

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การวิจัยเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1

**The Research for Developing the Laboratory Experiments
on General Chemistry 1**

รองศาสตราจารย์สุภาพ รมณีย์พิกุล

พ.ศ. 2545

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

สารบัญ

| | หน้า |
|---|-----------|
| บทคัดย่อ | (ก) |
| Abstract | (ข) |
| สารบัญ | (ง) |
| สารบัญตาราง | (ฉ) |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย | 1 |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 2 |
| ขอบเขตของการวิจัย | 2 |
| สมมุติฐานในการวิจัย | 3 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| นิยามศัพท์เฉพาะ | 3 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 5 |
| กระบวนการในการเรียนการสอน | 5 |
| การสอนแบบปฏิบัติการ | 5 |
| การทดสอบประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ | 7 |
| งานวิจัยที่เกี่ยวกับการสอนแบบปฏิบัติการ | 8 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย | 12 |
| กลุ่มตัวอย่าง | 12 |
| เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย | 12 |
| วิธีดำเนินการวิจัย | 13 |
| การวิเคราะห์ข้อมูล | 15 |
| สถิติที่ใช้ในการวิจัย | 16 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล | 19 |
| เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อการใช้บทปฏิบัติการ | 19 |
| ผลการทดสอบสมมุติฐาน | 34 |
| ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ | 35 |
| บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ | 36 |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 36 |
| สมมุติฐานในการวิจัย | 36 |
| วิธีดำเนินการวิจัย | 36 |
| สรุปผลการวิจัย | 37 |
| อภิปรายผล | 38 |
| ข้อเสนอแนะ | 38 |
| บรรณานุกรม | 39 |
| ภาคผนวก | 42 |

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การพัฒนาประเทศจำเป็นต้องอาศัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีซึ่งจะช่วยให้เราได้รับความสะดวกสบาย มีคุณภาพชีวิตที่ดี แต่ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันว่า การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ยังไม่บรรลุผลตามเป้าหมาย ความสามารถในการเรียนวิทยาศาสตร์ยังอยู่ในระดับไม่น่าพอใจ ขาดกระบวนการคิดแบบวิทยาศาสตร์ ไม่สามารถใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ ไม่สามารถพัฒนาวิธีคิดและวิเคราะห์ การศึกษาส่วนใหญ่ยังคงเน้นที่การจดจำเนื้อหา มากกว่าการรู้จักมีความคิดเป็นของตนเอง ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ขึ้นหลากหลายวิธี เช่น ให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทดลองหรือลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง หรือเรียกว่าการสอนแบบปฏิบัติการ (Laboratory approach) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ครบสมบูรณ์ทุกด้าน ทั้งด้านความคิดรวบยอด ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติ

เมื่อพิจารณาหลักสูตรการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของสถาบันราชภัฏในปัจจุบัน จะเห็นว่ายังขาดการฝึกสมรรถภาพด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ให้แก่นักศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากหลักสูตรส่วนใหญ่มุ่งเน้นเนื้อหาทางวิชาการที่ลึกซึ่งมากกว่าการฝึกฝนให้นักศึกษามีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ประกอบกับจำนวนชั่วโมงสอนของอาจารย์มากเกินไป ซึ่งจากการวิเคราะห์ภาระงานของอาจารย์สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม ปีการศึกษา 2542 พบว่าภาระการสอนของอาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในภาพรวมทั้งคณะมีมากที่สุด โดยคิดเป็นสัดส่วนของอาจารย์ต่อจำนวนชั่วโมงสอนเท่ากับ 1 : 17.4 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ (สำนักวางแผนและพัฒนา, 2543 : 37)

บทปฏิบัติการเป็นเครื่องมือสำคัญสิ่งหนึ่งซึ่งช่วยในการสอนแบบปฏิบัติการเพราะเป็นการจัดโอกาสให้นักศึกษาทำการทดลองด้วยตนเอง มีประสบการณ์ตรง เป็นการช่วยในการเรียนรู้หรือแก้ปัญหาโดยอาศัยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ประกอบกับสถาบันราชภัฏพิบูลสงครามมีเป้าหมายที่จะจัดกระบวนการเรียนการสอนที่เน้นให้นักศึกษาคิดเป็น ทำเป็น และแก้ปัญหาเป็น และยังสนับสนุนให้มีการผลิตเอกสาร ตำรา และสื่ออุปกรณ์การเรียนการสอนประจำรายวิชา

ด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้จัดทำบทปฏิบัติการประกอบการเรียนวิชาเคมีทั่วไป 1 ซึ่งนักศึกษาหลายสาขาต้องเรียนเป็นจำนวนมาก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างบทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 (รหัสวิชา 4021101)
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นตามเกณฑ์มาตรฐาน 75 / 75
3. เพื่อศึกษาความก้าวหน้าในการเรียนภายหลังจากใช้บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 สำหรับนักศึกษาสถาบันราชภัฏ
4. เพื่อศึกษาเจตคติของนักศึกษาที่มีต่อคุณภาพของบทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1

ขอบเขตของการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีปีที่ 1 สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์ โพรแกรมนิววิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมปีที่ 1 ปีการศึกษา 2545 จำนวน 32 คน

2. ขอบเขตด้านเนื้อหา

บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 ครอบคลุมเนื้อหาตามหลักสูตรของสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม 2543 มีบทปฏิบัติการทั้งสิ้น 6 บทปฏิบัติการ ดังนี้

- | | |
|-------------------|--|
| บทปฏิบัติการที่ 1 | เรื่อง การแยกสารผสม |
| บทปฏิบัติการที่ 2 | เรื่อง สมบัติคอลลิเกทิฟ |
| บทปฏิบัติการที่ 3 | เรื่อง การไทเทรตกรด – เบส |
| บทปฏิบัติการที่ 4 | เรื่อง จลนพลศาสตร์เคมี |
| บทปฏิบัติการที่ 5 | เรื่อง การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย |
| บทปฏิบัติการที่ 6 | เรื่อง การหาความกระด้างของน้ำ |

3. เวลาที่ใช้ในการวิจัย

เวลาที่ใช้ในการทดลองใช้บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 คือ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2545 ซึ่งใช้เวลาในการทดลอง 9 สัปดาห์ๆ ละ 2 คาบ รวม 18 คาบ

4. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

- 4.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ กระบวนการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1
- 4.2 ตัวแปรตาม ได้แก่
 - 4.2.1 ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ
 - 4.2.2 ความก้าวหน้าในการเรียน
 - 4.2.3 เจตคติที่มีต่อคุณภาพของบทปฏิบัติการ

สมมุติฐานในการวิจัย

1. บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 75/75
2. หลังการทดลองใช้บทปฏิบัติการ นักศึกษามีความก้าวหน้าในการเรียนเพิ่มขึ้น และมีเจตคติที่ดีต่อการใช้บทปฏิบัติการ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ได้บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีที่มีประสิทธิภาพ
2. บทปฏิบัติการที่สร้างขึ้น สามารถช่วยให้นักศึกษาเกิดความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้อง ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้น และมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์
3. เป็นแนวทางในการพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาอื่น ๆ

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. บทปฏิบัติการ หมายถึง บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น จัดเป็น 6 บทปฏิบัติการ ได้แก่ การแยกสารผสม สมบัติคอลลิเกทิฟ การไทเทรตกรด – เบส จลนพลศาสตร์เคมี การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย และการหาความกระด้างของน้ำ
2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่ใช้วัดความรู้ความสามารถในการเรียนวิชาเคมีทั่วไป 1 ในเนื้อหาที่สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ

3. ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ หมายถึง เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการประเมิน ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ ซึ่งใช้สัญลักษณ์ E_1 / E_2 และในการวิจัยครั้งนี้กำหนดเกณฑ์ไว้ 75 / 75 โดย

75 ตัวแรก หมายถึง ประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้จากบทปฏิบัติการ

75 ตัวหลัง หมายถึง ประสิทธิภาพของผลลัพธ์การเรียนรู้ของผู้เรียน

4. ความก้าวหน้าในการเรียน หมายถึง ค่าของการพัฒนาในการเรียนรู้ซึ่งได้จากการศึกษาความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้ค่าที (t - test) และคะแนน หลังเรียนต้องสูงกว่าคะแนนก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5. เจตคติ หมายถึง สภาพความรู้สึกนึกคิดของนักศึกษาที่มีต่อคุณภาพของบทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 ที่สร้างขึ้นในด้านเนื้อหา กิจกรรม แบบทดสอบ รูปแบบการสร้าง และลักษณะการเรียนรู้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยดังรายละเอียดต่อไปนี้

กระบวนการในการเรียนการสอน

การจัดการศึกษาควรเน้นกระบวนการในการเรียนการสอน ทั้งนี้เนื่องจากวิชาความรู้ และวิทยาการต่าง ๆ เพิ่มขึ้นขึ้นทุก ๆ วัน จำเป็นจะต้องหาวิธีการเรียนการสอนที่ให้ผู้เรียนรับรู้ ได้ทันกับวิทยาการความรู้ความก้าวหน้า ซึ่งต้องใช้วิธีสอนที่จะรับเอาวิทยาการความก้าวหน้า ที่มีอยู่มากมายและเพิ่มขึ้นขึ้นทุก ๆ วันได้ ดังนั้นเราต้องเปลี่ยนยุทธวิธีการสอนที่ทำให้ผู้เรียน สามารถรับรู้ได้มากเพื่อทันกับวิทยาการความก้าวหน้าใหม่ ๆ ที่เพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา

ในการสอนจะต้องให้ผู้เรียนคิดเป็น ทำเป็น และแก้ปัญหาเป็น โดยสอนวิธีการคิด วิธีการทำ วิธีการแก้ปัญหการทำงานอย่างฉลาด และอย่างรู้ขั้นตอน ไม่ใช่สอนเนื้อหาที่จะคิดไป ให้หมด เพราะฉะนั้นจึงต้องสอนวิธีคิด วิธีทำ วิธีแก้ปัญหให้เป็นกิจลักษณะ

ดังนั้นการสอนโดยเน้นกระบวนการจะเป็นการฝึกฝนให้ผู้เรียนคิดเป็น ทำเป็น และแก้ปัญหาเป็น ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ แต่พบว่า ครูส่วนใหญ่จะสอนแต่เพียงด้านความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific knowledge) ละเลยหัวใจ สำคัญของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์อีก 2 ด้าน คือ ด้านเจตคติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific attitude) และด้านทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ (Science process skills) ซึ่งสมรรถภาพ ทั้งสองด้านดังกล่าวจะเป็นสื่อ นำมาให้ผู้เรียนไปค้นหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ด้วยตัวเอง ซึ่งจะ เป็นการสร้างนักวิทยาศาสตร์รุ่นใหม่ให้เกิดขึ้นในสังคมไทย (นิทัศน์ ฝึกเจริญผล และคณะ, 2544)

การสอนแบบปฏิบัติการ (Laboratory approach)

ในการปฏิรูปการศึกษาจะต้องมุ่งเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ การจัดหลักสูตรด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต้องมุ่งให้ผู้เรียนเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้ ผู้เรียนต้องมีความรู้และ ทักษะด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยจัดสาระของหลักสูตรให้เหมาะสมกับผู้เรียน ฝึก

ทักษะ กระบวนการคิด การจัดการ ให้คิดเป็น ทำเป็น แก้ปัญหาเป็น ต้องฝึกปฏิบัติจริงให้การเรียนรู้เกิดขึ้นได้ในทุกเวลา ทุกสถานที่ (สิปปนนท์ เกตุทัต, 2543)

จากการศึกษาวิจัยของจอห์น ดิวอี้ (John Dewey อ้างถึงใน Kutek, 1988 : 96 – 99) พบว่าการเรียนรู้เกิดจากการกระทำ (Learning by doing) ประสบการณ์ที่จะช่วยให้เกิดการเรียนรู้นั้นต้องเกิดจากการกระทำ เกิดจากการได้แก้ปัญหาด้วยตนเอง ได้กระทำกับวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ ได้ฝึกฝนทักษะทางสมองโดยการสังเกต ทดลอง ลองผิดลองถูก ได้คิดได้ทำความเข้าใจ และสร้างภาพโดยรวมและได้ใช้ความสามารถของตนเองค้นพบและตรวจสอบความรู้

การสอนแบบปฏิบัติการเป็นวิธีการสอนที่ผู้เรียนได้ปฏิบัติจริง ลาวัลย์ พลกล้า (2523) ได้สรุปข้อดีของการสอนแบบปฏิบัติการไว้ดังนี้

1. ช่วยให้ผู้เรียนเกิดข้อสรุปในเรื่องนั้น ๆ เกิดจินตนาการและความคิดสร้างสรรค์ในการหากระบวนการและวิธีการต่าง ๆ
2. ทำให้ผู้เรียนเข้าใจอย่างถ่องแท้ เกิดความสามารถในการถ่ายโยงการเรียนรู้
3. ผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ได้ทำกิจกรรมตลอดเวลา
4. ทำให้ผู้เรียนไม่เคร่งเครียด สนุกและตื่นเต้นกับการทดลอง ทำให้มีเจตคติที่ดีต่อวิชา
5. เปิดโอกาสในการนำปัญหาต่าง ๆ มาให้ผู้เรียนได้คิด ระวังให้เกิดความกระตือรือร้นในการแก้ปัญหา

ยุพิน พิพิธกุล (2523) ได้เสนอข้อดีของวิธีสอนแบบปฏิบัติการไว้ดังนี้

1. ผู้เรียนสนใจ เพราะได้ลงมือกระทำด้วยตนเอง
2. เป็นการเรียนจากรูปธรรมไปสู่นามธรรม และการเรียนโดยการกระทำ
3. ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาวิชาได้ชัดเจนขึ้นและสามารถค้นพบความจริงด้วยตนเอง
4. ผู้เรียนมีอิสระในการทำงาน และมีพัฒนาการเป็นรายบุคคล ทำให้เกิดความเชื่อมั่นในตนเอง
5. ผู้เรียนมีโอกาสประสานงานกัน และแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันเมื่อทดลองเป็นกลุ่ม
6. ผู้เรียนทดลองแล้วประสบผลสำเร็จทำให้มีกำลังใจในการเรียน
7. ผู้เรียนได้ใช้มือคล่องแคล่วขึ้นเพราะจะต้องจับเครื่องมือหรือวัสดุ
8. ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาวิชาบางเรื่องได้ดีที่สุดจากการเรียนปฏิบัติการ

แอนเดอร์สัน (Anderson, 1976 : 59 – 60) ได้กล่าวถึงความสำคัญเกี่ยวกับกิจกรรมการปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ สรุปได้ว่าการทำปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เปิดโอกาสให้มีการเรียนรู้

ถึงวิธีการคิดอย่างมีหลักเกณฑ์ เพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน ช่วยให้เกิดความซาบซึ้งต่อบทบาทของนักวิทยาศาสตร์ในการค้นคว้าหาความรู้ ช่วยให้เข้าใจถึงขอบข่ายของวิชาวิทยาศาสตร์

ลูเนตตาและคณะ (Lunetta and others, 1981 : 22 – 25) ได้กล่าวถึงความสำคัญของกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ว่าเป็นกิจกรรมที่มีส่วนช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ช่วยส่งเสริมพัฒนาการทางสติปัญญา ช่วยให้ผู้เรียนเกิดมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และช่วยให้มีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์

การทดสอบประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ

1. เกณฑ์การทดสอบประสิทธิภาพ

ใช้เกณฑ์ความก้าวหน้าในการเรียนและเกณฑ์ประสิทธิภาพ

1.1 เกณฑ์ความก้าวหน้าในการเรียน

เป็นการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างการทดสอบก่อนเรียนกับการทดสอบหลังเรียนว่าได้คะแนนเพิ่มขึ้นเท่าไร เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้หรือไม่ เช่นตั้งเกณฑ์คะแนนเพิ่มไว้เฉลี่ยร้อยละ 25 หมายความว่า ผู้เรียนสามารถทำคะแนนจากการทดสอบหลังเรียนได้มากกว่าคะแนนจากการทดสอบก่อนเรียนเฉลี่ยแล้วต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 จึงจะถือว่าถึงเกณฑ์

1.2 เกณฑ์ประสิทธิภาพ

เป็นการเปรียบเทียบคะแนนจากการประกอบกิจกรรม (E_1) กับคะแนนจากการทดสอบหลังเรียน (E_2) ว่า เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้หรือไม่ เช่น ตั้งเกณฑ์ประสิทธิภาพไว้ที่ $(E_1/E_2) = 80/80$ หมายความว่าผู้เรียนสามารถทำกิจกรรมการเรียน เช่น ตอบคำถามในแบบฝึกหัดได้คะแนนเฉลี่ยแล้วต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 และสามารถทำแบบทดสอบหลังเรียนได้คะแนนเฉลี่ยไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 เช่นเดียวกันจึงจะถือว่าถึงเกณฑ์

การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ หรือ E_1/E_2 ใช้หลักดังนี้

1) 90/90 หรือ 85/85 สำหรับเนื้อหาวิชาที่เป็นเรื่องของความจำ

(พุทธิพิสัย)

2) 80/80 หรือ 75/75 สำหรับเนื้อหาวิชาทักษะ (จิตพิสัย และทักษะพิสัย)

2. การหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ

การหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการจะต้องคำนึงถึงกระบวนการและผลลัพธ์ โดยกำหนดค่าเป็นร้อยละของคะแนนเฉลี่ย มีค่าเป็น E_1/E_2

E_1 คือ ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ คิดเป็นร้อยละของคะแนนเฉลี่ยจากกิจกรรมหรืองานที่ผู้เรียนได้รับมอบหมายให้ทำ

E_2 คือ ค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ คิดเป็นร้อยละของคะแนนการทดสอบหลังการเรียน

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการสอนแบบปฏิบัติการ

1. งานวิจัยในประเทศ

อรทัย วิเศษสกุล (2534) ได้ศึกษาผลของการปฏิบัติการเสริมความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ไปใช้ในชีวิตประจำวันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 60 คน ผลการวิจัยพบว่านักเรียนที่ทำบทปฏิบัติการเสริมความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในชีวิตประจำวัน สูงกว่านักเรียนที่ไม่ได้ทำบทปฏิบัติการเสริมความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

อุไรวรรณ วิจารณ์กุล (2543) ได้วิจัยเพื่อศึกษาความคิดรวบยอด ทักษะการปฏิบัติการ และเจตคติต่อการเรียนพันธุศาสตร์จุลินทรีย์ในเชิงปฏิบัติการ โดยสร้างบทปฏิบัติการในวิชาพันธุศาสตร์จุลินทรีย์ จำนวน 10 บทปฏิบัติการ ตามหลักสูตรของสถาบันราชภัฏ พุทธศักราช 2543 ประชากรเป็นนักศึกษาโปรแกรมวิชาชีววิทยาประยุกต์ สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก จำนวน 39 คน แบบแผนที่ใช้ในการวิจัย คือ Pretest – Posttest Design วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window 98 ผลการวิจัยพบว่านักศึกษาโปรแกรมวิชาชีววิทยาประยุกต์มีความคิดรวบยอดในหลักการที่สำคัญทางพันธุศาสตร์จุลินทรีย์สูง มีเจตคติที่ดีในทางบวกต่อวิชาพันธุศาสตร์จุลินทรีย์ และมีทักษะการปฏิบัติการทดลองสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับ $P < .01$

นพวรรณ ศรีโพธิ์ (2542) ได้พัฒนาระบบการไทเทรตอัตโนมัติอย่างง่ายขึ้น โดยใช้ Mariotte bottle เป็นอุปกรณ์ในการจ่ายไทเทรนต์ (Titrant) ด้วยอัตราคงที่ โดยสร้างระบบในการไทเทรตกรด – เบส โดยใช้พีเอชมิเตอร์เป็นเครื่องตรวจวัด และบันทึกกราฟการไทเทรต

ด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณ ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ในเวลาอันสั้น และให้ข้อมูลที่สำคัญมากขึ้น ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถประยุกต์ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยการเปรียบเทียบกับการไทเทรตธรรมดาที่ใช้อินดิเคเตอร์ชี้บอกจุดยุติ

นิตยา บุญทัน (1998) ได้ศึกษาผลการใช้ชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้นเพื่อพัฒนาทักษะด้านการคิดและสร้างโครงงานวิทยาศาสตร์โดยเปรียบเทียบคุณภาพของโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนโดยใช้ชุดปฏิบัติการและที่เรียนโดยครูเป็นผู้แนะนำ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนโรงเรียนวัดโนนทัยพายัพ จำนวน 30 คน วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS / PC+ ผลการวิจัยพบว่าชุดปฏิบัติการสามารถพัฒนาทักษะด้านการคิดและสร้างโครงงานวิทยาศาสตร์ได้ดี และคุณภาพของโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่สอนโดยใช้ชุดปฏิบัติการมีคุณภาพดีกว่าโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่สอนโดยครูเป็นผู้แนะนำ

แก้วใจ พัวกนกหิรัญ (1998) ได้ศึกษาความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับเนื้อหาในบทปฏิบัติการและเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทดลองทางเคมีของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 สายวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ในจังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 435 คน ปีการศึกษา 2540 เครื่องมือในการวิจัย คือ ข้อทดสอบวัดความรู้และความเข้าใจในบทปฏิบัติการทางเคมี มีค่าความเชื่อมั่น 0.7970 ส่วนข้อสอบเกี่ยวกับความรู้และความเข้าใจด้านความปลอดภัยในการทดลองทางเคมี มีค่าความเชื่อมั่น 0.8247 การวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS / PC+ ผลการวิจัยพบว่าความรู้และความเข้าใจในบทปฏิบัติการทางเคมี มีค่า 51.28% - 54.30% ส่วนความรู้และความเข้าใจในด้านความปลอดภัยในการทดลองทางเคมี มีค่า 56.93% - 59.57%

ศิริกานต์ ผาสุข (2544) ได้วิจัยเพื่อศึกษาและพัฒนาผลการใช้บทปฏิบัติการเรื่องการสกัดและแยกองค์ประกอบทางเคมีจากพืชสมุนไพรต่อผลการเรียนวิชาเคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติของนักศึกษาสถาบันราชภัฏ โดยนำพืชสมุนไพรในท้องถิ่นมาสกัด และแยกองค์ประกอบทางเคมี และพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการ รวมทั้งศึกษาผลการใช้บทปฏิบัติการดังกล่าว ผลการวิจัยพบว่า

1) พืชสมุนไพรที่ใช้สกัดน้ำมันหอมระเหย แทนนิน แอนทราควิโนน แอลคาลอยด์ ซาโปนิน และคาร์ดิแอกกลัยโคไซด์ ได้แก่ ใบกะเพราแดง เปลือกผลทับทิม ใบมะขามแขก ใบชา ผลมะคำดีควาย และเมล็ดรำเพย แล้วนำวิธีการสกัดมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการ 6 บทปฏิบัติการ

2) สมรรถภาพความคิดขั้นสูงด้านความคิดสร้างสรรค์ของนักศึกษาก่อนเรียนและหลังเรียนบทปฏิบัติการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3) สมรรถภาพการแก้ปัญหาของนักศึกษาก่อนเรียนและหลังเรียนบทปฏิบัติการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในประเทศ พบว่าบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นโดยผู้วิจัยหลาย ๆ ท่านมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่วางไว้และผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าการเรียนด้วยวิธีอื่น ๆ และยังพบว่าผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ ตลอดจนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น

2. งานวิจัยในต่างประเทศ

ในปี ค.ศ.1991 มาร์แชลล์ ซันด์เบิร์ก (Marshall Sunberg) แห่งมหาวิทยาลัย แห่งรัฐหลุยส์เซียนา และโจเซฟ อาร์มสตรอง (Joseph Armstrong) แห่งมหาวิทยาลัยแห่งรัฐอิลลินอยส์ ได้ทำการสำรวจการใช้บทปฏิบัติการในการเรียนการสอนชีววิทยาจากภาควิชาชีววิทยาที่ถูกจัดระดับอยู่ในลำดับสูงสุด ของมหาวิทยาลัยที่ทำการวิจัย และมหาวิทยาลัยแห่งรัฐในประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 76 แห่ง พบว่า 96% ของภาควิชาในมหาวิทยาลัยนี้ใช้บทปฏิบัติการเป็นส่วนหนึ่งของการสอนชีววิทยาเริ่มต้น (อุไรวรรณ วิจารณกุล, 2543)

พาล์มเมอร์ (Palmer, 1995) ได้ใช้เทคนิค POE (Predict – Observe - Explain) ในการวิเคราะห์ความรู้และความเข้าใจของนักเรียนที่เกี่ยวกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งทดลองใช้เทคนิคนี้กับนักเรียนชั้นประถมศึกษา พร้อมทั้งประเมินผลการใช้ โดยให้ครูก่อนประจำการจำนวน 60 คน เป็นคนทดลองใช้ ผลการประเมินเป็นไปในทางบวก นักเรียนมีปฏิกิริยาโต้ตอบอย่างคล่องแคล่ว ครูสามารถที่จะค้นพบการพัฒนาของนักเรียนทั้งความเข้าใจและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ แต่ปัญหาหลักที่สำคัญ คือ ความยากลำบากในการคิดค้น POE ที่เหมาะสมในบางหัวข้อ และปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการโต้ตอบด้วยคำพูดมากกว่าการเขียนจากการศึกษาครั้งนี้สรุปว่าเทคนิค POE เป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับสอนในระดับประถมศึกษา

โซโลโมนิดัว และสตาวริดีว (Solomonidou and Stavridou, 2000) ได้ศึกษาความคิดความเข้าใจของนักเรียนที่มีมาก่อนเกี่ยวกับคำว่าสสาร และการพัฒนาความคิดความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับสสารในระหว่างขั้นตอนของการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมี โดยออกแบบให้มีลำดับการสอนเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1) ให้นักเรียนบรรยายผลการสังเกตและบรรยายลักษณะของสสารที่ไม่เคยรู้จักมาก่อน และให้บอกความแตกต่างของสสารแต่ละชนิดเพื่อต้องการทราบความคิดความเข้าใจของนักเรียนที่มีอยู่เดิม

2) ให้นักเรียนทำนายผลของปฏิกริยาระหว่างสสารแต่ละชนิด ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียนที่มีอยู่เดิมรวมทั้งเหตุผลของความคิดนั้น ๆ

3) บรรยายปรากฏการณ์ที่สังเกตได้จากปฏิกริยา

4) อธิบายสิ่งที่สังเกตได้ สิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปหลังสสารเกิดปฏิกริยา เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงสภาวะเริ่มต้นกับสภาวะสุดท้ายของการเปลี่ยนแปลงของสสาร และกระตุ้นให้นักเรียนสนใจปฏิกริยาเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในต่างประเทศจะเห็นว่าการเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการจะทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์สูงกว่าการสอนโดยวิธีธรรมดา รวมทั้งมีเจตคติที่ดีต่อบทปฏิบัติการ

จากการศึกษาผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ สรุปได้ว่า

1. บทปฏิบัติการที่ใช้ในการทดลองช่วยพัฒนาการเรียนการสอนให้ได้ผลดียิ่งขึ้น
2. ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ทำให้เข้าใจบทเรียนดีขึ้น
3. เป็นการสอนที่เน้นกระบวนการแก้ปัญหา
4. ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิชาที่เรียน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงการทดลอง โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบสอบถามวัดเจตคติซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. กลุ่มตัวอย่าง
2. เครื่องมือในการวิจัย
3. วิธีดำเนินการวิจัย
4. การวิเคราะห์ข้อมูล
5. สถิติในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ นักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมปีที่ 1 จำนวน 32 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 มี 6 บทปฏิบัติการ ดังนี้
 - 1.1 บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การแยกสารผสม แบ่งเป็น 3 บทปฏิบัติการ
 - 1.1.1 การกลั่น
 - 1.1.2 โครมาโทกราฟีแบบกระดาษ
 - 1.1.3 โครมาโทกราฟีแบบเขื่อนบาง
 - 1.2 บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง สมบัติคอลลิเกทิฟ แบ่งเป็น 2 บทปฏิบัติการ
 - 1.2.1 การลดต่ำลงของจุดเยือกแข็ง
 - 1.2.2 การสูงขึ้นของจุดเดือด
 - 1.3 บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การไทเทรตกรด - เบส
 - 1.4 บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง จลนพลศาสตร์เคมี

1.5 บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย

1.6 บทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง การหาความกระด้างของน้ำ

2. แบบประเมินตนเองก่อนเรียนและแบบประเมินตนเองหลังเรียน เป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของบทปฏิบัติการแต่ละบท บทละ 15 ข้อ แต่ละข้อมีคำตอบให้เลือก 4 ตัวเลือก

3. แบบสอบถามวัดเจตคติที่มีต่อการใช้บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 มีลักษณะเป็นแบบประมาณค่า (Rating scale) ให้เลือกตอบตามความจริงหลังจากที่ได้ศึกษาบทปฏิบัติการแต่ละบทแล้ว โดยมีคำตอบให้เลือก 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด มีทั้งหมด 15 ข้อ ซึ่งผู้วิจัยใช้แบบทดสอบของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พล คำปึงสู และคณะ (2543)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการวิจัย

1.1 ศึกษาหลักสูตรระดับปริญญาตรีวิชา 4021101 เคมีทั่วไป 1

1.2 วิเคราะห์เนื้อหาวิชาเคมีทั่วไป 1 เพื่อนำมากำหนดบทปฏิบัติการที่จะสร้างขึ้น เรียงลำดับบทเรียนก่อนหลังได้ทั้งหมด 6 บทปฏิบัติการ

1.3 ศึกษาเอกสารและตำราที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาที่ศึกษา รวมทั้งเอกสารเกี่ยวกับการสร้างแบบสอบถามและแบบประเมินผล

1.4 ดำเนินการสร้างบทปฏิบัติการทดลองทางเคมี 6 บทปฏิบัติการ ดังนี้

1.4.1 การแยกสารผสม แยกเป็น 3 บทปฏิบัติการ คือ

- 1) การกลั่น
- 2) โครมาโทกราฟีแบบกระดาษ
- 3) โครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง

1.4.2 สมบัติคอลลิเกทิฟ มี 2 บทปฏิบัติการ คือ

- 1) การลดต่ำลงของจุดเยือกแข็ง
- 2) การสูงขึ้นของจุดเดือด

1.4.3 การไทเทรตกรด – เบส

1.4.4 จลนพลศาสตร์เคมี

1.4.5 การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย

1.4.6 การหาความกระด้างของน้ำ

ในการสร้างบทปฏิบัติการแต่ละบทจะประกอบด้วย วัตถุประสงค์ หลักการ อุปกรณ์และสารเคมี วิธีการทดลอง คำถาม รวมทั้งแบบประเมินตนเองก่อนเรียนและแบบประเมินตนเองหลังเรียน

1.5 นำบทปฏิบัติการให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแล้วนำมาปรับปรุงแก้ไข

1.6 นำบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นไปทดลอง 3 ขั้นตอน ดังนี้

1.6.1 ทดลองแบบหนึ่งต่อหนึ่งกับผู้เรียนที่มีความสามารถต่างกัน จำนวน 3 คน ได้มาโดยการสุ่มอย่างง่ายจากผู้เรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่างกัน คือ เก่ง ปานกลาง และอ่อน กลุ่มละ 1 คน เพื่อหาข้อผิดพลาดและความไม่เข้าใจเกี่ยวกับภาษา เวลา กิจกรรม การเรียนรู้ แล้วนำไปปรับปรุงแก้ไข

1.6.2 ทดลองแบบกลุ่ม นำบทปฏิบัติการที่ปรับปรุงแล้วไปใช้กับนักศึกษา จำนวน 3 – 5 คน ที่มีความสามารถละกันและนำมาปรับปรุงแก้ไข

1.6.3 ทดลองภาคสนาม นำบทปฏิบัติการที่ได้ปรับปรุงแก้ไขเป็นครั้งสุดท้ายมาทดลองกับนักศึกษาไม่ต่ำกว่า 20 คน ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้นักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์ โปรรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ซึ่งกำลังเรียนวิชานี้ โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ให้ทำแบบประเมินผลตนเองก่อนเรียนแต่ละบทปฏิบัติการ เพื่อต้องการทราบว่าผู้เรียนมีพื้นฐานหรือมีความรู้เพียงพอหรือไม่
- 2) ขึ้นเข้าสู่บทเรียน เป็นขั้นที่จูงใจให้ผู้เรียนเกิดความสนใจในบทเรียนต่อไป
- 3) ขึ้นสอน ได้แก่ ขึ้นดำเนินการกระทำกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์
- 4) ขึ้นสรุป เป็นการสรุปสาระสำคัญหรือสรุปความคิดรวบยอดของเรื่องราว
- 5) ทำแบบทดสอบหลังเรียน เพื่อดูพฤติกรรมว่าเปลี่ยนแปลงไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการหรือไม่

1.7 ให้นักศึกษากลุ่มทดลองตอบแบบสอบถามการวัดเจตคติที่มีต่อการเรียนในบทปฏิบัติการแต่ละบทของวิชาเคมีทั่วไป 1

1.8 รวบรวมข้อมูลและนำมาวิเคราะห์

2. แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองตามแบบแผนการทดลองแบบ One Group Pretest – Posttest Design ดังแสดงในแผนผังต่อไปนี้

แผนผังแสดงแบบแผนการทดลอง

| ก่อนปฏิบัติการ | ทดลอง | หลังปฏิบัติการ |
|-----------------------------|-------|----------------|
| Treatment (T ₁) | X | T ₂ |

สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบแผนการวิจัย

- T₁ แทนการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนการใช้บทปฏิบัติการ
- T₂ แทนการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการใช้บทปฏิบัติการ
- X แทนการสอน โดยใช้บทปฏิบัติการ

3. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ดำเนินการวางแผนการทดลอง การสร้างบทปฏิบัติการ การสร้างแบบทดสอบ และสร้างเครื่องมือวัด ดำเนินการทดลองใช้เครื่องมือกับกลุ่มทดลองและปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2544 ทำการทดลองในภาคสนามในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2545 วิเคราะห์ผลการทดลองในภาคเรียนที่ 1 และ 2 ปีการศึกษา 2545

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับขั้นดังนี้

1. ก่อนเรียนบทปฏิบัติการแต่ละบทให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบวัดความรู้ ความเข้าใจ เป็นการประเมินตนเองก่อนเรียน
2. เมื่อสิ้นสุดการดำเนินการตามบทปฏิบัติการแต่ละบทให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบวัดความรู้ความเข้าใจเป็นการประเมินตนเองหลังเรียน
3. นำคะแนนที่ได้จากการทดสอบทั้งก่อนเรียนและหลังเรียนมาหาความแตกต่างด้วยค่าที (t - test)

4. เมื่อเรียนจบแต่ละบทปฏิบัติการให้ผู้เรียนทำแบบสอบถามวัดเจตคติ และนำข้อมูลมาดำเนินการดังนี้

4.1 ตรวจสอบให้คะแนนจากเกณฑ์ที่ตั้งไว้

| | | | |
|------------|-----|---|-------|
| มากที่สุด | ให้ | 5 | คะแนน |
| มาก | ให้ | 4 | คะแนน |
| ปานกลาง | ให้ | 3 | คะแนน |
| น้อย | ให้ | 2 | คะแนน |
| น้อยที่สุด | ให้ | 1 | คะแนน |

4.2 วิเคราะห์ข้อมูลโดยคำนวณหาค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยให้เกณฑ์ในการแปลความหมายจากค่าเฉลี่ยดังนี้

| | | | |
|-------------|-------------|---------|-------------|
| คะแนนเฉลี่ย | 1.00 – 1.49 | หมายถึง | ควรปรับปรุง |
| คะแนนเฉลี่ย | 1.50 – 2.49 | หมายถึง | พอใช้ |
| คะแนนเฉลี่ย | 2.50 – 3.49 | หมายถึง | ปานกลาง |
| คะแนนเฉลี่ย | 3.50 – 4.49 | หมายถึง | ดี |
| คะแนนเฉลี่ย | 4.50 – 5.00 | หมายถึง | ดีมาก |

5. หาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการและความก้าวหน้าทางการเรียน

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

1. สถิติพื้นฐาน ใช้โปรแกรม SPSS / PC+ ในการวิเคราะห์หาค่าสถิติพื้นฐาน ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความเชื่อมั่นหรือความเที่ยง (Reliability) ของเครื่องมือวิจัย

2. เกณฑ์แปลผลค่าเฉลี่ยจากการตอบแบบวัดเจตคติ ใช้เกณฑ์ดังนี้

| | | | |
|-------------|-------------|---|--------------------------|
| คะแนนเฉลี่ย | 1.00 – 1.49 | = | ระดับต่ำที่สุด หรือไม่มี |
| คะแนนเฉลี่ย | 1.50 – 2.49 | = | ระดับต่ำ |
| คะแนนเฉลี่ย | 2.50 – 3.49 | = | ระดับปานกลาง |
| คะแนนเฉลี่ย | 3.50 – 4.49 | = | ระดับดี |
| คะแนนเฉลี่ย | 4.50 – 5.00 | = | ระดับดีมาก |

3. ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ คำนวณจากสูตร $E_1 : E_2$

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

เมื่อ E_1 = ประสิทธิภาพของกระบวนการ (ระหว่างการใช้บทปฏิบัติการ)

$\sum X$ = คะแนนรวมของการทำบทปฏิบัติการ หรือคะแนนจากรายงานผลการศึกษา หรือคะแนนกระบวนการ

A = คะแนนเต็มของการทำบทปฏิบัติการหรือจากรายงานผลการศึกษา

n = จำนวนนักศึกษา

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

เมื่อ E_2 = ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (หลังการใช้บทปฏิบัติการ)

$\sum F$ = คะแนนรวมของการทดสอบหลังเรียนหรือคะแนนผลลัพธ์

B = คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน

n = จำนวนนักศึกษา

เกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ $E_1 : E_2 = 75 : 75$ โดยมีค่าเบี่ยงเบนได้ $\pm 5\%$

4. ความก้าวหน้าในการปฏิบัติการ คำนวณจากสูตร

$$\text{ร้อยละของความก้าวหน้า} = \frac{\text{คะแนนเฉลี่ยหลังการใช้บทปฏิบัติการ - ก่อนใช้บทปฏิบัติการ}}{\text{คะแนนเต็ม}} \times 100$$

5. การทดสอบความแตกต่างระหว่างก่อนใช้บทปฏิบัติการและหลังใช้บทปฏิบัติการ
การด้วยค่าที (t - test)

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

$\sum D$ = ผลรวมของความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนการใช้
บทปฏิบัติการและหลังการใช้บทปฏิบัติการแต่ละคู่

$\sum D^2$ = ผลรวมของความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนการใช้
บทปฏิบัติการและหลังการใช้บทปฏิบัติการแต่ละคู่ที่
ยกกำลังสอง

n = จำนวนนักศึกษา

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิจัยได้สร้างบทปฏิบัติการ 6 บท ซึ่งนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาเคมี
ทั่วไป 1 (4021101) ผู้วิจัยขอเสนอผลการวิจัยเป็น 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อการใช้บทปฏิบัติการ

ส่วนที่ 2 การทดสอบสมมุติฐาน

ส่วนที่ 3 ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ

เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อการใช้บทปฏิบัติการ

1. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อวัตถุประสงค์ของบทปฏิบัติการในด้านความชัดเจน และ
ความเข้าใจ ซึ่งได้ผลดังตาราง 1

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อวัตถุประสงค์ของ
บทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 3.8438 | .8076 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลิเกทิวฟ | 3.8750 | .7931 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 3.9063 | .7771 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 3.8438 | .7233 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลว ที่เป็น ไอ ได้ง่าย | 3.9688 | .7399 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 3.8750 | .8328 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวัตถุประสงค์ของบทปฏิบัติการทุกบท นั่นคือ วัตถุประสงค์
ของบทปฏิบัติการทุกบทมีความชัดเจนดี และเข้าใจง่าย

2. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความชัดเจนของขั้นตอนในการใช้บทปฏิบัติการได้ผล
ดังตาราง 2

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อความชัดเจนของขั้นตอนในการใช้บทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 3.8750 | .6091 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลิเกทิฟ | 3.9063 | .5880 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 3.9063 | .6405 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 3.8438 | .5741 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลว ที่เป็นไอได้ง่าย | 3.9688 | .5948 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 3.9063 | .6405 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความชัดเจนของขั้นตอนในการใช้บทปฏิบัติการทุกบท นั่นคือ
ขั้นตอนในการใช้บทปฏิบัติการทุกบทมีความชัดเจนดี

3. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อโอกาสการใช้เครื่องมือในการทดลองของบทปฏิบัติการ
ทุกบท ได้ผลดังตาราง 3

ตาราง 3 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อโอกาสการใช้
เครื่องมือในการทดลองของบทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 4.3438 | .7007 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลิเกทิว | 4.3750 | .6599 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 4.3750 | .7071 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 4.3125 | .6927 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลว ที่เป็นไอได้ง่าย | 4.4375 | .6189 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 4.3750 | .6599 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อโอกาสการใช้เครื่องมือในการทดลองของบทปฏิบัติการทุกบท
นั่นคือ ผู้เรียนมีโอกาสใช้เครื่องมือในการทดลองของบทปฏิบัติการทุกบทเป็นอย่างดี

4. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความสนุกเพลิดเพลินกับการทดลองในบทปฏิบัติการ ได้ผลดังตาราง 4

ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อความสนุกเพลิดเพลินกับการทดลองในบทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 4.0313 | .5948 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลิเกทิฟ | 4.0625 | .5644 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 4.0625 | .6189 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 4.0000 | .5680 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย | 4.1250 | .5536 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 4.0625 | .5644 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความสนุกเพลิดเพลินกับการทดลองของบทปฏิบัติการทุกบท นั่นคือ ผู้เรียนเกิดความสนุกเพลิดเพลินกับการทดลองของบทปฏิบัติการทุกบทเป็นอย่างดี

5. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อการเรียนรู้โดยใช้ความคิดและเหตุผลของบทปฏิบัติการ
ได้ผลดังตาราง 5

ตาราง 5 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อการเรียนรู้โดยใช้
ความคิดและเหตุผลของบทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 3.9375 | .7594 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลอยด์ | 3.9688 | .7399 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 4.0000 | .7184 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 3.8750 | .7931 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลว ที่เป็นไอได้ง่าย | 4.0625 | .6690 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 3.9063 | .7771 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้โดยใช้ความคิดและเหตุผลของบทปฏิบัติการ
ทุกบท นั่นคือ ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้โดยใช้ความคิดและเหตุผลจากบทปฏิบัติการทุกบทเป็น
อย่างดี

6. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อวิธีการนำเสนอเนื้อหาของบทปฏิบัติการในด้านความง่าย กระชับ และชัดเจน ดังตาราง 6

ตาราง 6 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อวิธีการนำเสนอเนื้อหาของบทปฏิบัติการ ในด้านความง่าย กระชับ และชัดเจน

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 3.9063 | .6405 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลิเกทิฟ | 3.9375 | .6189 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด - เบส | 3.9375 | .6690 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 3.8750 | .6091 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลว ที่เป็นไอได้ง่าย | 4.0000 | .6222 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 3.8750 | .6599 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิธีการนำเสนอเนื้อหาของบทปฏิบัติการทุกบท นั่นคือ วิธีการนำเสนอเนื้อหาของบทปฏิบัติการทุกบททำให้เกิดความเข้าใจได้ง่าย มีความชัดเจนและกระชับดี

7. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความเข้าใจเนื้อหาที่เสนอไว้ในบทปฏิบัติการ ดังตาราง 7

ตาราง 7 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความเข้าใจเนื้อหาที่เสนอไว้ในบทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 3.5313 | .8026 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลอยด์ | 3.5938 | .6652 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 3.5625 | .6690 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 3.5313 | .8793 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย | 3.5625 | .7156 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 3.5313 | .6214 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความเข้าใจเนื้อหาที่นำเสนอของบทปฏิบัติการทุกบท นั่นคือผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาที่นำเสนอของบทปฏิบัติการทุกบทเป็นอย่างดี

8. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความยากของเนื้อหาที่เสนอไว้ในบทปฏิบัติการ

ดังตาราง 8

ตาราง 8 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความยากของเนื้อหาที่เสนอไว้ในบทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 3.5938 | .7976 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลิเกทิฟ | 3.6250 | .7931 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 3.6563 | .7874 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 3.5313 | .8026 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย | 3.7188 | .7719 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 3.6875 | .6927 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความยากของเนื้อหาที่เสนอไว้ในบทปฏิบัติการทุกบท นั่นคือผู้เรียนคิดว่าบทปฏิบัติการทุกบทไม่ยากเกินกว่าที่จะทำความเข้าใจ

9. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความยาวของเนื้อหาของบทปฏิบัติการ ดังตาราง 9

ตาราง 9 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความยาวของเนื้อหาของบทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 3.6563 | .7007 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลิเกทิฟ | 3.6250 | .9755 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 3.6875 | .7378 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 3.6250 | .6599 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย | 3.7500 | .7184 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 3.6875 | .6927 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความยาวของเนื้อหาของบทปฏิบัติการทุกบท นั่นคือ บทปฏิบัติการทุกบทมีความยาวเหมาะสมดี

10. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความยากของศัพท์ที่ใช้ในบทปฏิบัติการ ดังตาราง 10

ตาราง 10 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความยากของศัพท์ที่ใช้ในบทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 3.8750 | .7931 | ๓ |
| 2. สมบัติคอลลิเกทิฟ | 3.9063 | .7771 | ๓ |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 3.9375 | .7594 | ๓ |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 3.8125 | .8206 | ๓ |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลว ที่เป็นไอได้ง่าย | 4.0000 | .7184 | ๓ |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 3.9375 | .8007 | ๓ |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความยากของศัพท์ที่ใช้ของบทปฏิบัติการทุกบท นั่นคือ ผู้เรียนมีความคิดว่าคำศัพท์ที่ใช้ของบทปฏิบัติการทุกบทไม่ยากเกินไป

11. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อรูปภาพประกอบในบทปฏิบัติการที่ทำให้เกิดความ
 เข้าใจบทปฏิบัติการ ดังตาราง 11

ตาราง 11 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อรูปภาพประกอบ
 ในบทปฏิบัติการที่ทำให้เกิดความเข้าใจบทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 3.6875 | .7378 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลอยด์ | 3.7188 | .7289 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 3.7188 | .7719 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 3.6563 | .7007 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลว ที่เป็นไอได้ง่าย | 3.7813 | .7507 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 3.5938 | .7121 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อรูปภาพประกอบของบทปฏิบัติการทุกบท นั่นคือ รูปภาพ
 ประกอบของบทปฏิบัติการทุกบทช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจยิ่งขึ้น

12. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อคำถามของบทปฏิบัติการและความสามารถตอบคำถาม
ในบทปฏิบัติการ ดังตาราง 12

ตาราง 12 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนต่อคำถามของ
บทปฏิบัติการ และความสามารถตอบคำถามในบทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 3.8438 | .8839 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลิเกทิฟ | 3.8750 | .8707 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 3.9063 | .8561 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 3.7813 | .9064 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลว ที่เป็นไอได้ง่าย | 3.9688 | .8224 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 3.6250 | .7513 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อคำถามของบทปฏิบัติการทุกบท นั่นคือ คำถามของ
บทปฏิบัติการทุกบททำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจได้ง่าย และผู้เรียนสามารถหาคำตอบได้

13. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความเข้าใจคำสั่งหรือคำชี้แจงของการทดลองใน
บทปฏิบัติการ และความสามารถในการปฏิบัติตามคำสั่งหรือคำชี้แจงของการทดลองใน
บทปฏิบัติการ ดังตาราง 13

ตาราง 13 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อความเข้าใจคำสั่ง
หรือคำชี้แจงของการทดลองในบทปฏิบัติการ และความสามารถในการปฏิบัติตาม
คำสั่งหรือคำชี้แจงของการทดลองในบทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 3.9375 | .8400 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลิเกทิว | 3.9688 | .8224 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 4.0000 | .8032 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 3.8750 | .8707 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลว ที่เป็นไอได้ง่าย | 3.7188 | .8884 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 4.0000 | .8424 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อคำสั่งหรือคำชี้แจงในบทปฏิบัติการทุกบท นั่นคือ คำสั่งหรือ
คำชี้แจงในบทปฏิบัติการทุกบททำให้ผู้เรียนเข้าใจได้ง่ายและสามารถปฏิบัติได้ดี

14. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อเวลาที่กำหนดของบทปฏิบัติการ ดังตาราง 14

ตาราง 14 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อเวลาที่กำหนดของบทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 3.5938 | .9108 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลิเกทิฟ | 3.6250 | .9070 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 3.6563 | .9019 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 3.5313 | .9153 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย | 3.7188 | .8884 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 3.6875 | .9311 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อเวลาที่กำหนดของบทปฏิบัติการทุกบท นั่นคือ เวลาที่กำหนดในการเรียนของบทปฏิบัติการทุกบทมีความเหมาะสมดี

15. เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อแบบวัดผลด้วยตนเองของบทปฏิบัติการ ดังตาราง 15

ตาราง 15 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อแบบวัดผลด้วยตนเองของบทปฏิบัติการ

| ชื่อบทปฏิบัติการ | \bar{X} | S.D. | เจตคติอยู่ในระดับ |
|--|-----------|-------|-------------------|
| 1. การแยกสารผสม | 3.9063 | .6891 | ดี |
| 2. สมบัติคอลลอยด์ | 3.9375 | .6690 | ดี |
| 3. การไทเทรตกรด – เบส | 3.9375 | .7156 | ดี |
| 4. จลนพลศาสตร์เคมี | 3.8750 | .6599 | ดี |
| 5. การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย | 4.0000 | .6720 | ดี |
| 6. การหาความกระด้างของน้ำ | 3.9375 | .7156 | ดี |

ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อความเหมาะสมของแบบวัดผลด้วยตนเองของบทปฏิบัติการทุกบท นั่นคือ แบบวัดผลด้วยตนเองของบทปฏิบัติการทุกบทมีความเหมาะสมดี

ผลการทดสอบสมมุติฐาน

การทดสอบสมมุติฐานที่ตั้งไว้ว่า การเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการจะทำให้ผู้เรียนมีการเรียนรู้ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และมีความเชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น โดยใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า t (t -test) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนใช้บทปฏิบัติการและหลังใช้บทปฏิบัติการแสดงได้ ดังตาราง 16

ตาราง 16 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า t ของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา ก่อนและหลังการใช้บทปฏิบัติการ

| บทปฏิบัติการ | การทดสอบ | N | \bar{X} | S.D. | t |
|--|----------|----|-----------|--------|----------|
| บทปฏิบัติการที่ 1 การแยกสารผสม | ก่อน | 32 | 12.03 | 1.5342 | 8.5331* |
| | หลัง | 32 | 14.78 | 1.7552 | |
| บทปฏิบัติการที่ 2 สมบัติคอลลิเกทิว | ก่อน | 32 | 12.03 | 1.6161 | 8.4005* |
| | หลัง | 32 | 14.38 | 2.1213 | |
| บทปฏิบัติการที่ 3 การไทเทรตกรด - เบส | ก่อน | 32 | 12.59 | 1.6434 | 8.1934* |
| | หลัง | 32 | 14.63 | 1.3619 | |
| บทปฏิบัติการที่ 4 จลนพลศาสตร์เคมี | ก่อน | 32 | 11.31 | 1.7494 | 11.3275* |
| | หลัง | 32 | 14.47 | 2.1096 | |
| บทปฏิบัติการที่ 5 การหามวลเชิงโมเลกุลของ ของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย | ก่อน | 32 | 12.41 | 1.9321 | 10.7860* |
| | หลัง | 32 | 14.88 | 1.7180 | |
| บทปฏิบัติการที่ 6 การหาความกระด้างของน้ำ | ก่อน | 32 | 10.25 | 1.7780 | 9.9081* |
| | หลัง | 32 | 14.06 | 2.0781 | |

หมายเหตุ : * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาก่อนและหลังการใช้บทปฏิบัติการ พบว่ามีความแตกต่างกันโดยหลังการใช้บทปฏิบัติการ นักศึกษามีการเรียนรู้ที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ

ค่าประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการแต่ละบทได้ถูกคำนวณโดยการหาประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) และหาค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) และแปลความโดยเทียบกับเกณฑ์ $E_1 : E_2 = 75 : 75$ โดยมีค่าเบี่ยงเบนได้ $\pm 5\%$ ปรากฏผลการวิจัยในภาคผนวก ก

สำหรับประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการและความก้าวหน้าในการใช้บทปฏิบัติการ แสดงดังตาราง 17

ตาราง 17 ค่าประสิทธิภาพและร้อยละความก้าวหน้าในการใช้บทปฏิบัติการ

| บทปฏิบัติการ | ค่าประสิทธิภาพ ($E_1 : E_2$) | ร้อยละความก้าวหน้า ในการใช้บทปฏิบัติการ |
|---|-----------------------------------|--|
| บทปฏิบัติการที่ 1 การแยกสารผสม | 75.30 : 73.90 | 13.75 |
| บทปฏิบัติการที่ 2 สมบัติคอลลิเกทิว | 79.20 : 71.90 | 11.75 |
| บทปฏิบัติการที่ 3 การไทเทรตกรด – เบส | 75.45 : 73.15 | 10.20 |
| บทปฏิบัติการที่ 4 จลนพลศาสตร์เคมี | 75.45 : 72.35 | 15.80 |
| บทปฏิบัติการที่ 5 การหามวลเชิงโมเลกุลของ ของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย | 75.15 : 74.40 | 12.35 |
| บทปฏิบัติการที่ 6 การหาความกระด้างของน้ำ | 76.10 : 70.30 | 19.05 |

ผู้วิจัยใช้เกณฑ์ในการพิจารณาค่า $E_1 : E_2 = 75 : 75$ โดยการยอมรับประสิทธิภาพมีค่าเบี่ยงเบนได้ $\pm 5\%$ จากเกณฑ์ในการพิจารณาดังกล่าว จะเห็นว่าบทปฏิบัติการทุกบทมีค่าประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ทั้งกระบวนการเรียนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ความก้าวหน้าของการใช้บทปฏิบัติการทุกบทอยู่ในช่วง 10.20% – 19.05%

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างบทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 (รหัสวิชา 4021101)
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นตามเกณฑ์มาตรฐาน 75/75
3. เพื่อศึกษาความก้าวหน้าในการเรียนภายหลังการใช้บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1

สำหรับนักศึกษาสถาบันราชภัฏ

4. เพื่อศึกษาเจตคติของนักศึกษาที่มีต่อคุณภาพของบทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1

สมมุติฐานในการวิจัย

1. บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน

75/75

2. หลังการทดลองใช้บทปฏิบัติการ นักศึกษามีความก้าวหน้าในการเรียนเพิ่มขึ้น และมีเจตคติที่ดีต่อการใช้บทปฏิบัติการ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

เป็นนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์ โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2545 จำนวน 32 คน ของสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

- 2.1 บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 (รหัสวิชา 4021101) จำนวน 6 บทปฏิบัติการ
- 2.2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน
- 2.3 แบบสอบถามวัดเจตคติที่มีต่อการใช้บทปฏิบัติการ

3. การดำเนินการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูลของบทปฏิบัติการแต่ละบท ดำเนินการเป็นขั้น ๆ ดังนี้

3.1 ทดสอบก่อนลงมือปฏิบัติตามบทปฏิบัติการ

3.2 ให้นักศึกษาทดลองหรือทำกิจกรรมต่าง ๆ ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ใน
บทปฏิบัติการ

3.3 ประเมินผลหลังเรียน

3.4 ตอบแบบสอบถามวัดเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อการใช้บทปฏิบัติการ

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างคะแนนทดสอบก่อนเรียนและ
หลังเรียนด้วยค่าที (t – test)

4.2 วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามวัดเจตคติโดยใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐาน

4.3 หาค่าประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการตามเกณฑ์มาตรฐาน 75 / 75 โดยมี
ค่าเบี่ยงเบนได้ $\pm 5\%$

สรุปผลการวิจัย

1. ค่าประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 ทุกบที่อยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ทั้ง
กระบวนการเรียนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คือ $E_1 : E_2 = 75 : 75$ โดยมีค่าเบี่ยงเบน $\pm 5\%$
และความก้าวหน้าของการใช้บทปฏิบัติการทุกบอยู่ในช่วง 10.20% - 19.05%

2. ผลการทดลองใช้บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 พบว่าคะแนนที่ได้ก่อนและหลัง
การใช้บทปฏิบัติการทุกบมีความแตกต่างกันโดยหลังการใช้บทปฏิบัติการนักศึกษามีการเรียนรู้
ที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อบทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 ในทุก ๆ ด้าน ดังนี้

3.1 วัตถุประสงค์ ขั้นตอนในการใช้ ตลอดจนเนื้อหา มีความละเอียด ชัดเจนดี
ทำให้เข้าใจและปฏิบัติตามได้เป็นอย่างดี

3.2 ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้โดยใช้ความคิดและเหตุผล สนุกเพลิดเพลิน
ในการทดลอง ทั้งนี้เพราะมีโอกาสได้ใช้เครื่องมือในการทดลอง

3.3 คำศัพท์ไม่ยาก มีรูปภาพประกอบ คำถามชัดเจน เวลาที่กำหนดในการ
ทดลองเหมาะสม ช่วยให้เกิดการเรียนรู้ได้ดี

3.4 แบบวัดผลด้วยตนเองมีความเหมาะสมดี

อภิปรายผล

1. จากการสร้างและหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1 และพบว่า ประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เพราะบทปฏิบัติการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นได้ผ่าน ขั้นตอนกระบวนการสร้างอย่างมีระบบ ซึ่งมีการกำหนดวัตถุประสงค์ วิธีการทดลอง ตลอดจน อุปกรณ์และเนื้อหาซึ่งแบ่งเป็นหน่วยเรียงลำดับจากง่ายไปหายาก ใช้ภาษาชัดเจน เข้าใจง่าย ใช้ เวลาเหมาะสม ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจเนื้อหาได้เป็นอย่างดี

2. จากการทดสอบความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนและหลังการใช้บทปฏิบัติการ แต่ละบท พบว่าภายหลังการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการแล้ว ผู้เรียนมีคะแนนสูงขึ้นอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ อุไรวรรณ วิจารณกุล และคณะ (2543) ทั้งนี้เพราะบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นช่วยให้ผู้เรียนได้รับ ประสบการณ์ตรง ทำให้มีทักษะทางด้านต่าง ๆ สูงขึ้น

3. จากการศึกษาเจตคติของนักศึกษาที่มีต่อบทปฏิบัติการ พบว่า นักศึกษามีเจตคติที่ ดีต่อการใช้บทปฏิบัติการ แสดงว่าบทปฏิบัติการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีคุณภาพ ช่วยเพิ่มความ กระตือรือร้นในการเรียน และสนใจให้ผู้เรียนสนใจในการเรียนมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการฝึกตามบทปฏิบัติการควบคู่กับการเรียนเนื้อหาในบทเรียน จะทำให้ ผู้เรียนสนใจในการเรียนเนื้อหาวิชามากขึ้น
2. ควรสนับสนุนให้มีการจัดทำบทปฏิบัติการในรายวิชาอื่น ๆ เพื่อส่งเสริมการสอน แบบปฏิบัติการ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- นิทัศน์ ฝักเจริญผล และคณะ. งานวิจัยการพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้าง
ผลการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา. รายงาน
การวิจัย. นครปฐม : สถาบันราชภัฏนครปฐม, 2544.
- นพวรรณ ศรีโพธิ์. ระบบไตเตรชันอย่างง่ายสำหรับการเรียนการสอน. รายงานการวิจัย.
เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2542.
- พล คำปิงตุ้ และคณะ. คู่มือการรวบรวมข้อมูล (โครงการประเมินชุดการสอนวิชาฟิสิกส์
พื้นฐาน). เลข : สถาบันราชภัฏเลย, 2543.
- ยุพิน พิพิธกุล. การเรียนการสอนคณิตศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : บพิธการพิมพ์, 2523.
- ถาว์ลย์ พลกล้า. การสอนคณิตศาสตร์แบบปฏิบัติการ. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประสานมิตร. กรุงเทพมหานคร, 2523.
- วิชากร, กรม กระทรวงศึกษาธิการ. ข้อคิดเบื้องต้นในการสอนและการสอบที่เน้นกระบวนการ.
กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์คุรุสภา, 2543.
- ศิริกานต์ ผาสุข. การศึกษาและพัฒนาผลการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การสกัด และแยก
องค์ประกอบทางเคมีจากพืชสมุนไพรต่อผลการเรียนวิชาเคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ
ของนักศึกษาสถาบันราชภัฏ. รายงานการวิจัย. ปทุมธานี : สถาบันราชภัฏเพชรบุรี
วิทยาเขตกรณีนพระบรมราชูปถัมภ์, 2544.
- ตีปปนนท์ เกตุทัต. “สสวท. กับ พรบ. การศึกษาแห่งชาติ การปฏิรูปการศึกษาวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ ระดับการศึกษาพื้นฐาน.” เอกสารประกอบการประชุม
เนื่องในโอกาสวันคล้ายวันสถาปนาครบรอบ 28 ปี สสวท. 1 กันยายน 2543.
กรุงเทพมหานคร, 2543.
- สำนักวางแผนและพัฒนา, สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม. การวิเคราะห์ภาระงานของอาจารย์
สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม. รายงานการวิจัย. พิษณุโลก : สถาบันราชภัฏ
พิบูลสงคราม, 2542.
- อุไรวรรณ วิจารณ์กุล. ผลของการเรียนการสอนเชิงปฏิบัติการในวิชาพันธุศาสตร์จุลินทรีย์
ต่อความคิดรวบยอดที่สำคัญทางพันธุศาสตร์ ทักษะ และทัศนคติของนักศึกษา
โปรแกรมวิชาชีพวิทยาประยุกต์. รายงานการวิจัย. พิษณุโลก : สถาบันราชภัฏ
พิบูลสงคราม, 2543.

อรทัย วิเศษศุกุล. การศึกษาผลของการปฏิบัติการเสริมความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีต่อ
ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการนำความรู้ทาง
วิทยาศาสตร์ไปใช้ในชีวิตประจำวัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1.
ปริญญาานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2534.

Anderson, R.O. **The Experience of Science : A New Perspective for Laboratory Teaching.**
New York : Teacher College Press, Columbia University, 1976.

Kaewjai Puakanokhirun. **Knowledge and Understanding of Laboratory Experiment
and Safety in Chemistry Practice of the Upper Secondary School Students
in Chiang Mai Province.** Chiangmai : Chiangmai University, 1998.

Kutek, Gerald L. **Education and Schooling in America.** 2nd. ed., New Jersey : Prentice Hall,
1988.

Lunetta, V.N., A.Hoftein and G.Gidding. "Evaluating Science Laboratory Skills."
The Science Teacher. 48(7) : 22-25 ; January, 1981.

Nittaya Boontan. **Effects of Using Practice Packages to Promote Lower Secondary
School Students' Skills in Creating and Conducting Science Projects.**
Chiangmai : Chiangmai University, 1998.

Palmer, D.H. "The POE in the Primary School : An Evaluation." **Research in Science
Education.** 25(3) : 323-333, 1995.

Solomonidou, C. and H. Stavridou. **From Inert Object to Chemical Substance :
Students' Initial Conceptions and Conceptual Development During an
Introductory Experimental Chemistry Sequence.** John Wiley & Sons,
2000.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ

บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การแยกสารผสม

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

| คนที่ | คะแนน ก่อนเรียน (20) | คะแนน หลังเรียน (20) | คะแนน กระบวนการ (20) | D | D ² |
|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|----------------|
| 24 | 12 | 15 | 16 | 3 | 9 |
| 25 | 15 | 16 | 16 | 1 | 1 |
| 26 | 14 | 15 | 16 | 1 | 1 |
| 27 | 14 | 16 | 16 | 2 | 4 |
| 28 | 9 | 15 | 17 | 6 | 36 |
| 29 | 15 | 16 | 16 | 1 | 1 |
| 30 | 11 | 19 | 17 | 8 | 64 |
| 31 | 10 | 12 | 15 | 2 | 4 |
| 32 | 14 | 15 | 16 | 1 | 1 |
| รวม | 385 | 473 | 482 | 89 | 353 |

$$\bar{X}_n = \frac{385}{32} = 12.03$$

$$\bar{X}_a = \frac{473}{32} = 14.78$$

$$\bar{X}_u = \frac{482}{32} = 15.06$$

$$E_1 = \frac{15.06}{20} \times 100 = 75.30$$

$$E_2 = \frac{14.78}{20} \times 100 = 73.90$$

$$\text{ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ} = E_1/E_2 = \frac{75.30}{73.90} = 1.02$$

$$\text{ร้อยละความก้าวหน้า} = \frac{14.78 - 12.03}{20} \times 100 = 13.75$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}} \\
 &= \frac{89}{\sqrt{\frac{32 \times 353 - (89)^2}{32-1}}} \\
 &= 8.5331
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ : อักษรและความหมายที่ใช้กับสัญลักษณ์ทางสถิติ

- ก = คะแนนก่อนเรียน
- ล = คะแนนหลังเรียน
- น = คะแนนกระบวนการ

บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง สมบัติคอลลิเกทีฟ

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

| คนที่ | คะแนน ก่อนเรียน (20) | คะแนน หลังเรียน (20) | คะแนน กระบวนการ (20) | D | D ² |
|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|----------------|
| 24 | 12 | 13 | 15 | 1 | 1 |
| 25 | 10 | 11 | 15 | 1 | 1 |
| 26 | 9 | 11 | 15 | 2 | 4 |
| 27 | 13 | 14 | 16 | 1 | 1 |
| 28 | 12 | 18 | 17 | 6 | 36 |
| 29 | 12 | 13 | 15 | 1 | 1 |
| 30 | 15 | 19 | 18 | 4 | 16 |
| 31 | 12 | 15 | 16 | 3 | 9 |
| 32 | 11 | 14 | 16 | 3 | 9 |
| รวม | 385 | 460 | 507 | 75 | 253 |

$$\bar{X}_n = \frac{385}{32} = 12.03$$

$$\bar{X}_a = \frac{460}{32} = 14.38$$

$$\bar{X}_u = \frac{507}{32} = 15.84$$

$$E_1 = \frac{15.84}{20} \times 100 = 79.20$$

$$E_2 = \frac{14.38}{20} \times 100 = 71.90$$

$$\text{ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ} = E_1 / E_2 = \frac{79.20}{71.90} = 1.10$$

$$\text{ร้อยละความก้าวหน้า} = \frac{14.38 - 12.03}{20} \times 100 = 11.75$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}} \\
 &= \frac{75}{\sqrt{\frac{32 \times 253 - (75)^2}{32-1}}} \\
 &= 8.4005
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ : อักษรและความหมายที่ใช้กับสัญลักษณ์ทางสถิติ

- ก = คะแนนก่อนเรียน
- ด = คะแนนหลังเรียน
- น = คะแนนกระบวนการ

บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การไทเทรตกรด – เบส

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

| คนที่ | คะแนน ก่อนเรียน (20) | คะแนน หลังเรียน (20) | คะแนน กระบวนการ (20) | D | D ² |
|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|----------------|
| 24 | 13 | 16 | 16 | 3 | 9 |
| 25 | 12 | 15 | 16 | 3 | 9 |
| 26 | 13 | 15 | 16 | 2 | 4 |
| 27 | 12 | 14 | 16 | 2 | 4 |
| 28 | 12 | 14 | 16 | 2 | 4 |
| 29 | 13 | 15 | 16 | 2 | 4 |
| 30 | 16 | 17 | 17 | 1 | 1 |
| 31 | 13 | 14 | 16 | 1 | 1 |
| 32 | 13 | 14 | 16 | 1 | 1 |
| รวม | 403 | 468 | 483 | 65 | 193 |

$$\bar{X}_n = \frac{403}{32} = 12.59$$

$$\bar{X}_n = \frac{468}{32} = 14.63$$

$$\bar{X}_u = \frac{483}{32} = 15.09$$

$$E_1 = \frac{15.09}{20} \times 100 = 75.45$$

$$E_2 = \frac{14.63}{20} \times 100 = 73.15$$

$$\text{ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ} = E_1 / E_2 = \frac{75.45}{73.15} = 1.03$$

$$\text{ร้อยละความก้าวหน้า} = \frac{14.63 - 12.59}{20} \times 100 = 10.20$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}} \\
 &= \frac{65}{\sqrt{\frac{32 \times 193 - (65)^2}{32-1}}} \\
 &= 8.1934
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ : อักษรและความหมายที่ใช้กับสัญลักษณ์ทางสถิติ

- ก = คะแนนก่อนเรียน
- ด = คะแนนหลังเรียน
- น = คะแนนกระบวนการ

บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง จดนพลศาสตร์เคมี

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

| คนที่ | คะแนน ก่อนเรียน (20) | คะแนน หลังเรียน (20) | คะแนน กระบวนการ (20) | D | D ² |
|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------|----------------|
| 24 | 11 | 13 | 14 | 2 | 4 |
| 25 | 9 | 11 | 14 | 2 | 4 |
| 26 | 8 | 12 | 14 | 4 | 16 |
| 27 | 12 | 15 | 15 | 3 | 9 |
| 28 | 11 | 18 | 16 | 7 | 49 |
| 29 | 11 | 14 | 15 | 3 | 9 |
| 30 | 14 | 18 | 16 | 4 | 16 |
| 31 | 12 | 16 | 16 | 4 | 16 |
| 32 | 11 | 16 | 16 | 5 | 25 |
| รวม | 362 | 463 | 483 | 100 | 388 |

$$\bar{X}_n = \frac{362}{32} = 11.31$$

$$\bar{X}_a = \frac{463}{32} = 14.47$$

$$\bar{X}_u = \frac{483}{32} = 15.09$$

$$E_1 = \frac{15.09}{20} \times 100 = 75.45$$

$$E_2 = \frac{14.47}{20} \times 100 = 72.35$$

$$\text{ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ} = E_1 / E_2 = \frac{75.45}{72.35} = 1.04$$

$$\text{ร้อยละความก้าวหน้า} = \frac{14.47 - 11.31}{20} \times 100 = 15.8$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}} \\
 &= \frac{100}{\sqrt{\frac{32 \times 388 - (100)^2}{32-1}}} \\
 &= 11.3275
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ : อักษรและความหมายที่ใช้กับสัญลักษณ์ทางสถิติ

- ก = คะแนนก่อนเรียน
- ล = คะแนนหลังเรียน
- น = คะแนนกระบวนการ

บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย

| คนที่ | คะแนน ก่อนเรียน (20) | คะแนน หลังเรียน (20) | คะแนน กระบวนการ (20) | D | D ² |
|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---|----------------|
| 1 | 12 | 13 | 15 | 1 | 1 |
| 2 | 11 | 14 | 16 | 3 | 9 |
| 3 | 16 | 17 | 17 | 1 | 1 |
| 4 | 13 | 15 | 16 | 2 | 4 |
| 5 | 9 | 14 | 16 | 5 | 25 |
| 6 | 9 | 10 | 15 | 1 | 1 |
| 7 | 13 | 15 | 16 | 2 | 4 |
| 8 | 12 | 14 | 16 | 2 | 4 |
| 9 | 15 | 16 | 16 | 1 | 1 |
| 10 | 12 | 14 | 16 | 2 | 4 |
| 11 | 11 | 12 | 15 | 1 | 1 |
| 12 | 12 | 13 | 15 | 1 | 1 |
| 13 | 13 | 17 | 17 | 4 | 16 |
| 14 | 13 | 14 | 16 | 1 | 1 |
| 15 | 13 | 17 | 17 | 4 | 16 |
| 16 | 12 | 16 | 16 | 4 | 16 |
| 17 | 12 | 15 | 16 | 3 | 9 |
| 18 | 12 | 15 | 16 | 3 | 9 |
| 19 | 13 | 16 | 16 | 3 | 9 |
| 20 | 9 | 13 | 15 | 4 | 16 |
| 21 | 12 | 14 | 16 | 2 | 4 |
| 22 | 12 | 16 | 16 | 4 | 16 |
| 23 | 11 | 15 | 16 | 4 | 16 |

| คนที่ | คะแนน ก่อนเรียน (20) | คะแนน หลังเรียน (20) | คะแนน กระบวนการ (20) | D | D ² |
|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|----------------|
| 24 | 12 | 16 | 16 | 4 | 16 |
| 25 | 9 | 13 | 15 | 4 | 16 |
| 26 | 12 | 14 | 16 | 2 | 4 |
| 27 | 16 | 17 | 17 | 1 | 1 |
| 28 | 17 | 18 | 18 | 1 | 1 |
| 29 | 13 | 15 | 16 | 2 | 4 |
| 30 | 14 | 16 | 16 | 2 | 4 |
| 31 | 13 | 17 | 17 | 4 | 16 |
| 32 | 14 | 15 | 16 | 1 | 1 |
| รวม | 397 | 476 | 481 | 79 | 247 |

$$\bar{X}_n = \frac{397}{32} = 12.41$$

$$\bar{X}_n = \frac{476}{32} = 14.88$$

$$\bar{X}_n = \frac{481}{32} = 15.03$$

$$E_1 = \frac{15.03}{20} \times 100 = 75.15$$

$$E_2 = \frac{14.88}{20} \times 100 = 74.40$$

$$\text{ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ} = E_1 / E_2 = \frac{75.15}{74.40} = 1.01$$

$$\text{ร้อยละความก้าวหน้า} = \frac{14.88 - 12.41}{20} \times 100 = 12.35$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}} \\
 &= \frac{79}{\sqrt{\frac{32 \times 247 - (79)^2}{32-1}}} \\
 &= 10.7860
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ : อักษรและความหมายที่ใช้กับสัญลักษณ์ทางสถิติ

- ก = คะแนนก่อนเรียน
- ด = คะแนนหลังเรียน
- น = คะแนนกระบวนการ

บทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง การหาความกระด้างของน้ำ

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

| คนที่ | คะแนน ก่อนเรียน (20) | คะแนน หลังเรียน (20) | คะแนน กระบวนการ (20) | D | D ² |
|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------|----------------|
| 24 | 10 | 15 | 16 | 5 | 25 |
| 25 | 13 | 16 | 17 | 3 | 9 |
| 26 | 13 | 14 | 16 | 1 | 1 |
| 27 | 13 | 17 | 17 | 4 | 16 |
| 28 | 7 | 17 | 18 | 10 | 100 |
| 29 | 14 | 17 | 17 | 3 | 9 |
| 30 | 9 | 18 | 18 | 9 | 81 |
| 31 | 8 | 11 | 16 | 3 | 9 |
| 32 | 12 | 14 | 16 | 2 | 4 |
| รวม | 328 | 450 | 487 | 122 | 612 |

$$\bar{X}_n = \frac{328}{32} = 10.25$$

$$\bar{X}_n = \frac{450}{32} = 14.06$$

$$\bar{X}_u = \frac{487}{32} = 15.22$$

$$E_1 = \frac{15.22}{20} \times 100 = 76.10$$

$$E_2 = \frac{14.06}{20} \times 100 = 70.30$$

$$\text{ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ} = E_1 / E_2 = \frac{76.10}{70.30} = 1.08$$

$$\text{ร้อยละความก้าวหน้า} = \frac{14.06 - 10.25}{20} \times 100 = 19.05$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}} \\
 &= \frac{122}{\sqrt{\frac{32 \times 612 - (122)^2}{32-1}}} \\
 &= 9.9081
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ : อักษรและความหมายที่ใช้กับสัญลักษณ์ทางสถิติ

- ก = คะแนนก่อนเรียน
- ล = คะแนนหลังเรียน
- น = คะแนนกระบวนการ

ภาคผนวก ข
แบบสอบถามวัดเจตคติของผู้เรียน

$$-\frac{d[S_2O_8^{2-}]}{dt} = \text{ปริมาณ } S_2O_8^{2-} \text{ (มีหน่วยเป็น mol dm}^{-3}\text{)}$$

ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับ I^- ที่เวลา t

$$[I^-] = \text{ปริมาณ } I^- \text{ (มีหน่วยเป็น mol dm}^{-3}\text{)}$$

ที่เหลือในสารละลายหลังจากทำปฏิกิริยากับ $S_2O_8^{2-}$ แล้วที่เวลา t

$$[S_2O_8^{2-}] = \text{ปริมาณ } S_2O_8^{2-} \text{ (มีหน่วยเป็น mol dm}^{-3}\text{)}$$

ที่เหลือในสารละลายหลังจากทำปฏิกิริยากับ I^- แล้วที่เวลา t

เนื่องจากปริมาณของ I^- และ $S_2O_8^{2-}$ ที่ถูกใช้ไปในปฏิกิริยามีเพียงจำนวนน้อย ดังนั้นความเข้มข้นของ I^- และ $S_2O_8^{2-}$ ที่จุดที่เกิดสีน้ำเงิน (เวลา t) จึงเกือบเท่ากับความเข้มข้นของสารตอนตั้งต้น ความเข้มข้นของ I^- และ $S_2O_8^{2-}$ จึงอนุโลมว่ามีค่าเท่ากับตอนเริ่มต้น เรียกว่า ความเข้มข้นเริ่มต้น (Initial concentration) ส่วน $-\frac{d[S_2O_8^{2-}]}{dt}$ เรียกว่า อัตราเริ่มต้น (Initial rate)

สำหรับการศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยา ในการทดลองนี้ใช้ Cu^{2+} เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่าง $(NH_4)_2S_2O_8$ และ KI เหมือนเดิม แต่จัดให้ความเข้มข้นของ $(NH_4)_2S_2O_8$, $S_2O_3^{2-}$ และไอออนอื่นๆ มีค่าคงตัว ส่วนความเข้มข้นของ KI เปลี่ยนแปลงไปหลายค่า เมื่อเติมสารละลาย $0.1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ Cu(NO}_3)_2$ ลงไป 1 หยด ในปฏิกิริยาแต่ละครั้งจะพบว่าเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะเปลี่ยนไป

อุปกรณ์และสารเคมี

1. บีกเกอร์
2. อ่างน้ำ
3. กระบอกตวง
4. บิวเรตต์
5. นาฬิกาจับเวลา
6. 0.05 , 0.1 , 0.2 , 0.4 mol dm^{-3} KI
7. 0.05 , 0.1 , 0.2 , 0.4 mol dm^{-3} $(NH_4)_2S_2O_8$
8. 0.01 mol dm^{-3} $Na_2S_2O_3$

9. $0.1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ Cu(NO}_3)_2$

10. 2% น้ำแป้ง

วิธีการทดลอง

1. ผลของการเปลี่ยนความเข้มข้นของ I^- ที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยา

การทดลองตอนนี้ให้เปลี่ยนความเข้มข้นของ KI เป็นดังนี้คือ 0.4 , 0.2 , 0.1 และ 0.05 mol dm^{-3} ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของ $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ให้มีค่าคงตัว ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1

| การทดลองที่ | บีกเกอร์ที่ 1 | | | | บีกเกอร์ที่ 2 | |
|-------------|----------------------|---------------|--|--------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | KI | | $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ cm^3 | น้ำแป้ง cm^3 | $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ | |
| | mol dm^{-3} | cm^3 | | | mol dm^{-3} | cm^3 |
| 1 | 0.4 | 25 | 10 | 5 | 0.2 | 25 |
| 2 | 0.2 | 25 | 10 | 5 | 0.2 | 25 |
| 3 | 0.1 | 25 | 10 | 5 | 0.2 | 25 |
| 4 | 0.05 | 25 | 10 | 5 | 0.2 | 25 |

1) เตรียมสารละลายในบีกเกอร์ที่ 1 และบีกเกอร์ที่ 2 ตามตารางที่ 1 สำหรับสารละลาย KI $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ และ $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ให้วัดปริมาตรโดยไขจากบิวเรตต์ ส่วนน้ำแป้งใช้กระบอกตวง

2) คนสารละลายในบีกเกอร์ที่ 1 ให้เข้ากันโดยใช้แท่งแก้วคน

3) เทสารละลายในบีกเกอร์ที่ 2 ลงในสารละลายในบีกเกอร์ที่ 1 โดยเร็ว จับเวลาที่เริ่มผสมและคนสารละลายจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน บันทึกเวลาที่ใช้ทั้งหมด

4) ทำการทดลองต่อไปตามตารางจนครบ 4 ครั้ง พร้อมกับบันทึกเวลาที่ใช้ทุกครั้ง

2. ผลของการเปลี่ยนความเข้มข้นของ $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยา

การทดลองตอนนี้ให้เปลี่ยนความเข้มข้นของ $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ เป็นดังนี้คือ 0.4 , 0.2 , 0.1 และ 0.05 mol dm^{-3} ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของ KI ให้มีค่าคงตัวตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2

| การทดลองที่ | บีกเกอร์ที่ 1 | | | | บีกเกอร์ที่ 2 | |
|-------------|---------------------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|----------------------|---------------|
| | $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ | | $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ | น้ำแข็ง | KI | |
| | mol dm^{-3} | cm^3 | cm^3 | cm^3 | mol dm^{-3} | cm^3 |
| 1 | 0.4 | 25 | 10 | 5 | 0.2 | 25 |
| 2 | 0.2 | 25 | 10 | 5 | 0.2 | 25 |
| 3 | 0.1 | 25 | 10 | 5 | 0.2 | 25 |
| 4 | 0.05 | 25 | 10 | 5 | 0.2 | 25 |

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 และจดบันทึกเวลาที่ใช้ทุกครั้ง

3. ผลของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา คือ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยา

การทดลองตอนนี้ให้ความเข้มข้นของ $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ คงตัวคือ 0.2 mol dm^{-3} แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของ KI ตามตารางที่ 1 และเติมตัวเร่งปฏิกิริยา คือ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (0.1 mol dm^{-3}) ลงไป 1 หยด ด้วยในบีกเกอร์ที่ 1 ของแต่ละการทดลอง บันทึกเวลาที่ใช้

รายงานผลการทดลอง
เรื่อง จลนพลศาสตร์เคมี

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

ผลการทดลอง

1. ผลของการเปลี่ยนความเข้มข้นของ I^- ที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยา

| การทดลองที่ | [KI] (mol dm ⁻³) | [(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈] (mol dm ⁻³) | เวลาที่ใช้ (s) |
|-------------|---------------------------------|---|-------------------|
| 1 | 0.4 | 0.2 | ..... |
| 2 | 0.2 | 0.2 | ..... |
| 3 | 0.1 | 0.2 | ..... |
| 4 | 0.05 | 0.2 | ..... |

2. ผลของการเปลี่ยนความเข้มข้นของ $S_2O_8^{2-}$ ที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยา

| การทดลองที่ | [KI] (mol dm ⁻³) | [(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈] (mol dm ⁻³) | เวลาที่ใช้ (s) |
|-------------|---------------------------------|---|-------------------|
| 1 | 0.2 | 0.4 | ..... |
| 2 | 0.2 | 0.2 | ..... |
| 3 | 0.2 | 0.1 | ..... |
| 4 | 0.2 | 0.05 | ..... |

3. ผลของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยา

| การทดลองที่ | [KI] (mol dm ⁻³) | [(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈] (mol dm ⁻³) | Cu(NO ₃) ₂ 0.1 mol dm ⁻³ | เวลาที่ใช้ (s) |
|-------------|---------------------------------|---|---|-------------------|
| 1 | 0.4 | 0.2 | 1 หยด | ..... |
| 2 | 0.2 | 0.2 | 1 หยด | ..... |
| 3 | 0.1 | 0.2 | 1 หยด | ..... |
| 4 | 0.05 | 0.2 | 1 หยด | ..... |

คำถาม

- อัตราของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับ I⁻ , x =
- อัตราของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับ S₂O₈²⁻ , y =
- จากปฏิกิริยาระหว่าง I⁻ กับ S₂O₈²⁻ เขียนกฎอัตราได้อย่างไร
- ปฏิกิริยาระหว่าง I⁻ กับ S₂O₈²⁻ เป็นปฏิกิริยาอันดับที่เท่าไร.....
- เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปในปฏิกิริยาจะทำให้อัตราของปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลง

หรือไม่

วิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

สรุปและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 5

การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย

(Molecular Mass Determination)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดลองหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย
2. เพื่อคำนวณหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย

หลักการ

เมื่อทำให้ของเหลวที่ระเหยง่ายกลายเป็นไอโดยให้ความดันไอเท่ากับความดันบรรยากาศ แล้ววัดปริมาตรของไอและน้ำหนักของไอที่ควบแน่นเป็นของเหลว ก็สามารถคำนวณหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวได้ โดยในการทดลองสมมติให้ไอของของเหลวมีพฤติกรรมเป็นไปตามกฎของแก๊สอุดมคติ (Ideal gas law)

กฎของแก๊สอุดมคติจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอของแก๊ส ปริมาตร จำนวนโมล อุณหภูมิ และค่าคงตัวของแก๊ส ดังสมการ

$$PV = nRT$$

$$\text{หรือ } PV = \frac{g}{M}RT$$

จากสมการดังกล่าวสามารถคำนวณหามวลเชิงโมเลกุลของแก๊สหรือของเหลวที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย ถ้าทราบค่า P, V, T และ g

$$g = \text{มวลของสาร}$$

$$M = \text{มวลเชิงโมเลกุลของสาร}$$

$$R = \text{ค่าคงตัวของแก๊ส}$$

$$= 0.08206 \text{ dm}^3 \text{ atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$T = \text{อุณหภูมิเคลวิน}$$

$$P = \text{ความดัน (atm)}$$

$$V = \text{ปริมาตร (dm}^3\text{)}$$

ตัวอย่าง แก๊สออกซิเจน 50 dm^3 ที่ 21°C ความดัน 15.7 atm มีมวลกี่กรัม

| | | | | |
|--------|---------------------|------------------|-----|---|
| วิธีทำ | จากสูตร | PV | $=$ | nRT |
| | | P | $=$ | 15.7 atm |
| | | V | $=$ | 50 dm^3 |
| | | T | $=$ | $273 + 21$ |
| | | | $=$ | 294 K |
| | แทนค่า จะได้ | 15.7×50 | $=$ | $n \times 0.08206 \times 294$ |
| | | n | $=$ | $\frac{15.7 \times 50}{0.08206 \times 294}$ |
| | จำนวนโมลของออกซิเจน | | $=$ | 32.5 mol |
| | มวลของออกซิเจน | | $=$ | 32.5×32 |
| | | | $=$ | $1.04 \times 10^3 \text{ g}$ |

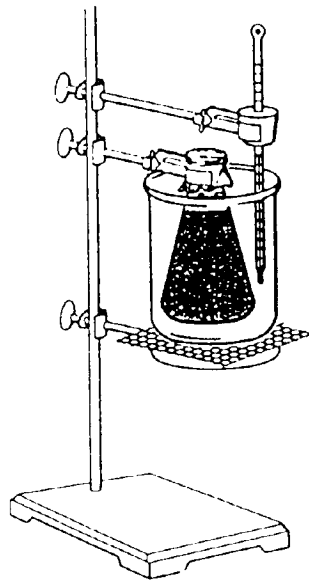
อุปกรณ์และสารเคมี

1. ขวดรูปกรวย
2. ขาดัง
3. ตัวหนีบยึด
4. ตะแกรงลวด
5. บีกเกอร์
6. ตะเกียงบุนเซน
7. กระจกตวง
8. แผ่นอะลูมิเนียม
9. 2 - Propanol
10. เกล็ดไอโอดีน

วิธีการทดลอง

1. นำขวดรูปกรวยที่สะอาดและแห้ง พร้อมด้วยแผ่นอะลูมิเนียมไปตั้งด้วยเครื่องชั่งอย่างละเอียด (ในการชั่งจะต้องใช้คีมคีบขวดและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อป้องกันความชื้น และฝุ่นผงต่าง ๆ จะติดขวด)

2. นำสารที่ต้องการหามวลเชิงโมเลกุล (2 - Propanol) 3 cm³ ใส่ลงในขวดรูปกรวยพร้อมด้วยเกล็ดเล็ก ๆ ของไอโอดีน (เพื่อสังเกตสีของสาร)
3. ปิดฝาขวดรูปกรวยด้วยแผ่นอะลูมิเนียม ดึงให้ตึงเท่าระดับปากขวด และบีบให้แน่นรัศกับปากขวด
4. ใช้เข็มเจาะรูตรงกลางแผ่นอะลูมิเนียมให้มีขนาดเล็กที่สุดที่จะทำได้
5. จุ่มขวดรูปกรวยดังกล่าวในบีกเกอร์ขนาด 1000 cm³ ที่บรรจุด้วยน้ำและจับไว้ให้แน่นดังรูป



6. ต้มน้ำในบีกเกอร์พร้อมกับสังเกตของเหลวในขวดรูปกรวยจนไม่เห็นของเหลวเหลืออยู่ (คูสีของไอโอดีน) ต้มต่ออีกประมาณ 2 นาที จุดอุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์และความดันบรรยากาศจากบารอมิเตอร์
7. นำขวดรูปกรวยออกจากบีกเกอร์และเช็ดให้แห้ง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด
8. หาปริมาตรของขวดรูปกรวยโดยเติมน้ำกลั่นลงในขวดรูปกรวยที่แห้งและสะอาดจนเต็ม และนำมาตวงด้วยกระบอกตวง
9. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งหนึ่ง
10. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหามวลเชิงโมเลกุล โดยใช้สูตร

$$M = \frac{gRT}{PV}$$

รายงานผลการทดลอง

เรื่อง การหามวลเชิงโมเลกุลของของเหลวที่เป็นไอได้ง่าย

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

ตารางบันทึกผลการทดลอง

| ข้อมูลการทดลอง | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 |
|---|------------|------------|
| น้ำหนักของขวดรูปกรวย + แผ่นอะลูมิเนียม (g) | | |
| น้ำหนักของขวดรูปกรวย + แผ่นอะลูมิเนียม + ของเหลวที่ควบแน่น (g) | | |
| น้ำหนักของของเหลวที่ควบแน่น (g) | | |
| ปริมาตรของน้ำที่บรรจุเต็มขวดรูปกรวย (cm ³) | | |
| อุณหภูมิของน้ำเดือด (°C) | | |
| ความดันของบรรยากาศ (torr) | | |

คำถาม

- มวลเชิงโมเลกุลของ 2-Propanol ที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่าไร แสดงวิธีคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

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

2. เปรียบเทียบค่าที่ทดลองได้กับทฤษฎี

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

วิจารณ์ผลการทดลอง

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

สรุปและข้อเสนอแนะ

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

การทดลองที่ 6

การหาความกระด้างของน้ำ

(Determination of the Hardness of Water)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดลองหาความกระด้างทั้งหมด ความกระด้างถาวรและความกระด้างชั่วคราวของน้ำกระด้าง
2. เพื่อคำนวณหาความกระด้างทั้งหมด ความกระด้างถาวรและความกระด้างชั่วคราวของน้ำกระด้าง

หลักการ

น้ำกระด้างมีสองชนิดคือ น้ำกระด้างชั่วคราว (Temporary hardness) ซึ่งมีเกลือไฮโดรเจนคาร์บอเนต เช่น $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ และ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ เมื่อนำมาต้มจะเกิดตะกอนของ CaCO_3 และ MgCO_3 การต้มทำให้น้ำกระด้างชั่วคราวหายกระด้างได้ สำหรับน้ำกระด้างถาวร (Permanent hardness) เป็นน้ำกระด้างที่เกิดจากเกลือคลอไรด์ (Cl^-) และเกลือซัลเฟต (SO_4^{2-}) เช่น CaCl_2 , CaSO_4 เมื่อนำมาต้มก็ไม่หายกระด้างเพราะไม่สามารถตกตะกอนแยกแคลเซียมและแมกนีเซียมในรูปคลอไรด์และซัลเฟตได้

ความกระด้างรวมของน้ำคือผลรวมของความกระด้างชั่วคราวกับความกระด้างถาวร ซึ่งหาได้โดยการไทเทรตกับ EDTA แล้วบอกเป็นปริมาณของ CaCO_3 ที่มีอยู่ในสารละลายในหน่วย ppm น้ำกระด้างที่มีความกระด้างทั้งหมดน้อยกว่า 250 ppm ใช้บริโภคได้ แต่ถ้ามากกว่า 500 ppm ถือว่าเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

การหาความกระด้างถาวรของน้ำทำได้โดยนำน้ำไปต้มแล้วกรองเพื่อแยกตะกอน MgCO_3 และ CaCO_3 ออก แล้วนำมาไทเทรตกับ EDTA สำหรับความกระด้างชั่วคราวหาได้จากความกระด้างทั้งหมดลบด้วยความกระด้างถาวร

น้ำกระด้างที่มีทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียมเมื่อนำมาไทเทรตกับ EDTA ตอนแรกแคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับ EDTA เพราะสารเชิงซ้อนระหว่างแคลเซียมกับ EDTA เสถียรมากกว่าแมกนีเซียมกับ EDTA จนกระทั่งแคลเซียมที่อยู่ในน้ำกระด้างอยู่ในรูปสารเชิงซ้อนทั้งหมด EDTA ที่เติมลงไปจึงจะไปทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียม

$$\begin{aligned}
 \therefore \text{ความกระด้างทั้งหมดของน้ำ} &= \frac{\text{น้ำหนัก CaCO}_3 \text{ (g)}}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (cm}^3\text{)}} \times 10^6 \\
 &= 15 \times 10^{-3} \times \frac{10^6}{25} \\
 &= 600 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

2. ความกระด้างชั่วคราว (สมมติให้ใช้ EDTA 10 cm³)

$$\begin{aligned}
 \text{m mol CaCO}_3 &= \text{m mol EDTA} \\
 &= \text{ปริมาตร EDTA (cm}^3\text{)} \times \text{ความเข้มข้น EDTA (m mol cm}^{-3}\text{)} \\
 &= 10 \times 0.01 \\
 &= 0.10 \text{ m mol} \\
 \text{น้ำหนัก CaCO}_3 \text{ (mg)} &= \text{m mol CaCO}_3 \times \text{M.W. CaCO}_3 \\
 &= 0.10 \times 100 \\
 &= 10 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \text{ความกระด้างชั่วคราวของน้ำ} &= \frac{\text{น้ำหนัก CaCO}_3 \text{ (g)}}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (cm}^3\text{)}} \times 10^6 \\
 &= 10 \times 10^{-3} \times \frac{10^6}{25} \\
 &= 400 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

3. ความกระด้างถาวร (600 – 400 = 200 ppm)

หรือคำนวณได้ดังนี้ : ปริมาตร EDTA = 15 – 10 = 5 cm³

$$\begin{aligned}
 \text{m mol CaCO}_3 &= \text{m mol EDTA} \\
 &= \text{ปริมาตร EDTA (cm}^3\text{)} \times \text{ความเข้มข้น EDTA (m mol cm}^{-3}\text{)} \\
 &= 5 \times 0.01 \\
 &= 0.05 \text{ m mol} \\
 \text{น้ำหนัก CaCO}_3 \text{ (mg)} &= \text{m mol CaCO}_3 \times \text{M.W. CaCO}_3 \\
 &= 0.05 \times 100 \\
 &= 5 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{ความกระด้างถาวรของน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนัก CaCO}_3 \text{ (g)}}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (cm}^3\text{)}} \times 10^6$$

$$= 5 \times 10^{-3} \times \frac{10^6}{25}$$

$$= 200 \text{ ppm}$$

อุปกรณ์และสารเคมี

1. โถอบแห้ง
2. เครื่องชั่ง
3. ขวดเชิงปริมาตร
4. ปิเปตต์
5. ขวดรูปกรวย
6. บิวเรตต์
7. บีกเกอร์
8. ขาดัง
9. ตัวหนีบยึดบิวเรตต์
10. $\text{Na}_2\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
11. NH_4Cl
12. conc. NH_4OH
13. Eriochrome black T
14. น้ำกระด้าง

วิธีการทดลอง

1. การหาความกระด้างทั้งหมดของน้ำ

1) เตรียมสารละลายมาตรฐาน EDTA 0.01 mol dm^{-3} 250 cm^3

(1) อบเกลือไดโซเดียมของ EDTA ($\text{Na}_2\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ที่ 80°C เป็นเวลา 1–2 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถอบแห้ง (Desiccator) และปล่อยให้เย็นในภาชนะปิด

(2) ละลายเกลือไดโซเดียมของ EDTA 0.93 g ในน้ำกลั่น และทำให้มีปริมาตรเป็น 250 cm^3 ในขวดเชิงปริมาตร เก็บสารละลายไว้ในขวดโพลีเอทิลีน (อย่าเก็บไว้ในขวดแก้วเพราะ EDTA จะทำปฏิกิริยากับโลหะที่มีอยู่ในเนื้อแก้ว ความเข้มข้นของสารละลาย EDTA จะเปลี่ยนไป)

- 2) เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนีย – แอมโมเนียมคลอไรด์ pH 10 จำนวน 100 cm^3 ละลาย NH_4Cl 6.4 g ในน้ำกลั่น เติม conc. NH_4OH 57 cm^3 แล้วเติมน้ำจนมีปริมาตร 100 cm^3 (ควรเก็บสารละลายบัฟเฟอร์นี้ไว้ในขวดโพลีเอทิลีน)
- 3) เตรียมสารละลายอินดิเคเตอร์ Eriochrome black T 0.4% 50 cm^3 ละลาย Eriochrome black T 0.2 g ใน CH_3OH 50 cm^3
- 4) ปิเปตต์น้ำกระด้างที่ต้องการหาปริมาณ 25 cm^3 ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 cm^3 (ทำ 2 ครั้ง)
- 5) เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 (สารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนีย–แอมโมเนียมคลอไรด์) 10 cm^3
- 6) เติมสารละลายอินดิเคเตอร์ (Eriochrome black T) 5 หยด แล้วเขย่าให้เข้ากัน
- 7) นำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน EDTA จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินหมด
- 8) คำนวณหาความกระด้างทั้งหมดของน้ำในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีอยู่ในสารละลายในหน่วยส่วนในล้านส่วน (ppm)

2. การหาความกระด้างถาวรและความกระด้างชั่วคราวของน้ำ

- 1) ปิเปตต์น้ำตัวอย่าง 25 cm^3 ใส่ในบีกเกอร์ (ทำ 2 ครั้ง) ต้มให้เดือดเบา ๆ เป็นเวลา 10 – 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
- 2) กรองน้ำที่ต้มแล้วใส่ในขวดรูปกรวยแล้วเติมสารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนียแอมโมเนียมคลอไรด์ pH 10 จำนวน 10 cm^3
- 3) เติมสารละลายอินดิเคเตอร์ (Eriochrome black T) 5 หยด
- 4) ไทเทรตสารละลายที่ได้กับสารละลายมาตรฐาน EDTA เมื่อใกล้ถึงจุดยุติให้กวนสารละลายแล้วไทเทรตจนสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีน้ำเงิน แสดงว่าถึงจุดยุติแล้ว
- 5) คำนวณหาความกระด้างถาวรของน้ำ แล้วนำไปลบออกจากความกระด้างทั้งหมด ก็จะได้ความกระด้างชั่วคราวของน้ำ

รายงานผลการทดลอง
เรื่อง การหาความกระด้างของน้ำ

ผู้รายงาน.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....

ผู้ร่วมงาน 1.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....

2.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....

3.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....

วันที่ เดือน..... พ.ศ.

อาจารย์ผู้สอน

ผลการทดลอง

| ความกระด้างของน้ำ | ปริมาตรของน้ำกระด้าง (cm ³) | | ปริมาตรของ EDTA (cm ³) | |
|--------------------|---|------------|------------------------------------|------------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 |
| ความกระด้างทั้งหมด | 25 | 25 | ..... | ..... |
| ความกระด้างถาวร | 25 | 25 | ..... | ..... |

คำถาม

1. ความกระด้างทั้งหมด

1) ปริมาตรเฉลี่ยของ EDTA ที่ใช้..... cm³

2) ปริมาณเฉลี่ยของ CaCO₃ mg

3) ปริมาณเฉลี่ยของ CaCO₃ ppm

4) ค่าเฉลี่ยความกระด้างทั้งหมด ppm

.....

.....

.....

.....

.....

.....
.....

2. ความกระด้างถาวร

- 1) ปริมาตรเฉลี่ยของ EDTA ที่ใช้ cm^3
- 2) ปริมาณเฉลี่ยของ CaCO_3 mg
- 3) ปริมาณเฉลี่ยของ CaCO_3 ppm
- 4) ค่าเฉลี่ยความกระด้างถาวร ppm

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

3. ความกระด้างชั่วคราว

- ค่าเฉลี่ยความกระด้างทั้งหมด ppm
- ค่าเฉลี่ยความกระด้างถาวร ppm
- ค่าเฉลี่ยความกระด้างชั่วคราว ppm

วิจารณ์ผลการทดลอง

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

สรุปและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

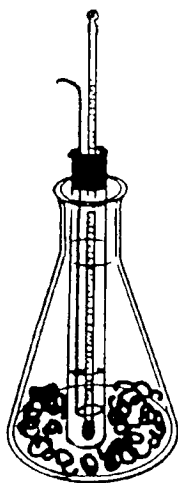
.....

5) คนสารละลายช้า ๆ และสม่ำเสมอ เริ่มจับเวลาและบันทึกอุณหภูมิทุก

10 วินาที

6) เมื่อสารเริ่มแข็งตัวให้หยุดคนสาร แต่อ่านอุณหภูมิต่อไปอีก 2–3 ค่า

7) นำอุณหภูมิและเวลามาพล็อตกราฟ เพื่อหาค่า T_f



การทำความสะอาดหลอดทดลอง เทอร์มอมิเตอร์และลวดสำหรับคนให้แช่หลอดทดลองที่ทดลองเสร็จแล้วในน้ำร้อน จนกว่าแนพทาลินหลอมเหลวหมด ดึงจุกยางพร้อมเทอร์มอมิเตอร์และลวดสำหรับคนออก เทของเหลวลงในภาชนะที่จัดให้อย่างรวดเร็ว (อย่าเทในอ่างน้ำจะทำให้ท่อน้ำอุดตัน)

นำเทอร์มอมิเตอร์และลวดสำหรับคนมาชูดแนพทาลินออก แล้วนำไปอังความร้อนเหนือแผ่นแอสเบสตอสประมาณ 5 นาที เพื่อช่วยให้ระเหิดออกไปให้หมด (ห้ามอังกับเปลวไฟเพราะจะติดไฟและมีเขม่าดำ)

2. การทำ Cooling curve ของสารละลาย

1) ใส่แนพทาลินประมาณ 10 g (ต้องชั่งให้แน่นอน) ในหลอดทดลองที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

2) ชั่งสารที่ต้องการหามวลเชิงโมเลกุลประมาณ 1 g (ต้องชั่งให้แน่นอน) ใส่ลงในหลอดทดลอง (ในที่นี้ใช้ยูเรีย)

3) ปิดด้วยจุกยางอย่างหลวม ๆ แล้วนำไปแช่ในน้ำร้อนที่ $90 - 100^{\circ}\text{C}$

4) ทำการทดลองขั้นต่อไปเช่นเดียวกับการหา Cooling curve ของตัวทำละลาย

5) นำอุณหภูมิและเวลามาพล็อตกราฟเพื่อหาค่า T_f

6) คำนวณหาค่ามวลเชิงโมเลกุลของสารตัวอย่างที่ให้

รายงานผลการทดลอง
เรื่อง การลดต่ำลงของจุดเยือกแข็ง

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

ผลการทดลอง

| สาร | ช่วงเวลา (s) | อุณหภูมิ(°C) |
|---------------------------------------|--------------|----------------|
| แนพทาไลน์ | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| สารละลายระหว่าง แนพทาไลน์กับยูเรีย | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

คำถาม

1. จงแสดง Cooling curve จากผลการทดลอง

2. จุดเยือกแข็งของเนพทาซีนบริสุทธิ์ และของผสมระหว่างเนพทาซีนกับยูเรีย

มีค่าเท่าไร

.....
.....

3. จงแสดงการคำนวณหามวลเชิงโมเลกุลของยูเรีย

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

วิจารณ์ผลการทดลอง

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

สรุปและข้อเสนอแนะ

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

การทดลองที่ 2.2 การสูงขึ้นของจุดเดือด (Boiling point elevation)

หลักการ

เนื่องจากสารละลายมีความดันไอน้อยกว่าตัวทำละลายบริสุทธิ์ จึงมีจุดเดือดสูงกว่าตัวทำละลายบริสุทธิ์

$$\begin{aligned}
 \text{ให้ } T_b &= \text{จุดเดือดของสารละลาย} \\
 T_b^\circ &= \text{จุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์} \\
 \Delta T_b &= T_b - T_b^\circ \\
 \text{แต่ } \Delta T_b &= (T_b - T_b^\circ) \propto m \\
 \text{หรือ } \Delta T_b &\propto m \\
 \therefore \Delta T_b &= K_b m \quad \dots (1) \\
 m &= \text{ความเข้มข้นของสารละลายเป็น Molality} \\
 K_b &= \text{Molal boiling point elevation constant เป็นค่าคงตัวของตัวทำละลายแต่ละชนิด มีหน่วยเป็น } ^\circ\text{C/m}
 \end{aligned}$$

หรือใช้สูตร

$$\begin{aligned}
 \Delta T_b &= K_b \frac{1000 W_2}{W_1 M_2} \quad \dots (2) \\
 W_1 &= \text{น้ำหนักของตัวทำละลาย} \\
 W_2 &= \text{น้ำหนักของตัวละลาย} \\
 M_2 &= \text{มวลเชิงโมเลกุลของตัวละลาย}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างค่า K_b ($^\circ\text{C/m}$) ของตัวทำละลายบางชนิดได้แก่ น้ำ = 0.52 เบนซีน = 2.53 เอทิลแอลกอฮอล์ = 1.22 คลอโรฟอร์ม = 3.63 แนพทาซีน = 5.65 และเฮกเซน = 3.43

ตัวอย่างการคำนวณ

สาร Y 1 g ละลายในน้ำ 100 g มีจุดเดือด 102°C จงหามวลเชิงโมเลกุลของ Y

วิธีทำ

$$\begin{aligned}
 \text{วิธีที่ 1 : } \Delta T_b &= K_b m \\
 (102 - 100)^\circ\text{C} &= \frac{0.52^\circ\text{C}}{\text{mol/kg}} \times \frac{1\text{g}}{\text{มวลเชิงโมเลกุล}} \times \frac{1}{0.1\text{kg}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลเชิงโมเลกุล} &= \frac{0.52}{2 \times 0.1} \text{ g mol}^{-1} \\ &= 2.6 \text{ g mol}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{วิธีที่ 2 : } \Delta T_b &= K_b \frac{1000W_2}{W_1M_2} \\ (102 - 100) ^\circ\text{C} &= \frac{0.52 \times 1000 \times 1}{100 \times M_2} \\ M_2 &= \frac{0.52 \times 1000}{100 \times 2} \\ &= 2.6 \text{ g mol}^{-1} \end{aligned}$$

อุปกรณ์และสารเคมี

1. หลอดทดลอง
2. บีกเกอร์
3. หลอดรูเล็ก
4. จุกยาง
5. เทอร์มอมิเตอร์
6. หลอดแก้วกลวง
7. ตะเกียงบุนเซน
8. ตะแกรงลวด
9. ขาดั่งและตัวหนีบยึด
10. เฮพเทน
11. สารตัวอย่าง (อาจใช้เฮกเซน, แนพทาลิน ฯลฯ)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักของหลอดทดลองขนาด $200 \times 25 \text{ mm}$ ที่สะอาดให้ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วเติมเฮพเทน 20 cm^3
2. จุ่มหลอดทดลองในบีกเกอร์ที่มีน้ำประมาณ $2/3$ ให้ของเหลวอยู่ใต้ระดับน้ำหนีบด้วยตัวหนีบยึดดังรูป

3. นำหลอดรูเล็กที่ปิดปลายสนิทด้านหนึ่งคว่ำลงในเฮฟเทน โดยปลายเปิดอยู่

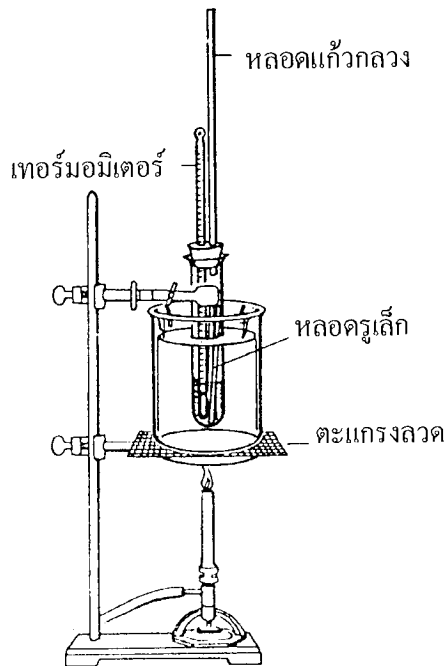
ด้านล่าง

4. ปิดปากหลอดทดลองด้วยจุกยางที่มีเทอร์มอมิเตอร์เสียบอยู่ให้อยู่ได้ระดับเฮฟเทน ส่วนอีกรูหนึ่งของจุกยางเสียบด้วยหลอดแก้วกลวงเพื่อเป็น Condenser โดยให้อยู่ต่ำกว่าจุกยางลงมาเล็กน้อย

5. ให้ความร้อนแก่น้ำในบีกเกอร์และคอยสังเกตปลายของหลอดรูเล็กซึ่งอยู่ใต้

เฮฟเทน

6. เมื่ออุณหภูมิใกล้ถึงจุดเดือดของเฮฟเทนจะมีฟองอากาศพุ่งออกมาจากปลายหลอดรูเล็ก และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงจุดเดือดของเฮฟเทนจะเห็นฟองอากาศพุ่งออกมาเป็นสายต่อเนื่องกัน ให้เอาตะเกียงออกทันที อัตราเร็วของฟองอากาศที่พุ่งออกมาจะค่อย ๆ ช้าลง ๆ จนเมื่อถึงจุดสุดท้ายเฮฟเทนจะเริ่มถูกดูดเข้าไปแทนที่อากาศในหลอดรูเล็ก รีบอ่านอุณหภูมินั้นทันที



7. นำหลอดทดลองออกจากบีกเกอร์และเอาหลอดรูเล็กออก เช็ดด้านนอกของหลอดทดลองให้แห้ง นำไปชั่ง

8. ละลายสารที่ต้องการหามวลเชิงโมเลกุลประมาณ 4 g ในเฮกเซนและนำไป
ชั่งน้ำหนัก
9. ทดลองหาจุดเดือดของสารละลายดังกล่าว โดยดำเนินการทดลองเหมือนเดิม แต่
เปลี่ยนใช้หลอดรูเล็กอันใหม่
10. จากน้ำหนักของเฮกเซน น้ำหนักของสารที่ต้องการหามวลเชิงโมเลกุลและ
จุดเดือดที่สูงขึ้น ก็สามารถคำนวณหามวลเชิงโมเลกุลของสารได้

รายงานผลการทดลอง
เรื่อง การสูงขึ้นของจุดเดือด

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

ผลการทดลอง

| รายการ | ข้อมูล |
|--|----------|
| น้ำหนักของหลอดทดลอง | ๕ |
| จุดเดือดของเฮฟเทน | °C |
| น้ำหนักของหลอดทดลอง + เฮฟเทน | ๕ |
| น้ำหนักของหลอดทดลอง + เฮฟเทน + สารตัวอย่าง | ๕ |
| จุดเดือดของของผสม | °C |
| น้ำหนักของเฮฟเทน | ๕ |
| น้ำหนักของสารตัวอย่าง | ๕ |
| จุดเดือดที่สูงขึ้น | °C |

คำถาม

1. จุดเดือดของเฮฟเทนเท่ากับเท่าไร
2. จุดเดือดของสารละลายระหว่างเฮฟเทนกับสารตัวอย่างเท่ากับเท่าไร
3. มวลเชิงโมเลกุลของสารตัวอย่างเท่ากับเท่าไร แสดงวิธีคำนวณด้วย

การทดลองที่ 3

การไทเทรตกรด – เบส

(Acid – Base Titration)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้เข้าใจหลักการไทเทรตกรด – เบส
2. เพื่อหาความเข้มข้นของ NaOH , HCl ที่ไม่ทราบความเข้มข้น
3. เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของกรดแอสซิติคในน้ำส้มสายชู

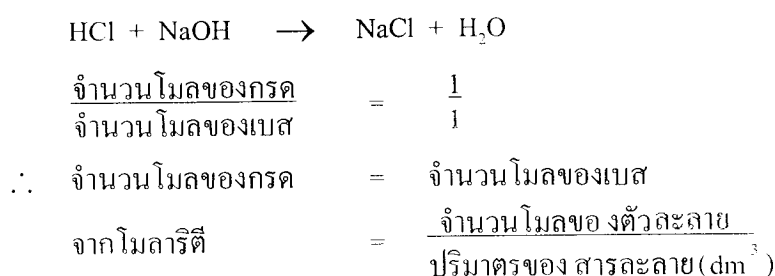
หลักการ

การไทเทรตระหว่างกรดกับเบสเป็นการนำกรดหรือเบสที่ยังไม่ทราบความเข้มข้นมาทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดหรือเบสที่ทราบความเข้มข้นแล้ว ซึ่งเรียกว่าสารละลายมาตรฐาน จุดที่กรดและเบสทำปฏิกิริยากันพอดี เรียกว่า จุดสมมูล ซึ่งจุดสมมูลของกรดและเบสแต่ละคู่จะมี pH ต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของกรดและเบสนั้น ๆ

ในการไทเทรตระหว่างกรดกับเบสนั้นเมื่อถึงจุดสมมูล จำนวนสมมูลของกรดจะเท่ากับจำนวนสมมูลของเบสซึ่งเป็นไปตามสูตรดังนี้

$$\begin{aligned} N_1 V_1 &= N_2 V_2 \\ N_1, N_2 &= \text{นอร์แมลิตีของสารละลายกรดหรือเบส} \\ V_1, V_2 &= \text{ปริมาตรของสารละลายกรดหรือเบส} \end{aligned}$$

การคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายกรดหรือเบส นอกจากจะใช้หน่วยนอร์แมลิตีแล้ว อาจใช้หน่วยโมลาริตีโดยคิดจากความสัมพันธ์ของจำนวน โมลของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน เช่น

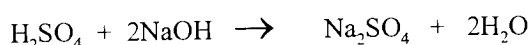


$$\text{จะได้ } M_a V_a = M_b V_b$$

M_a, M_b = โมลาริตีของสารละลายกรดและเบส ตามลำดับ

V_a, V_b = ปริมาตรของสารละลายกรดและเบส ตามลำดับ

แต่ถ้าจำนวนโมลของกรดไม่เท่ากับจำนวนโมลของเบส เช่น



จะได้

$$\frac{\text{จำนวนโมลของกรด}}{\text{จำนวนโมลของเบส}} = \frac{1}{2}$$

$$\therefore \text{จำนวนโมลของกรด} = \frac{1}{2} \text{จำนวนโมลของเบส}$$

$$\text{จะได้ } M_a V_a = \frac{1}{2} M_b V_b$$

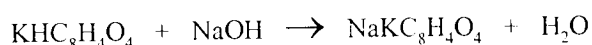
$$\text{หรือ } M_a V_a = x M_b V_b \quad (\text{เมื่อ } x = \frac{\text{จำนวนโมลของกรด}}{\text{จำนวนโมลของเบส}})$$

สำหรับอินดิเคเตอร์ที่ใช้ในการไทเทรต จะต้องเลือกอินดิเคเตอร์ที่มีช่วง pH ของการเปลี่ยนสีใกล้เคียงกับ pH ของสารละลายที่จุดสมมูลมากที่สุด

การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N

โซเดียมไฮดรอกไซด์มักเป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ และเนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารที่ดูดความชื้นได้ง่าย ดังนั้นขณะทำการชั่งมันจะดูดความชื้นได้ ทำให้น้ำหนักไม่แน่นอน ทำให้สารละลายมีความเข้มข้นไม่แน่นอน จึงต้องนำสารละลายที่เตรียมได้มาไทเทรตหาความเข้มข้นด้วยสารมาตรฐานปฐมภูมิ

สารมาตรฐานปฐมภูมิที่ใช้มีหลายตัว เช่น โพแทสเซียมไฮโดรเจนไอโอเดต ($\text{KH}(\text{IO}_3)_2$) กรดเบนโซอิก และโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) ซึ่งนิยมใช้มากที่สุด ปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เขียนได้ดังสมการ



สมบัติของโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต

โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลตเป็นของแข็งมีสูตรเคมีคือ $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ มีน้ำหนักโมเลกุล = 204.22 บางครั้งนิยมเขียนแทนด้วย KHP นิยมใช้ A.R.grade ซึ่งมีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.9% มีสมบัติเป็นกรดอ่อน สามารถใช้เป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ โดยการอบที่อุณหภูมิ 110°C ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น แล้วใส่ในโถอบเพื่อให้เย็นก่อนที่จะนำไปใช้

จุดยุติของการไทเทรตสารละลายที่ได้จะมีสมบัติเป็นเบสเพราะ KHP เป็นกรดอ่อน NaOH เป็นเบสแก่

ตัวอย่างของอินดิเคเตอร์ที่ใช้ ได้แก่

1. ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein) มีช่วง pH 8.3 – 10.0 เปลี่ยนสีจากไม่มีสีเป็นสีชมพู
2. ไทมอลบลู (Thymol blue) มีช่วง pH 8.0 – 9.6 เปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงิน

วิธีการคำนวณ

1. การคำนวณหาความเข้มข้นของ NaOH

สมมติว่าใช้ $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ 0.52 g ไทเทรตพอดีกับ NaOH 24.5 cm^3

$$\begin{aligned} \text{meq NaOH} &= \text{meq KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 \\ N_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} &= \frac{\text{g KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4}{\text{M.W.KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 / 1} \times 1000 \end{aligned}$$

$$N_{\text{NaOH}} \times 24.5 = \frac{0.52 \times 1000}{204.2}$$

$$N_{\text{NaOH}} = \frac{0.52 \times 1000}{204.2 \times 24.5}$$

$$N_{\text{NaOH}} = 0.1039$$

$$\therefore \text{ความเข้มข้นของ NaOH} = 0.1039 \text{ N}$$

2. การคำนวณหาความเข้มข้นของ HCl

สมมติว่าใช้ NaOH 20 cm^3 ไทเทรตพอดีกับ HCl 10 cm^3

$$\text{meq NaOH} = \text{meq HCl}$$

$$N_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} = N_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}}$$

$$\begin{aligned}
 0.1039 \times 20 &= N_{\text{HCl}} \times 10 \\
 N_{\text{HCl}} &= \frac{0.1039 \times 20}{10} \\
 N_{\text{HCl}} &= 0.2078 \\
 \therefore \text{ความเข้มข้นของ HCl} &= 0.2078 \text{ N}
 \end{aligned}$$

3. การคำนวณหาความเข้มข้นของกรดแอสิติกในน้ำส้มสายชู

น้ำส้มสายชูตัวอย่าง 10 cm^3 ทำปฏิกิริยาพอดีกับ NaOH 0.1039 N 18.5 cm^3

(M.W. $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 = 60$)

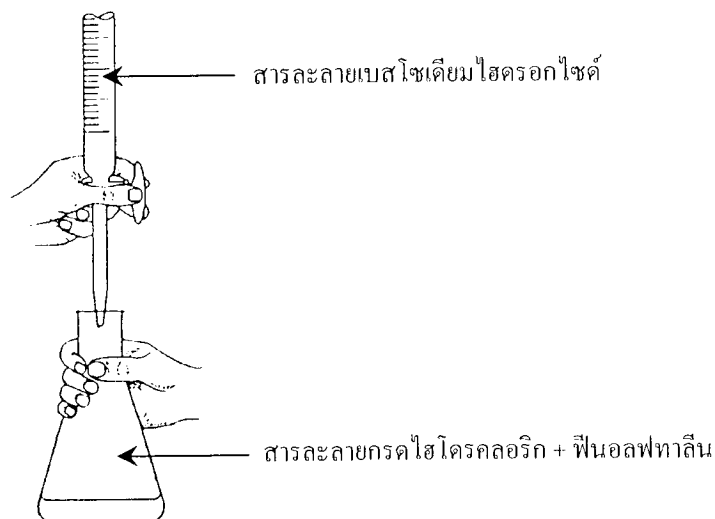
$$\begin{aligned}
 \text{meq NaOH} &= \text{meq HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \\
 N_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} &= \frac{\text{g HC}_2\text{H}_3\text{O}_2}{\text{M.W. HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 / 1} \times 1000 \\
 0.1039 \times 18.5 &= \frac{\text{g HC}_2\text{H}_3\text{O}_2}{60} \times 1000 \\
 \text{g HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 &= 0.1039 \times 18.5 \times \frac{60}{1000} \\
 \text{g HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 &= 0.1153 \\
 \% \text{ HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 &= 0.1153 \times \frac{100}{10} \\
 &= 1.153 \%
 \end{aligned}$$

อุปกรณ์และสารเคมี

1. เครื่องชั่ง
2. บีกเกอร์
3. ขวดรูปกรวย
4. ปิเปตต์
5. บิวเรตต์
6. NaOH
7. KHP
8. HCl
9. น้ำส้มสายชู
10. ฟีนอล์ฟทาลีน

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลาย NaOH (ความเข้มข้นประมาณ 0.1 N)
 - 1) ชั่ง NaOH 2 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1000 cm³
 - 2) เติมน้ำประมาณ 50 cm³ แล้วใช้แท่งแก้วคนจน NaOH ละลายหมด แล้วเจือจางด้วยน้ำจนได้ปริมาตร 500 cm³ คนให้สารละลายผสมกัน
2. หาคความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่เตรียมได้ในข้อ 1 โดยนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน KHP
 - 1) บรรจุสารละลาย NaOH จากข้อ 1 ลงในบิวเรตต์ขนาด 50 cm³ แล้วจดปริมาตรเริ่มต้นไว้
 - 2) ชั่ง KHP ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 0.5 g จำนวน 2 ตัวอย่างใส่ลงในขวดรูปกรวยอย่างละขวด พร้อมทั้งเติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 cm³ ในแต่ละขวด เขย่าจนสารละลายหมด ถ้าไม่ละลายให้นำไปอุ่นบน Water bath
 - 3) เติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์
 - 4) นำไปไทเทรตกับสารละลาย NaOH ที่เตรียมไว้ในข้อ 1 ที่จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน จดปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ แล้วทำการทดลองซ้ำอีกครั้งหนึ่ง
 - 5) คำนวณหาคความเข้มข้นของสารละลาย NaOH



การไทเทรต

3. หาความเข้มข้นของสารละลาย HCl ตัวอย่าง

- 1) บีบเปิดสารละลาย HCl 10 cm^3 ใสในขวดรูปกรวยขนาด 250 cm^3
- 2) เติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 หยด
- 3) ไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH จากบิวเรตต์จนถึงจุดยุติ
- 4) ทำซ้ำอีกครั้งหนึ่ง
- 5) คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย HCl

4. หาความเข้มข้นของกรดแอสติคในน้ำส้มสายชู

- 1) ใช้บีบเปิดขนาด 10 cm^3 ดูดสารละลายของน้ำส้มสายชูใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 cm^3 ขวดละ 10 cm^3 2 ขวด
- 2) เติมน้ำกลั่นลงในน้ำส้มสายชูขวดละ 10 cm^3 (สำหรับน้ำกลั่นให้ใช้กระบอกตวงวัดปริมาตร)
- 3) เติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 หยด
- 4) ไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH จากบิวเรตต์ เช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 2 และ 3 ทำซ้ำอีกครั้งหนึ่ง
- 5) คำนวณหาความเข้มข้นของกรดแอสติคในน้ำส้มสายชูเป็นกรัมในสารละลายตัวอย่าง 100 cm^3

รายงานผลการทดลอง
เรื่อง การไทเทรตกรด - เบส

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

ผลการทดลอง

1. การหาความเข้มข้นของสารละลาย NaOH

| การไทเทรต ครั้งที่ | น้ำหนักของ KHP (g) | ปริมาตรของสารละลาย NaOH (cm ³) |
|-----------------------|-----------------------|---|
| 1 | | |
| 2 | | |

2. การหาความเข้มข้นของสารละลาย HCl

| การไทเทรต ครั้งที่ | ปริมาตรของสารละลาย HCl (cm ³) | ปริมาตรของสารละลาย NaOH (cm ³) |
|-----------------------|--|---|
| 1 | 10 | ..... |
| 2 | 10 | ..... |

3. การหาความเข้มข้นของกรดแอสิติกในน้ำส้มสายชู

| การไทเทรต ครั้งที่ | ปริมาตรของ น้ำส้มสายชู (cm ³) | ปริมาตรของสารละลาย NaOH (cm ³) |
|-----------------------|--|---|
| 1 | 10 | ..... |
| 2 | 10 | ..... |

คำถาม

1. จงคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย NaOH

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

2. จงคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย HCl

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

3. จงคำนวณหาความเข้มข้นของน้ำส้มสายชูเป็นเปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร)

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

4. สารมาตรฐานปฐมภูมิคืออะไร

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

การทดลองที่ 4

จลนพลศาสตร์เคมี

(Chemical Kinetics)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสิ่งที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา
2. เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยา

หลักการ

จลนพลศาสตร์เคมีเป็นการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Rate of chemical reaction) และกลไกของปฏิกิริยา (Reaction mechanism) ซึ่งจะทำให้เข้าใจได้ทำไมบางปฏิกิริยาจึงเกิดช้า บางปฏิกิริยาจึงเกิดเร็ว รวมทั้งเข้าใจรายละเอียดและขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับตัวทำปฏิกิริยาจนถึงการเกิดผลปฏิกิริยา

อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับแฟกเตอร์หลายประการคือ

1. ธรรมชาติของตัวทำปฏิกิริยา
2. ความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยา
3. อุณหภูมิ
4. ตัวเร่งปฏิกิริยา
5. พื้นที่ผิวของตัวทำปฏิกิริยาหรือตัวเร่งปฏิกิริยา

กฎอัตราเป็นสมการซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยา เช่น ปฏิกิริยา $A + B \rightarrow C$ ถ้าให้ความเข้มข้นของ B คงตัว เพิ่มความเข้มข้นของ A เป็นสองเท่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เขียนได้ว่า

$$\text{rate} \propto [A]$$

ในทำนองเดียวกัน ถ้าให้ความเข้มข้นของ A คงตัว แล้วเพิ่มความเข้มข้นของ B เป็นสองเท่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า จะได้ว่า

$$\text{rate} \propto [B]$$

ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจึงเป็นปฏิภาคกับผลคูณของความเข้มข้นของ A และ B

$$\therefore \text{rate} \propto [A][B]$$

$$\text{หรือ rate} = k[A][B]$$

สมการนี้เรียกว่า กฎอัตรา (Rate law) ส่วนค่า k เรียกว่า ค่าคงตัวอัตรา (Rate constant)

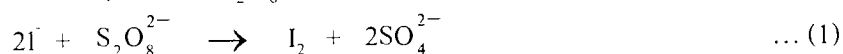
เราอาจเขียนกฎอัตราเป็นสมการรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$\text{rate} = k[A]^m[B]^n$$

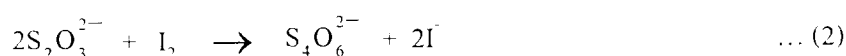
m และ n เป็นกำลังของความเข้มข้นของสาร ซึ่งหาได้จากการทดลองเท่านั้น ผลรวมของเลขชี้กำลังของความเข้มข้นในกฎอัตราเรียกว่า **อันดับรวมของปฏิกิริยา**

ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่มีผลต่ออัตราของปฏิกิริยา และหาอันดับของปฏิกิริยา โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่าง I^- กับ $S_2O_8^{2-}$ ซึ่งจะได้ I_2 กับ SO_4^{2-} I_2 ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับ $S_2O_3^{2-}$ ซึ่งใส่ลงไปในปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อยเกิดเป็น $S_4O_6^{2-}$ และ I^- เมื่อจำนวนของ $S_2O_3^{2-}$ ทั้งหมดในสารละลายทำปฏิกิริยาหมดไป I_2 ที่เหลืออยู่จะทำปฏิกิริยากับน้ำแป้งทันทีได้สีน้ำเงินของสารประกอบเชิงซ้อนของน้ำแป้งไอโอดีน (Starch - iodine complex) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแต่ละขั้นเป็นดังนี้

ขั้นที่ 1 I^- ทำปฏิกิริยากับ $S_2O_8^{2-}$ (Peroxydisulfate ion)



ขั้นที่ 2 ไอโอดีนที่เกิดขึ้นไปออกซิไดส์ $S_2O_3^{2-}$ (Thiosulfate ion) อย่างรวดเร็ว



ขั้นที่ 3 เมื่อจำนวนที่แน่นอนของ $S_2O_3^{2-}$ หมดไป I_2 ที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับน้ำแป้งทันที

ดังนั้นในการวัดอัตราของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสมการที่ (1) ก็คือ วัดช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มทำปฏิกิริยาจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้ม

จากสมการที่ (2) จะเห็นว่า ถ้าในสารละลายยังคงมี $S_2O_3^{2-}$ อยู่ I_2 ที่เป็นอิสระจะไม่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงใช้ $S_2O_3^{2-}$ เพียงเล็กน้อย แต่รู้ปริมาณที่แน่นอน ซึ่งเมื่อถูกใช้หมดไปในปฏิกิริยา จะทำให้เหลือ I_2 ที่เป็นอิสระมาทำปฏิกิริยากับน้ำแป้งทันที

จากสมการ (1) เขียนสมการของกฎอัตราได้ว่า

$$\text{rate} = -\frac{d[S_2O_8^{2-}]}{dt} = k[I^-]^n[S_2O_8^{2-}]^m$$

t เป็นเวลาที่ใช้ในการผสมสารละลายเข้าด้วยกันจนเกิดสีน้ำเงิน

แบบบันทึกผลคะแนนประเมินบทปฏิบัติการ (สำหรับนักศึกษา)

คำชี้แจง : หลังจากนักศึกษาเรียนจบบทเรียนนี้แล้ว โปรดแสดงความคิดเห็นโดยทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุดเพียงช่องเดียว

| หัวข้อ | ระดับความคิดเห็น | | | | | |
|--|------------------|---|---|---|---|-----------|
| | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | \bar{X} |
| 1. วัตถุประสงค์ของบทปฏิบัติการ ชัดเจน เข้าใจง่าย | | | | | | |
| 2. ขั้นตอนในการใช้บทปฏิบัติการบอกไว้ชัดเจน | | | | | | |
| 3. ท่านมีโอกาสใช้เครื่องมือในการทดลอง | | | | | | |
| 4. ท่านเกิดความสุขเพลิดเพลินกับการทดลอง | | | | | | |
| 5. บทปฏิบัติการนี้ช่วยให้ท่านเกิดการเรียนรู้ อย่างใช้ความคิดและเหตุผล | | | | | | |
| 6. การนำเสนอเนื้อหาว่าง่าย กระชับ และชัดเจนดี | | | | | | |
| 7. ท่านเข้าใจเนื้อหาที่เสนอไว้ในบทปฏิบัติการนี้ดี | | | | | | |
| 8. เนื้อหาไม่ยากเกินไป | | | | | | |
| 9. เนื้อหาไม่ยาวเกินไป | | | | | | |
| 10. ศัพท์ที่ใช้ไม่ยากเกินไป | | | | | | |
| 11. รูปภาพประกอบช่วยให้ท่านเกิดความเข้าใจ ดียิ่งขึ้น | | | | | | |
| 12. คำถามที่ใช้เข้าใจง่ายและสามารถหาคำตอบได้ | | | | | | |
| 13. คำสั่งหรือคำชี้แจงในบทปฏิบัติการเข้าใจง่าย และท่านปฏิบัติได้ | | | | | | |
| 14. เวลาที่กำหนดให้พอดี ไม่มากหรือน้อยเกินไป | | | | | | |
| 15. แบบวัดผลด้วยตนเองเหมาะสม | | | | | | |

หมายเหตุ :

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

ภาคผนวก ค
บทปฏิบัติการวิชาเคมีทั่วไป 1

การทดลองที่ 1

การแยกสารผสม

(Separating Components of Mixture)

วัตถุประสงค์

- เพื่อแยกสารผสมออกจากกันโดยวิธีการกลั่น
- เพื่อแยกสารผสมออกจากกันโดยวิธีโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ
- เพื่อแยกสารผสมออกจากกันโดยวิธีโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง

บทนำ

สารที่พบในธรรมชาติหรือที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการเป็นจำนวนมากจะไม่บริสุทธิ์คืออยู่ในรูปของสารผสม ดังนั้นจึงต้องหาวิธีในการแยกสารผสมออกจากกันเพื่อให้ได้สารบริสุทธิ์ตามต้องการ การแยกสารผสมทำได้หลายวิธี เช่น การกรอง การกลั่น การตกผลึก การสกัดด้วยตัวทำละลายโครมาโทกราฟีและวิธีอื่นๆ อีกหลายวิธี ในการทดลองนี้จะกล่าวเฉพาะบางวิธีที่ทำกันเป็นประจำในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

การทดลองที่ 1.1 การกลั่น (Distillation)

หลักการ

การกลั่นเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไปในการแยกสารผสมที่เป็นของเหลวหรือสารละลายที่มีสารระเหยยากเป็นตัวละลาย การกลั่นใช้หลักการกลายเป็นไอ (Vaporization) และการควบแน่น (Condensation) ซึ่งเมื่อให้ความร้อนกับของเหลวหรือสารละลายดังกล่าว สารที่กลายเป็นไอดีง่ายก็จะระเหยกลายเป็นไอ เมื่อไอเย็นลงจะควบแน่น (Condense) กลับเป็นของเหลว ส่วนสารที่กลายเป็นไอดียากก็จะเหลืออยู่ในภาชนะ สารต่างชนิดกันที่มีจุดเดือดต่างกันตั้งแต่ 80°C ขึ้นไปจะใช้วิธีการกลั่นแบบธรรมดา แต่ถ้าจุดเดือดของสารใกล้เคียงกันมาก จะใช้การกลั่นแบบธรรมดาไม่ได้ เช่น สารละลายของเกลือแกงกับน้ำจะใช้วิธีกลั่นแบบธรรมดา น้ำเป็นสารที่กลายเป็นไอดีง่ายกว่าเกลือแกง ก็จะระเหยกลายเป็นไอออกมา ส่วนเกลือแกงเป็นสารที่

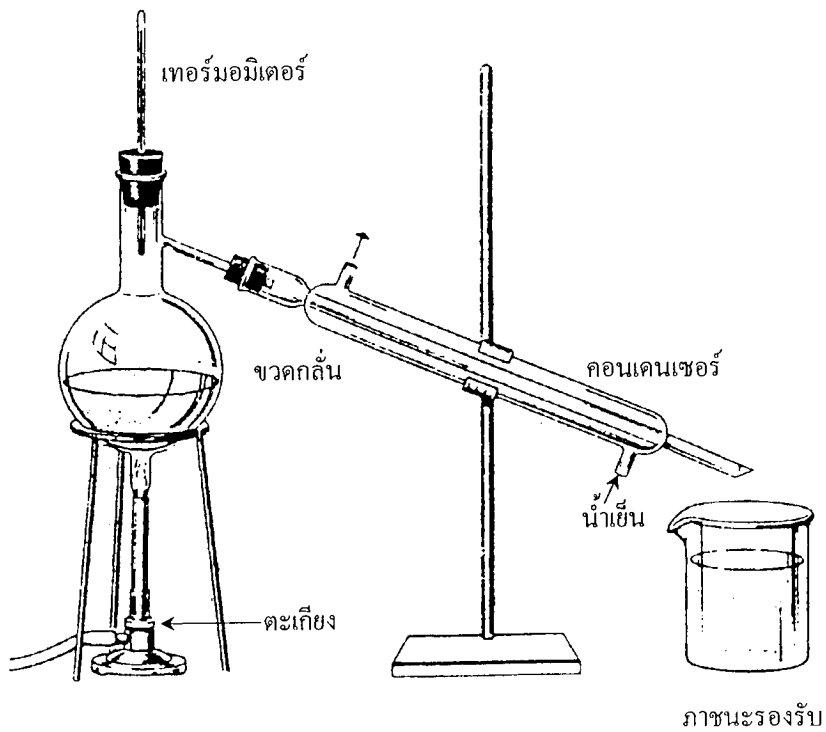
กลายเป็นไอยาก จะไม่ถูกกลั่น ยังคงเหลืออยู่ในภาชนะ ส่วนสารละลายที่ประกอบด้วยสารที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกัน เช่น เพนเทน (Pentane) และเฮกเซน (Hexane) จะใช้วิธีการกลั่นแยกลำดับส่วน (Fractional distillation)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ขวดกลั่น
2. เครื่องควบแน่น
3. กระจบอดดวง
4. ตะเกียงนูนเซน
5. หลอดทดลอง
6. เทอร์มอมิเตอร์
7. ขาดังพร้อมตัวหนีบยึด
8. ตะแกรงลาวด
9. ตัวหนีบยึดวงแหวน
10. เศษกระเบื้องเคลือบ
11. Succinic acid
12. Ethyl alcohol
13. Methyl red

วิธีการทดลอง

1. ละลาย Succinic acid 1 g กับ Ethyl alcohol 20 cm³ ในปิกเกอร์ขนาด 250 cm³ แล้วเติมน้ำ 80 cm³
2. เทสารละลายลงในขวดกลั่น (Distilling flask) แล้วใส่ Methyl red 3 – 4 หยด เขย่าเบา ๆ ให้เข้ากัน (ปริมาตรของสารละลายต้องไม่เกิน 2/3 ของปริมาตรของขวดกลั่น) ใส่ เศษแก้วหรือเศษกระเบื้องเคลือบชิ้นเล็ก ๆ 2 – 3 ชิ้น เพื่อเป็นชิ้นกันเดือดพลุ่ง (Boiling chip)
3. ติดตั้งเครื่องมือตามรูป แล้วเปิดน้ำผ่านเครื่องควบแน่นช้า ๆ



4. ให้ความร้อนเบา ๆ ด้วยตะเกียงเบนเซน (ถ้าใช้ความร้อนรุนแรงมาก Succinic acid อาจสลายตัวได้) บันทึกอุณหภูมิเมื่อเริ่มมีของเหลวหยดออกมาโดยเก็บของเหลวใส่หลอดทดลองไว้

5. เปลี่ยนหลอดทดลองทุกระยะของอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป 10°C จนกระทั่งถึง $98 - 100^{\circ}\text{C}$

6. หยด Methyl red 2 หยด ลงในของเหลวที่กลั่นได้ ซึ่งอยู่ในหลอดทดลองแต่ละหลอด สังเกตสี

รายงานผลการทดลอง

เรื่อง การกลั่น

ผู้รายงาน.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....

ผู้ร่วมงาน 1.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....

2.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....

3.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....

วันที่ เดือน..... พ.ศ.

อาจารย์ผู้สอน

ผลการทดลอง

| ช่วงอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) | ลักษณะของเหลว ที่กลั่นได้ | สีหลังจากหยด Methyl red |
|--|------------------------------|----------------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

คำถาม

1. สารที่กลั่นได้มีอะไรบ้าง
2. สารใดกลั่นได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า
3. สารใดกลั่นได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า

การทดลองที่ 1.2 โครมาโทกราฟีแบบกระดาษ (Paper chromatography)

หลักการ

โครมาโทกราฟีเป็นวิธีการแยกสาร พิสูจน์สารหรือทำสารให้บริสุทธิ์ โดยอาศัยความแตกต่างในการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลของสารที่ผสมรวมกันอยู่เมื่อให้ไหลซึมผ่านไปในตัวกลางที่เหมาะสม

หลักการของโครมาโทกราฟีเกี่ยวข้องกับการแจกจ่าย (Distribution) ของสารระหว่างสองวัฏภาคคือวัฏภาคคงที่ (Stationary phase) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่กับที่อาจเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ อีกส่วนหนึ่งเป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase) ซึ่งได้แก่ของเหลวหรือแก๊สที่ทำหน้าที่ชะแยกสารออกจากวัฏภาคคงที่จากปลายด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง สารต่าง ๆ ที่ผสมรวมกันอยู่แยกออกจากกันได้ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงแตกต่างกันหรือมีการแจกจ่ายไปในระหว่างวัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่ได้ไม่เท่ากัน

โครมาโทกราฟีแบบกระดาษเป็นวิธีการนำสารผสมที่ต้องการแยกออกจากกัน ไปจุด (Spot) ลงบนกระดาษโครมาโทกราฟีแล้วให้ตัวทำละลายซึมผ่าน ขณะที่ตัวทำละลายซึมผ่านนั้นจะพาสารต่าง ๆ ในสารผสมให้เคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วไม่เท่ากัน สารใดละลายในวัฏภาคเคลื่อนที่ได้ดีกว่าละลายในวัฏภาคคงที่ (น้ำในกระดาษโครมาโทกราฟี) ก็จะเคลื่อนที่ได้เร็วหรือดีกว่าสารชนิดที่ละลายในวัฏภาคคงที่ได้ดี อัตราส่วนระหว่างระยะทางที่สารเคลื่อนที่ไปได้ต่อระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ไปเรียกว่า ค่า R_f หรือ Rate of flow

$$R_f = \frac{\text{ระยะทางที่สารเคลื่อนที่}}{\text{ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่}}$$

ค่า R_f ของสารชนิดหนึ่งจะเป็นค่าคงตัวที่ภาวะการทดลองอย่างเดียวกันในการแยกสาร โดยวิธีนี้ ถ้าสารที่แยกออกเป็นสารที่มีสี ก็จะสามารถทราบตำแหน่งของสารนั้นที่ถูกตัวทำละลายพาไปบนกระดาษโครมาโทกราฟีได้ แต่ถ้าสารที่แยกออกเป็นสารที่ไม่มีสีก็ใช้วิธีการฉีดหรือพ่นน้ำยาหรือสารละลายที่ทำปฏิกิริยากับสารนั้น ๆ แล้วเกิดเป็นสารมีสีขึ้นหรือบางชนิดอาจใช้วิธีการทางกายภาพอื่น ๆ เช่น ส่องดูด้วยแสงอัลตราไวโอเลตหรือยูวีแลมป์ (UV lamp) เป็นต้น

อุปกรณ์และสารเคมี

1. บีกเกอร์
2. แผ่นแก้ว
3. กระดาษโครมาโทกราฟี
4. n-Butanol
5. Glacial acetic acid
6. หมึกสีดำ น้ำเงิน แดง เขียว

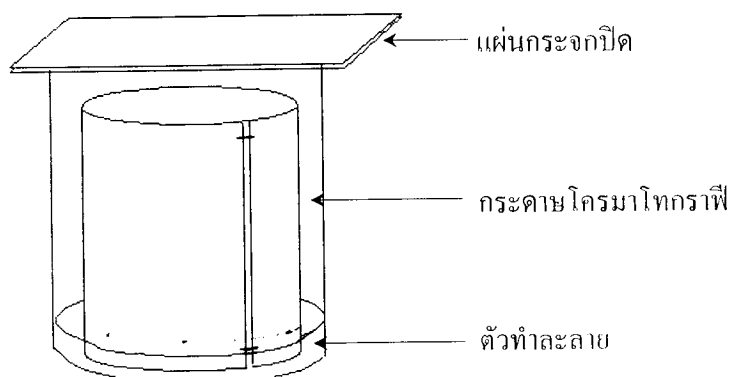
วิธีการทดลอง

1. ใส่ตัวทำละลาย (n-Butanol : Glacial acetic acid : H₂O = 60 : 15 : 25 โดยปริมาตร) ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 cm³ ให้ตัวทำละลายสูงจากก้นภาชนะเพียง 2 cm แล้วใช้แผ่นแก้วปิดไว้ดังรูป

2. ตัดกระดาษโครมาโทกราฟีขนาด 20 × 25 cm แล้วใช้ดินสอดำ (ห้ามใช้หมึก) จีดเส้นตามความยาวของกระดาษโครมาโทกราฟีให้ห่างจากขอบล่าง 2.5 cm ใช้ดินสอดำจุดเบา ๆ ให้ห่างกันพอสมควร 5 จุด

3. จุดหมึกแต่ละสีตามลำดับคือ สีดำ สีน้ำเงิน สีแดง สีเขียว และจุดสุดท้ายเป็นสีผสมของ 2 สีใน 4 สี

4. ม้วนกระดาษเข้าหากันให้ขอบทั้งสองห่างกันเล็กน้อย แล้วยึดด้วยที่เย็บกระดาษ จากนั้นนำไปวางในบีกเกอร์ที่บรรจุตัวทำละลายไว้แล้ว (อย่าให้เอียงและแตะกับบีกเกอร์) ทิ้งไว้จนตัวทำละลายเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งที่ต้องการหรือทำเครื่องหมายไว้



5. นำกระดาษโครมาโทกราฟีออกจากบีกเกอร์ แล้วใช้ดินสอดำทำเครื่องหมายตรงตำแหน่งที่ตัวทำละลายซึมขึ้นไปสูงสุด

6. คึงลวดเย็บกระดาษออก คลี่แผ่นกระดาษโครมาโทกราฟี แล้วทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศ ใช้ดินสอดำวงเบา ๆ รอบจุดต่าง ๆ ที่ปรากฏบนกระดาษโครมาโทกราฟี

7. หาค่า R_f ของส่วนประกอบในหมึกสีต่าง ๆ และหาว่าสีผสมมีส่วนประกอบเหมือนในหมึกสีอะไรบ้าง นำกระดาษโครมาโทกราฟีที่แยกหมึกสีต่าง ๆ เสร็จแล้วแนบส่งพร้อมกับรายงาน

รายงานผลการทดลอง เรื่อง โครมาโทกราฟีแบบกระดาษ

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

ผลการทดลอง

การแยกหมึกสีต่างๆ

ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่สูงสุด cm

| สาร | ส่วนประกอบ ของหมึกสีต่างๆ | ระยะทางจากจุดเริ่มต้น ถึงจุดกึ่งกลางของสาร (cm) | R_f |
|---------------|------------------------------|--|-------|
| หมึกสีดำ | | | |
| หมึกสีน้ำเงิน | | | |
| หมึกสีแดง | | | |
| หมึกสีเขียว | | | |
| หมึกสีผสม | | | |

คำถาม

1. หมึกสีใดประกอบด้วยส่วนประกอบของสีมากที่สุด
2. ค่า R_f คืออะไร มีประโยชน์อย่างไร
3. หมึกสีผสมประกอบด้วยหมึกสีใดบ้าง

.....

การทดลองที่ 1.3 โครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง (Thin - layer chromatography)

หลักการ

โครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง หรือ TLC จะใช้ตัวดูดซับที่เป็นของแข็งฉาบเป็นแผ่นบาง ๆ บนแผ่นแก้วหรือแผ่นกระจก แผ่นแก้วหรือแผ่นกระจกที่มีผงตัวดูดเกาะฉาบติดอยู่เรียกว่า Chromatoplate หรือ Chromatographic plate สารที่เป็นตัวดูดซับได้แก่ เซลลูโลส ซิลิกาเจล โพลีเอไมด์ ฯลฯ Chromatoplate ที่ได้จะต้องผึ่งหรืออบให้แห้ง จากนั้นจึงนำสารผสมที่ต้องการแยกมาจุดบน Chromatoplate ให้ใกล้ปลายข้างหนึ่ง ปล่อยให้ตัวทำละลายในสารผสมที่จุดไว้ระเหยไป แล้วนำ Chromatoplate ไปใส่ไว้ในภาชนะที่มีตัวทำละลายชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดผสมกัน โดยให้ระดับของตัวทำละลายอยู่ต่ำกว่าจุดของสาร ตัวทำละลายจะค่อย ๆ ซึมผ่านตัวดูดซับที่ฉาบติดไว้ขึ้นไป และพาเอาสารต่าง ๆ ในสารผสมที่ต้องการจะแยกขึ้นไปด้วย ถ้าเป็นสารมีสีในตัวของมันเองก็สามารถวัดระยะทางที่สารนั้นถูกตัวทำละลายพาเคลื่อนที่ไป เมื่อนำมาคำนวณหาค่า R_f ก็จะทราบชนิดของสารได้ แต่ถ้าสารที่ถูกแยกออกเป็นสารที่ไม่มีสีก็อาจอาศัยการเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสารมีสีระหว่างสารที่แยกออกจากสารละลายอื่น ๆ โดยนำน้ำยาหรือสารละลายนั้นมาฉีดให้เป็นฝอยลงบน Chromatoplate สารนั้นจะทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารมีสีขึ้น หรือใช้วิธีนำตัวดูดซับไปชุบด้วยสารที่มีสมบัติเรืองแสงก่อน เมื่อฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตไปบน Chromatoplate ที่มีสารที่แยกได้จะได้จุดสีดำมืดตรงตำแหน่งที่มีสารที่แยกได้อยู่ และสารบางชนิดจะมีสมบัติเป็นสารเรืองแสงได้ตามธรรมชาติเอง เมื่อถูกกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะปรากฏสีลูกลูวขึ้นทันที นอกจากนั้นอาจนำ Chromatoplate ที่มีสารที่แยกได้ซึ่งทำให้แห้งแล้วไปอังรับไอของไอโอดีน สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะเกิดปฏิกิริยากับไอโอดีนได้ซึ่งจะปรากฏจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้น

อุปกรณ์และสารเคมี

1. บีกเกอร์
2. หลอดรูเล็ก
3. แผ่นกระจกขนาด 5×10 cm
4. Phenol
5. Catechol

6. Resorcinol
7. Pyrogallol
8. Ethanol
9. I₂

วิธีการทดลอง

1. การเตรียม Thin layer chromatoplate

- 1) ล้างแผ่นกระจก ขนาด 5×10 cm ให้สะอาดและนำไปอบให้แห้ง
- 2) ชั่งผงตัวดูด Silica gel 35.0 g ผสมรวมกับ Chloroform และ Methanol (2 : 1 โดยปริมาตร) 100 cm³ ในบีกเกอร์ คนให้เข้ากันแล้วเทใส่ในภาชนะที่มีขนาดพอที่จะนำแผ่นกระจกวางลงเพื่อเคลือบสารได้
- 3) นำแผ่นกระจก 2 แผ่นประกบกันให้สนิท แล้วนำไปจุ่มในของผสมที่ใช้เป็นตัวดูดซับจนมิด ดึงขึ้นและแยกแผ่นกระจกออกจากกัน ผึ่งให้แห้ง แล้วนำไปอบให้ร้อนในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 °C ประมาณ 10 นาที

2. การเตรียมสารตัวอย่าง

ผสมสารตัวอย่างแต่ละชนิดใน Ethanol ให้ได้สารละลายเข้มข้น 6% (น้ำหนัก/ปริมาตร) สารตัวอย่างที่ใช้ได้แก่ Phenol, Catechol, Resorcinol และ Pyrogallol

3. การแยกสาร

- 1) นำดินสอดำขีดเส้นเบา ๆ (Starting line) บน chromatoplate ห่างจากปลายล่าง 1 cm
- 2) นำหลอดรูเล็กที่ตั้งปลายแหลมจุ่มสารตัวอย่างแล้วนำมาจุดเป็นจุดเล็ก ๆ บน Starting line เรียงตามลำดับดังนี้ Phenol, Catechol, Resorcinol, Pyrogallol และจุดสุดท้ายเป็นสารผสมทั้ง 4 ชนิด (หลอดรูเล็กที่ใช้ต้องไม่ซ้ำกัน)
- 3) นำไปตั้งในบีกเกอร์ที่มี Developing solvent (Benzene : Methanol = 95 : 5 โดยปริมาตร)
- 4) เมื่อตัวทำละลายซึมผ่านขึ้นไปจนถึงระยะที่กำหนดไว้แล้วจึงหยุดแล้ววัดระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ไป จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง

5) เมื่อแห้งแล้วนำไปตั้งไว้ในบีกเกอร์ที่มีเกลือไอโอดีนขนาดเล็ก 1 - 2 เกล็ด ปิดด้วยแผ่นกระจกแล้วนำไปตั้งบน Hot plate สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะเกิดปฏิกิริยากับไอโอดีนได้ ซึ่งจะปรากฏจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้น

6) นำออกมาวัดระยะทางที่สารตัวอย่างเคลื่อนที่และหาค่า R_f

รายงานผลการทดลอง
เรื่อง โครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง

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

ผลการทดลอง

ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่สูงสุด cm

| สารประกอบ | R_f จากทฤษฎี | R_f จากการทดลอง |
|------------|----------------|-------------------|
| Phenol | 0.84 | ..... |
| Catechol | 0.72 | ..... |
| Resorcinol | 0.77 | ..... |
| Pyrogallol | 0.53 | ..... |

คำถาม

1. TLC คืออะไร
2. TLC มีข้อดีกว่า Paper chromatography อย่างไร
3. Chromatoplate คืออะไร
4. สารประกอบใดมี R_f สูงสุด และต่ำสุด

.....

การทดลองที่ 2

สมบัติคอลลิเกทีฟ

(Colligative Property)

วัตถุประสงค์

- เพื่อทดลองหาจุดเยือกแข็งที่ลดต่ำลงของสารละลาย
- เพื่อทดลองหาจุดเดือดที่สูงขึ้นของสารละลาย
- เพื่อคำนวณหามวลเชิงโมเลกุลของตัวละลายโดยใช้ค่าจุดเยือกแข็งที่ลดต่ำลงหรือจุดเดือดที่สูงขึ้นของสารละลาย

บทนำ

สมบัติคอลลิเกทีฟเป็นสมบัติที่ขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคหรือจำนวนโมเลกุลของตัวละลายในสารละลาย ไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของสาร ไม่สัมพันธ์กับโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของสาร สมบัติคอลลิเกทีฟมีประโยชน์ในการคำนวณหามวลเชิงโมเลกุลของตัวละลาย สมบัติคอลลิเกทีฟได้แก่ การลดต่ำลงของความดันไอ การลดต่ำลงของจุดเยือกแข็ง การสูงขึ้นของจุดเดือดและความดันออสโมซิส

การทดลองที่ 2.1 การลดต่ำลงของจุดเยือกแข็ง (Freezing Point Depression)

หลักการ

สารละลายที่มีตัวละลายเป็นสารที่ไม่ระเหย ความดันไอของสารละลายจะน้อยกว่าความดันไอของตัวทำละลายบริสุทธิ์ จุดเยือกแข็งของสารละลายจึงต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์ จุดเยือกแข็งจะลดต่ำลงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวละลายที่มีอยู่ด้วย

ถ้าให้ T_f° เป็นจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์

T_f เป็นจุดเยือกแข็งของสารละลาย

$$\Delta T_f = T_f^\circ - T_f$$

ดังนั้น $\Delta T_f \propto m$
 $\Delta T_f = K_f m \quad \dots(1)$
 $m =$ ความเข้มข้นของสารละลายเป็น Molality
 $K_f =$ Molal freezing point depression constant เป็นค่าคงตัวของตัวทำละลายแต่ละชนิด มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}/m$

หรือใช้สูตร

$$\Delta T_f = K_f \frac{1000W_2}{W_1M_2} \quad \dots(2)$$

$W_1 =$ น้ำหนักของตัวทำละลาย
 $W_2 =$ น้ำหนักของตัวละลาย
 $M_2 =$ มวลเชิงโมเลกุลของตัวละลาย

ตัวอย่างค่า K_f ($^{\circ}\text{C}/m$) ของตัวทำละลายบางชนิดเช่น น้ำ = 1.86 เบนซีน = 5.12 เอทิลแอลกอฮอล์ = 1.99 และเนพทาลิน = 6.9

ตัวอย่างการคำนวณ

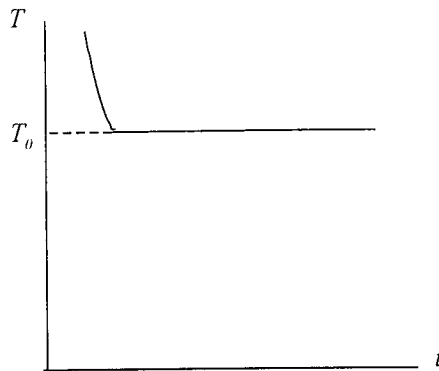
สาร X 1 g ละลายในน้ำ 100 g มีจุดเยือกแข็ง -2°C X มีมวลเชิงโมเลกุลเท่าไร

วิธีทำ

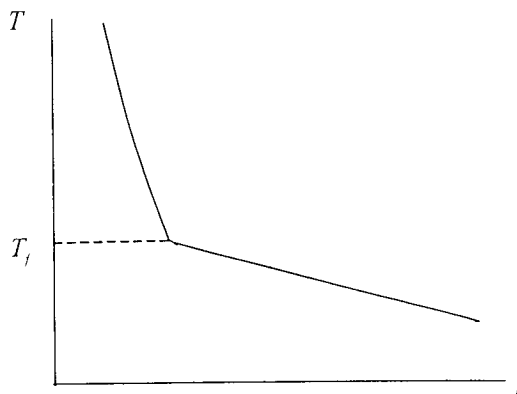
วิธีที่ 1 : $\Delta T_f = K_f m$
 $0 - (-2)^{\circ}\text{C} = \frac{1.86^{\circ}\text{C}}{\text{mol/kg}} \times \frac{1\text{g}}{\text{มวลเชิงโมเลกุล}} \times \frac{1}{0.1\text{kg}}$
 มวลเชิงโมเลกุล = $\frac{1.86}{2 \times 0.1} \text{ g mol}^{-1}$
 $= 9.3 \text{ g mol}^{-1}$

วิธีที่ 2 : $\Delta T_f = K_f \frac{1000W_2}{W_1M_2}$
 $0 - (-2) = \frac{1.86 \times 1000 \times 1}{100 \times M_2}$
 $M_2 = \frac{1.86 \times 1000}{100 \times 2}$
 $= 9.3 \text{ g mol}^{-1}$

เราสามารถอ่านจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์และสารละลายได้จาก Cooling curve การทำ Cooling curve ของของเหลวบริสุทธิ์ทำได้โดยให้ของเหลวกลายเป็นไอ แล้วปล่อยให้อุณหภูมิของไอลดลงจนกระทั่งไอควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งอนุภาคของสารมีความเป็นระเบียบมากขึ้น พลังงานศักย์จะลดลง ระบบจึงคายความร้อนออกมา ดังนั้นอุณหภูมิของระบบจึงมีค่าคงที่ตลอดช่วงของการควบแน่น และคงที่ในช่วงที่ของเหลวกลายเป็นของแข็งด้วย เช่นเดียวกัน เขียน Cooling curve ได้ดังนี้



ส่วนสารละลายจะมี Cooling curve ไม่เป็นเส้นตรงขนานกับแกน X เหมือน Cooling curve ของตัวทำละลายบริสุทธิ์แต่จะค่อย ๆ ลดลง เพราะขณะที่สารละลายเริ่มแข็งตัวนั้น ส่วนที่แข็งตัวก่อนคือตัวทำละลายซึ่งจะแยกตัวออกไป ทำให้สารละลายส่วนที่เหลือมีความเข้มข้นมากขึ้น เป็นเหตุให้จุดเยือกแข็งลดต่ำลงเรื่อย ๆ



ในการทดลองอาจมีปรากฏการณ์ที่เรียกว่าการเย็นยวดยิ่ง (Supercooling) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความร้อนถูกดึงออกจากสารอาจเป็นของเหลวบริสุทธิ์หรือสารละลายอย่างรวดเร็วจนโมเลกุลของสารไม่มีเวลาเพียงพอในการจัดตัวให้เป็นระเบียบ สารที่เย็นยวดยิ่งจะไม่เสถียร เพียงการรบกวนเล็กน้อย เช่น คนเบาๆ หรือเติมผลึกเล็กๆ ของสารอื่นลงไป ก็จะแข็งตัวอย่างรวดเร็วได้ เราอาจป้องกันการเกิดการเย็นยวดยิ่งโดยคนสารตลอดเวลา

อุปกรณ์และสารเคมี

1. หลอดทดลอง
2. บีกเกอร์
3. เทอร์มอมิเตอร์
4. ขาดั่งพร้อมตัวหนีบยึด
5. ตะเกียงบุนเซน
6. จุกยาง
7. ขวดรูปกรวย
8. แนพทาลีน
9. ยูเรีย (หรือสารอื่นที่ต้องการหามวลเชิงโมเลกุล)

วิธีการทดลอง

1. การทำ Cooling curve ของตัวทำละลาย

- 1) ใส่นาพทาลีนประมาณ 5 g ลงในหลอดทดลองที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
- 2) ปิดหลอดทดลองด้วยจุกยางอย่างหลวม ๆ แล้วนำไปแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ $90 - 100^{\circ}\text{C}$
- 3) เมื่อแนพทาลีนส่วนใหญ่หลอมเหลวหมดแล้ว ปิดด้วยจุกยางซึ่งมีเทอร์มอมิเตอร์และลวดสำหรับคนเสียบอยู่ เทอร์มอมิเตอร์ต้องอยู่สูงกว่าก้นหลอดและไม่สัมผัสกับด้านข้างของหลอดทดลอง
- 4) ใช้ลวดคนช้า ๆ จนแนพทาลีนหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน ยกหลอดทดลองออกจากน้ำร้อน เช็ดน้ำที่เปียกข้าง ๆ หลอดจนหมด แล้วใส่หลอดทดลองนี้ลงในขวดรูปกรวยที่มีเศษกระดาษรองอยู่ที่ก้นหลอดดังรูป