

คำสั่ง จงเลือกข้อที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว

1. วิธีทำให้ของแข็งบริสุทธิ์คือการเลือกใช้วิธีใด จากวิธีการดังต่อไปนี้
- | | |
|--------------|----------------------|
| ก. การสกัด | ข. การหาจุดหลอมเหลว |
| ค. การตกผลึก | ง. การหาจุดเยือกแข็ง |

2. หลักในการเลือกตัวทำละลายสารเข้าด้วยกัน “Like dissolves like” ท่านเข้าใจว่าอย่างไร
- ก. สารที่คล้ายกันจะละลายในสารที่คล้ายกัน
 - ข. สารอินทรีย์ละลายได้ดีในสารละลายอนินทรีย์
 - ค. สารอนินทรีย์ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์
 - ง. ไม่มีหลักเกณฑ์อกจากต้องทดลอง

3. ขั้นตอนในการตกผลึกสารตัวอย่าง ควรจะเรียงลำดับอย่างไร
- ก. หาจุดหลอมเหลว → ละลายสารตัวอย่าง → กรองสาร → แยกผลึก
 - ข. หาจุดเยือกแข็ง → หาตัวทำละลาย → ละลายกรองผลึก → แยกผลึก
 - ค. แยกผลึก → ละลาย → กรอง → ตกตะกอน
 - ง. หาตัวทำละลาย → สารละลาย → กรองสารละลาย → แยกผลึก → กรองผลึก

4. ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการตกผลึกสารตัวอย่าง ควรมีสมบัติอย่างไร
- ก. ละลายสารตัวอย่างได้ดีเมื่อยืดและไม่ละลายเมื่อร้อน
 - ข. ละลายสารตัวอย่างได้ดีขณะร้อน แต่ละลายได้น้อยมากขณะเย็น
 - ค. ละลายสารตัวอย่างได้ดีทั้งเย็นและร้อน

๔. ขึ้นอยู่กับสมบัติเฉพาะตัวของสารตัวอย่าง

10. ในการตอกผลีกซ้ำ Acetanilide ควรเลือกตัวทำละลายตัวไหนในการตอกผลีก
- ก. คาร์บอนเตตระคลอไรค์
 - ข. คลอโรฟอร์ม
 - ค. ไดคลอโรเมเทน
 - ง. น้ำ
11. วิธีตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารที่เป็นข้องแข็งที่ดีควรเลือกวิธีใดจากวิธีการต่อไปนี้
- ก. การกลั่น
 - ข. การหาจุดเดือด
 - ค. การหาจุดหลอมเหลว
 - ง. การหาจุดเยือกแข็ง
12. ของแข็งที่บริสุทธิ์เมื่อนำไปหาจุดหลอมเหลวจะมีลักษณะดังนี้
- ก. ช่วงจุดหลอมเหลวกว้าง
 - ข. ช่วงจุดหลอมเหลวแคบ
 - ค. จุดหลอมเหลวไม่แน่นอน
 - ง. ขึ้นอยู่กับวิธีการหา
13. จุดหลอมเหลวของสาร Eutectic mixture ของสารที่มีส่วนผสมเท่าๆ กัน ควรมีจุดหลอมเหลวอย่างไร
- ก. ช่วงจุดหลอมเหลวกว้าง
 - ข. ช่วงจุดหลอมเหลวแคบ
 - ค. ไม่แน่นอน
 - ง. แล้วแต่วิธีหา
14. ขั้นตอนในการหาจุดหลอมเหลวของสารควรเรียงลำดับดังนี้
- ก. หาตัวทำละลาย → ละลายสาร → ตอกผลีก → หาจุดเดือด → หาจุดหลอมเหลว
 - ข. ตอกผลีกซ้ำ → เพาผลีก → สังเกตลักษณะผลีก → หาจุดหลอมเหลวของผลีก
 - ค. นำสารที่จะหามาปรินามันอย → บดให้ละเอียด → ใส่ในCapillary tube → จุ่มน้ำมันบน Oil bath
 - ง. บดสารใส่ Capillary tube → ผูกติดปลายกรวยปาล์มเทอร์มอยเตอร์ → จุ่นใน Oil bath

21. หลอด Capillary ที่ใช้หาจุดเดือดในการทดสอบหาจุดเดือดแบบชลากาการซัดตัวแทนงา
ไรท์ไนน์
- ก. ผูกติดกับเทอร์มอยเมเตอร์
 - ก. ใส่ในหลอดทดลองที่ผูกติด
เทอร์มอยเมเตอร์
 - ข. แขวนไว้น้ำมัน
 - ข. ผูกติดกับหลอดทดลองปิดป๊ลาก
ด้านล่าง
22. ในการกลั่นเรารายส์ Boiling chip ลงในขวดกลั่น ทำใน
- ก. ป้องกันการเกิด Bumping
 - ก. เร่งการเดือด
 - ข. ช่วยให้เกิด Bumping
 - ข. ขับชี้งการเดือด
23. ปั๊งจับสำคัญที่มีผลต่อจุดเดือดของสารแต่ละชนิดมีอะไรบ้าง
- ก. ญี่ปุ่นไม้เล็กๆ
 - ก. ญี่ปุ่นน้ำหนักแรงคึ่งถุงระหว่าง
ไม้เล็กๆ
 - ข. ญี่ปุ่นและน้ำหนักไม้เล็กๆ
 - ข. ญี่ปุ่นน้ำหนักแรงคึ่งถุงขนาดไม้เล็กๆ
24. จุดเดือดของสารแต่ละชนิดขณะทดลองอาจจะคลาดเคลื่อนจากจุดเดือดปกติที่ใช้หางอิงໄได
เพราจะไร
- ก. วิธีทดลอง
 - ก. ความสามารถของผู้ทดลอง
 - ข. ชนิดของสารที่ใช้
 - ข. ความดันบรรยากาศขณะทำการทดลอง
25. สารต่อไปนี้สารใดควรมี b.p. ต่ำสุด
- ก. $C_2H_5 - OH$
 - ก. C_3H_8
 - ข. $CH_3 - O - CH_3$
 - ข. เท่ากันหมด

เฉลยข้อสอบแบบทดสอบก่อนและหลังเรียนเรื่อง：
การตัดผลลัพธ์และการหาจุดหลอมเหลว และ การหาจุดเดือดและการกลั่น

ข้อ	1. ก	2. ก	3. ง	4. ข	5. ข
6.	ก	7. ง	8. ง	9. ง	10. ง
11.	ก	12. ง	13. ง	14. ง	15. ง
16.	ข	17. ก	18. ง	19. ง	20. ก
21.	ก	22. ก	23. ก	24. ง	25. ก

ប្រវតិជ្ជវិជ្ជ

1. ກສ.ຖ້ມ. ຈັນທອງຄູນ ຖະໜົນ ກສ.ບ. (ເຄີຍ)
ວທ.ມ. (ເຄີຍ)

Cert.in Food Processing,Canada

Cert in Application of Spectroscopy of Organic Compound

ประสบการณ์ทำงาน - อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาเคมี สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม
- ผู้จัดการศูนย์สาขาวิชาเทคโนโลยีประดิษฐ์พัฒนา จังหวัดพิษณุโลก

สาขาวิชานี้มี
- งานวิจัยทางด้านการอบรมผู้ก่อผลไม้และสมุนไพร
- การอนุรักษ์พลังงาน

2. ผศ.ดร.ธงชัย เครื่องวงศ์ วุฒิ ปริญญาตรี กศ.บ. (เคมี)
ปริญญาเอก Ph.D. สาขาเคมีอินทรีย์

Cert in Application of Spectroscopy of Organic Compound

ประสบการณ์ทำงาน
สาขางานที่สนใจ - อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาเคมี
- งานวิจัยทางด้าน Natural product