



การพัฒนาชุดปฏิบัติการเคมีใช้หลักการของไหลจุลภาคแบบกระดาษ A Simple Paper-Based Microfluidic Device for Chemistry Experiment

ไตรรงค์ เพลี่ยนแสง¹, ธนสาร เฟิงฟุ่ม² และอนงค์ ศรีโสภา^{3*}
Trairong Phlansaeng¹, Thanasarn Phengphum² and Anong Srisopa^{3*}

¹ อาจารย์คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

² อาจารย์คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

³ อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

บทคัดย่อ

ทำการพัฒนาอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษโดยใช้หลักการเทียบสีเพื่อใช้ในปฏิบัติการเคมี อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษสามารถทำได้ง่าย โดยการสร้างขอบเขตที่ไม่ละลายน้ำด้วยปากกาชนิดไข หรือปากกาชนิดไม่ละลายน้ำบนกระดาษกรอง อุปกรณ์ดังกล่าวได้นำไปประยุกต์ใช้สำหรับการศึกษาเรื่องสมดุลเคมีและการวัดความเป็นกรด-เบส และศึกษาผลสัมฤทธิ์จากการใช้อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน โดยอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมีราคาถูก ทำได้ง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อุปกรณ์ใช้ได้ง่ายจึงเหมาะแก่นักเรียนในระดับมัธยมศึกษา และระดับปริญญาตรี

คำสำคัญ: อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ/ สมดุลเคมี/ การวัดความเป็นกรด-เบส

Abstract

A colorimetric microfluidic paper-based device was developed for use in chemistry classes. A paper-based microfluidic device was simply fabricated by easy patterning of a filter paper using a wax pen or a permanent marker pen to create hydrophobic barriers. The devices were used for the study of chemical equilibrium and pH measurement. The results compared favorably with those from standard method. The device is low cost, easy to make and environmentally friendly. The device is simplified to make it usable with high school as well as undergraduate students.

Keywords: Microfluidic paper-based device/ Chemical equilibrium/ pH-testing

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วิทยาศาสตร์เป็นเรื่องของการเรียนรู้เกี่ยวกับธรรมชาติ โดยมนุษย์ใช้ทักษะและกระบวนการในการสังเกตสำรวจ ตรวจสอบ การทดลองเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติ และนำผลที่ได้มาประมวลหาข้อสรุปเป็นหลักการแนวคิด ทฤษฎีโดยการนำสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ค้นพบมาอธิบายขยายความให้ผู้เรียนเข้าใจง่ายขึ้นหรือสามารถสร้างเสริมให้เกิดเป็นมโนทัศน์เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น ดังนั้นการเรียนการสอนทางด้านวิทยาศาสตร์จึงมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และค้นพบด้วยตัวเองมากที่สุด (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2546, หน้า 3) การที่จะเรียนวิทยาศาสตร์ได้ดีและได้ผล ควรจัดการเรียนการสอนที่ผู้รู้ได้เริ่มเรียนรู้จากการมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อการเรียนการสอนในประเภทใดประเภทหนึ่งจนเกิด การรับรู้ การคิด ซึ่งจะนำไปสู่การสรุปหรือการค้นพบด้วยตัวเอง (ภพ เลาหไพบูลย์, 2542, น.240) การเรียนรู้ที่ผู้เรียนค้นพบความรู้ด้วยตัวเอง เป็นการเรียนรู้ที่ยึดหลักการจัดการเรียนรู้ตามแนวทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) ซึ่งเป็นกระบวนการปฏิสัมพันธ์ภายในสมองและทางสังคมหรือประสบการณ์ต่าง ๆ ที่รับเข้ามาและสร้างความหมายสิ่งนั้นด้วยตนเอง ดังนั้นผู้เรียนจะต้องได้ลงมือ ปฏิบัติงานจริงโดยเปิดโอกาสให้ผู้เรียน เรียนรู้จากประสบการณ์ตรง มีการปฏิสัมพันธ์กับสื่อ วัสดุ อุปกรณ์ หรือข้อมูลต่าง ๆ และสามารถจัดการกระทำ ศึกษา สำรวจ วิเคราะห์ ทดลองกับสิ่งนั้น ๆ จนเกิดเป็นความรู้ความเข้าใจขึ้น พร้อมกับมี



ปฏิสัมพันธ์ทางสังคม การร่วมมือ การแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิด ประสบการณ์ระหว่างผู้เรียน กับผู้เรียน และบุคคลอื่น ๆ เพื่อช่วยให้การเรียนรู้ของผู้เรียนหลากหลายยิ่งขึ้น (ทีศนา แคมมณี, 2554, น. 90-96)

การทดลองเป็นวิธีการเรียนการสอนประเภทหนึ่งที่ทำให้ประสบการณ์ตรงแก่ผู้เรียน โดยผ่านกระบวนการ พิสูจน์ ตรวจสอบ และเห็นผลการทดลองด้วยตนเอง ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้มีความเข้าใจ สามารถจดจำ การเรียนรู้ได้นาน และเป็นการสอนที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ และพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ อีกทั้งยังได้พัฒนาคุณลักษณะนิสัยการใฝ่รู้ด้วย (ทีศนา แคมมณี, 2554, น.28) ดังนั้นการทดลองจึงเป็นวิธีการสอนที่มี ประโยชน์และมีความสำคัญต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เป็นอย่างยิ่ง ชุดปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์จึงเป็น กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ที่จัดขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการที่เป็นหัวใจหลักของ วิทยาศาสตร์ ผู้เรียนจะได้มีโอกาสปฏิบัติการร่วมกันในขณะที่ทำการทดลอง มีโอกาสที่จะได้สัมผัสและรู้วิธีใช้อุปกรณ์ ของวิทยาศาสตร์ การเรียนการสอนด้วยชุดปฏิบัติการเป็นเทคนิควิธีที่เป็นรากฐานของการแก้ปัญหา ให้ผู้เรียนได้สืบ เสาะหาความรู้ และค้นพบความรู้ด้วยตนเอง ช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ที่ยั่งยืนและทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ มากขึ้น มีทักษะในด้านต่างๆ มากขึ้น ตลอดจนช่วยพัฒนาเจตคติทางวิทยาศาสตร์ (บุญชม ศรีสะอาด, 2541, น.14)

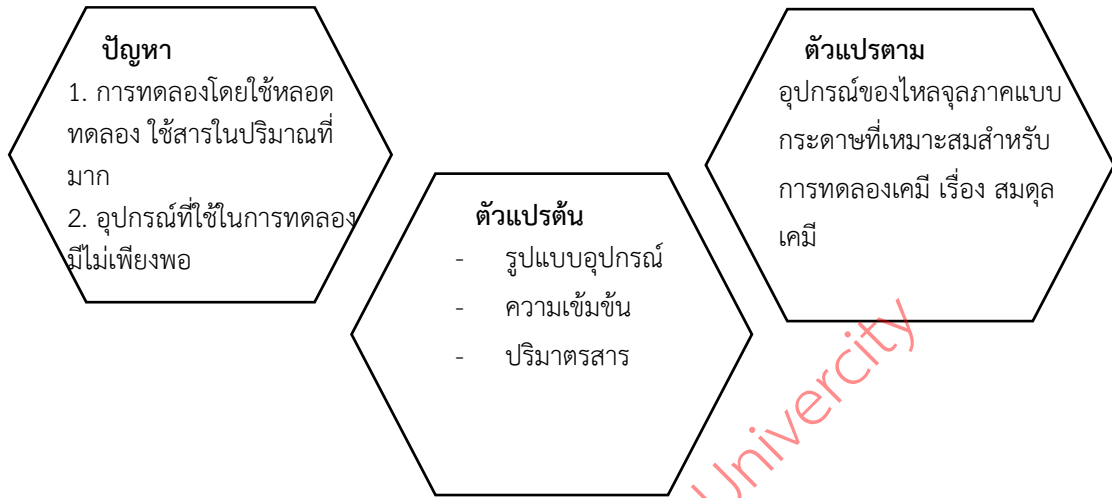
ในปัจจุบันได้มีการใช้สื่อการสอนมากมายที่เข้ามาช่วยในการทดลองวิทยาศาสตร์ รวมถึงชุดปฏิบัติการต่าง ๆ ที่ได้สร้างขึ้นมาก็เพื่อเอื้อต่อการจัดการเรียนการสอน ซึ่งอุปกรณ์การทดลองวิทยาศาสตร์และสารที่ใช้ในการทดลอง มีราคาที่สูงและเกิดความเสียหายได้ง่ายรวมถึงการใช้สารเคมีในปริมาณที่มากเป็นผลทำให้เกิดอันตรายต่อ สิ่งแวดล้อมและเนื่องจากการใช้สารในปริมาณที่มากและอุปกรณ์ที่มีราคาสูง ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาเทคนิคอุปกรณ์ เครื่องมือในการสอนได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ paper – based microfluidic device เป็นเทคนิคอย่างหนึ่งโดยเมื่อทำการสร้างช่องไหลของน้ำและสร้างขอบเขต โดยปากกา Permanent ลงบนกระดาษ กระดาษเป็นวัตถุที่ชอบน้ำ (hydrophilic) เมื่อหยดน้ำลงบนกระดาษ น้ำ จะซึมไปตามช่องขนสงที่ได้สร้างไว้ซึ่งควบคุมทิศทางการซึมของน้ำหรือของไหลได้ นอกจากนี้ยังสามารถผลิตขึ้นได้ ง่ายและวิเคราะห์สารได้หลายชนิดในอุปกรณ์ชิ้นเดียว มีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ และปริมาณสารที่ใช้วิเคราะห์ สามารถทำให้อยู่ในระดับไมโครสเกล โดยอุปกรณ์วิเคราะห์นี้ทำจากวัสดุกระดาษซึ่งหาได้ง่ายมีราคาถูก และย่อย สลายได้ดีไม่รบกวนต่อสิ่งแวดล้อม (ปณิตดา อเนกเวียง และริษา ภัทรมานนท์ 2556, ภัทรสุดา รักษทอง และริษา ภัทรมานนท์, 2556)

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาปฏิบัติการทางเคมี ด้วยอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบ กระดาษ เพื่อจะนำไปใช้ในปฏิบัติการทางเคมี เรื่องสมดุลเคมี และการทดสอบกรด-เบส ซึ่งจะประกอบด้วย การศึกษารูปแบบอุปกรณ์โดยใช้หลักการจุลภาคของไหลแบบกระดาษ การศึกษาความเข้มข้นของสารตั้งต้น การศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาปฏิบัติการทางเคมี ด้วยอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ

การวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ ซึ่งกรอบแนวคิดการวิจัย มีความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษาวิจัย ดังภาพ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวความคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ

1.1 การศึกษารูปแบบอุปกรณ์และชนิดของปากกา

ได้ออกแบบรูปแบบอุปกรณ์ ได้แก่ รูปแบบแขนงและรูปแบบวงกลม และชนิดของปากกา ได้แก่ สีเทียน เทียนไข ปากกา permanent และดินสอเขียนเครื่องแก้ว ขั้นตอนการทดลอง เริ่มจากการวาดแบบที่ได้เตรียมไว้มาร่างใส่กระดาษกรวยยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1 และเขียนทับด้วยปากกาทั้ง 4 ชนิด โดยการเขียนด้วยปากกา permanent ให้พักทิ้งไว้ให้แห้ง 3 นาที ส่วนสีเทียน เทียนไขและดินสอเขียนเครื่องแก้ว เมื่อนำมาเขียนลงกระดาษกรวยที่ร่างแล้ว ให้นำกระดาษที่เขียนมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที

ศึกษาความกว้างของแขนงสำหรับอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษรูปแบบแขนงที่ 2, 3, 4, 5 mm และศึกษาเส้นผ่านศูนย์กลางของวงสำหรับอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษรูปแบบวงกลมที่ 7 และ 10 mm

1.2 การศึกษาปริมาตรสารละลายที่ใช้

ได้ศึกษาปริมาตรสารละลายสำหรับอุปกรณ์แบบแขนงในช่วง 5, 10, 15 และ 20 μL ตามลำดับ สังเกตอัตราการไหลของสารละลาย สำหรับอุปกรณ์รูปแบบวงกลมศึกษาปริมาตรสารละลายที่ 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 μL สังเกตผลการทดลอง

1.3 การศึกษาความเข้มข้นของสาร

การทดลองเรื่องสมดุลเคมี ได้ศึกษาความเข้มข้นของสาร 2 ชนิด ได้แก่ $1 \text{ Fe}(\text{NO}_3)_3$ และ $\text{NH}_4(\text{SCN})$ เข้มข้น 0.1, 0.05, 0.025, 0.0125 และ 0.00625 M ตามลำดับ และทดสอบโดยนำสารที่ได้จากการเตรียมสารในแต่ละความเข้มข้นมาผสมสารให้เป็นสีแดงเลือดนก แล้วนำมาหยดลงในอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษที่เหมาะสม สังเกตสีที่เกิดขึ้น

การทดลองเรื่องการทดสอบกรด-เบส เตรียมน้ำกะหล่ำปลีสีม่วงให้มีความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 g/mL หยดลงบนอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษที่เหมาะสม แล้วใช้ทดสอบกับตัวอย่างน้ำสบู่ น้ำขี้เถ้า น้ำมะนาว น้ำส้มสายชู เปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้น

2 ศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษโดยเปรียบเทียบการทดลองแบบเดิมในหลอดทดลอง

3. การประยุกต์ใช้ในห้องเรียนและการประเมินความพึงพอใจของการใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ



อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ในรายวิชาเคมีทั่วไป ประจำปีการศึกษา 2/2559 จำนวน 23 คน และประเมินความพึงพอใจ โดยการตอบแบบสอบถาม

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

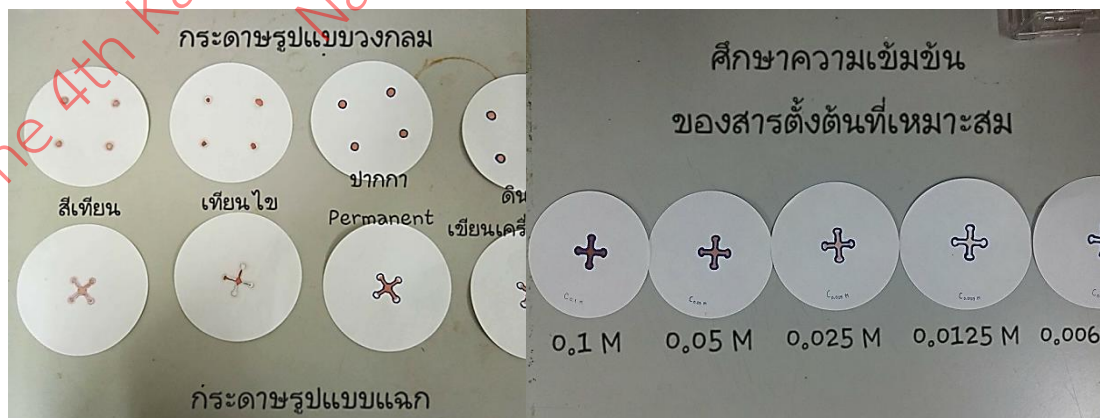
1. การออกแบบอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ

การศึกษารูปแบบอุปกรณ์โดยใช้หลักการจุลภาคของไหลแบบกระดาษทั้ง 2 รูปแบบ ดังภาพ 2 พบว่า รูปแบบแขนงขนาดแขนงที่ 4 mm เป็นขนาดที่เหมาะสม ปริมาตรสารที่เหมาะสมอยู่ที่ 15 μL ซึ่งสารละลายสามารถแพร่ไปได้เต็มอุปกรณ์ รูปแบบวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 mm พบว่า ปริมาตรสารที่เหมาะสมต่อหนึ่งวงกลมอยู่ที่ 3 μL ซึ่งสารละลายสามารถแพร่ไปได้เต็มบริเวณวงกลม ส่วนรูปแบบวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ต้องใช้ปริมาตรสารละลายเท่ากับ 15 3 μL

สำหรับลักษณะรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการทดลองเคมีพื้นฐานควรใช้รูปแบบวงกลม ขนาด 10 mm เนื่องจากสะดวกในการใช้และสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีได้ชัดเจน การใช้ปากกา permanent ยี่ห้อ Sharpie สามารถเป็นตัวกั้นสารที่ดีและใช้สะดวกโดยเมื่อหยดสารลงไป สารสามารถแพร่ไปได้เต็มวงกลมสังเกตสีได้ชัดเจน สารละลายไม่ซึมออกมาบริเวณนอกวงกลม

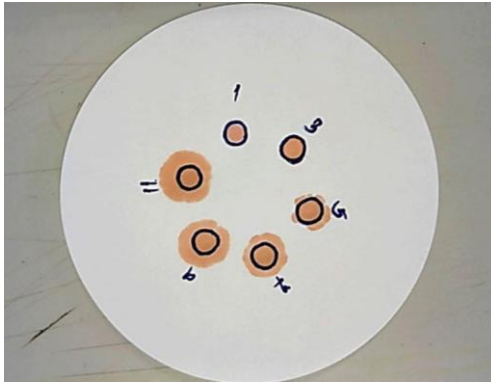
การศึกษาความเข้มข้นของสารตั้งต้นในการทดลองเรื่องสมดุลเคมี ได้ศึกษาความเข้มข้นของ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ และ $\text{NH}_4(\text{SCN})$ ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.05, 0.025, 0.0125 และ 0.00625 M พบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารตั้งต้นทั้ง 2 ชนิดนั้น เท่ากับ 0.05 M เนื่องจากทำให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีได้อย่างชัดเจน ส่วนความเข้มข้นที่ 0.1 M สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีได้ยากเนื่องจากสีเข้มเพราะความเข้มข้นสูงเกินไป

การศึกษาความเข้มข้นของน้ำกะหล่ำปลีสีม่วงเพื่อใช้ทดสอบกรด-เบส พบว่าน้ำกะหล่ำปลีสีม่วงเข้มข้น 1.5 g/mL ให้การเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนที่สุด

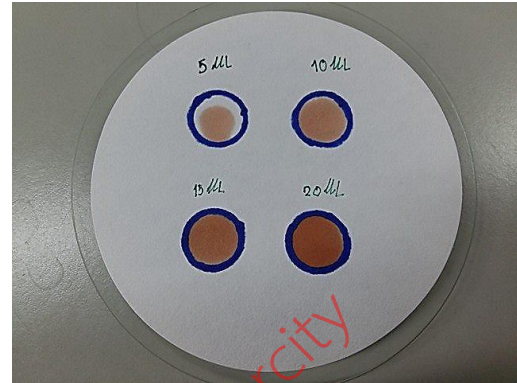


ภาพที่ 2 การศึกษารูปแบบอุปกรณ์

ภาพที่ 3 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสม



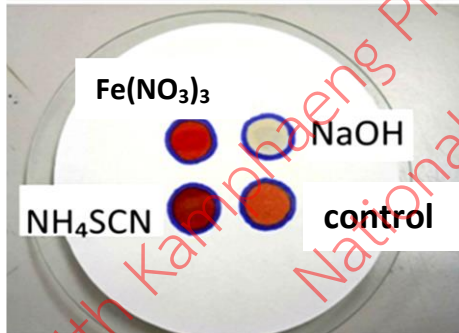
ภาพที่ 4 การศึกษาปริมาตรสารละลายของวงกลม
7 mm



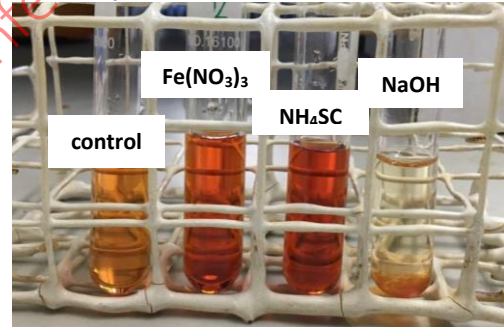
ภาพที่ 5 การศึกษาปริมาตรสารละลายของวงกลม
10 mm

2 ศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาศ โดยเปรียบเทียบการทดลองแบบเดิมในหลอดทดลอง

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาศกับการทดลองแบบดั้งเดิมพบว่า การเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาศมีความชัดเจนไม่แตกต่างจากการใช้หลอดทดลองแบบเดิม และยังพบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถลดปริมาณสารที่ใช้ทำการทดลองได้มากกว่า ผู้เรียนได้มีโอกาสทำการทดลองได้ทุกคน รวมทั้งสามารถดึงดูดความสนใจของผู้เรียนได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 6 การทดลองบนอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาศ



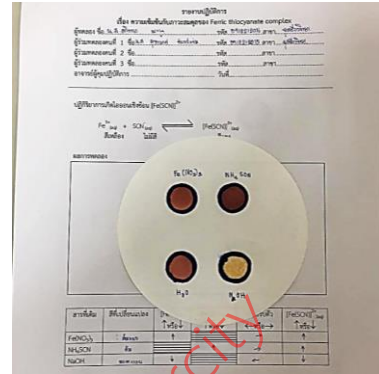
ภาพที่ 7 การทดลองแบบเดิม

3. การประยุกต์ใช้ในห้องเรียนและการประเมินความพึงพอใจของการใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาศ

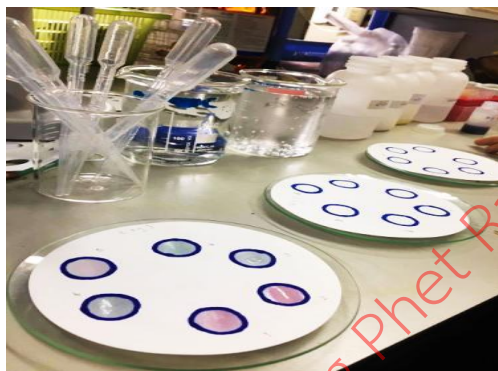
เมื่อนำอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาศไปประยุกต์ใช้ในห้องเรียนเปรียบเทียบกับ การทดลองในหลอดทดลองแบบเดิมพบว่า ผู้ตอบแบบประเมินทั้งหมดเห็นถึงการใช้ประโยชน์ของอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาศ และมีความพึงพอใจในการใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาศ รวมถึงมีความรู้ความเข้าใจจากปฏิบัติการสมดุคเคมี อยู่ระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.33 คิดเป็นร้อยละ 86.6 ดังตารางที่ 1



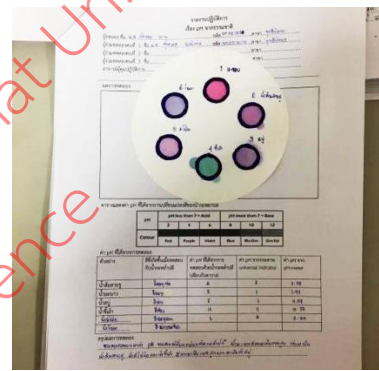
ภาพที่ 8 ปฏิบัติการเรื่องสมดุลเคมีในชั้นเรียน



ภาพที่ 9 ใบรายงานปฏิบัติการเรื่องสมดุลเคมี



ภาพที่ 10 ปฏิบัติการเรื่องการทดสอบกรด-เบสในชั้นเรียน



ภาพที่ 11 ใบรายงานปฏิบัติการเรื่องการทดสอบกรด-เบส

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนเรื่องสมดุลเคมี

รายละเอียด	ระดับความพึงพอใจ					ค่าเฉลี่ยระดับ	ผลลัพธ์
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด		
ด้านการใช้ประโยชน์							
1. อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษสามารถลดปริมาณการใช้สารเคมี	0	9 (100)	0	0	0	4	มาก
2. อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษช่วยลดปริมาณการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม	3 (33.33)	6 (66.67)	0	0	0	4.33	มาก
3. อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษทำให้ลดระยะเวลาในการทดลอง	3 (33.33)	5 (55.56)	1 (11.11)	0	0	4.22	มาก
4. อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษช่วยให้การประเมินผลการทดลองง่ายขึ้น	3 (33.33)	5 (55.56)	1 (11.11)	0	0	4.22	มาก
ด้านความพึงพอใจ							
1. ความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์	4 (44.44)	5 (55.56)	0	0	0	4.44	มาก
2. ความสะดวกในการทดลอง	4 (44.44)	3 (33.33)	2 (22.22)	0	0	4.22	มาก
ด้านความรู้ความเข้าใจ							
1. เทคนิคการทดลองทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหา	5 (55.56)	3 (33.33)	1 (11.11)	0	0	4.44	มาก
2. สามารถทบทวนเนื้อหาย้อนหลังได้จากผลการ	4 (44.44)	5 (55.56)	0	0	0	4.44	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม						4.33	มาก



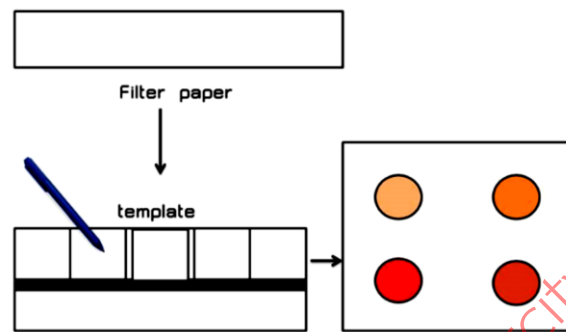
ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนเรื่องการทดสอบกรด-เบส

รายละเอียด	ระดับความพึงพอใจ					ค่าเฉลี่ย ระดับ	ผลลัพธ์
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด		
ด้านการใช้ประโยชน์							
1 อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษสามารถลดปริมาณการใช้สารเคมี	2 (14.28)	12 (85.71)	0	0	0	4.14	มาก
2 อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษช่วยลดปริมาณการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม	7 (50.00)	7 (50.00)	0	0	0	4.50	มาก
3 อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษทำให้ลดระยะเวลาในการทดลอง	5 (35.71)	9 (64.28)	0	0	0	4.35	มาก
4 อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษช่วยให้การประเมินผลการทดลองง่ายขึ้น	8 (57.14)	6 (42.85)	0	0	0	4.57	มาก
ด้านความพึงพอใจ							
1 ความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์	6 (42.85)	6 (42.85)	1 (7.14)	0	0	4.07	มาก
2 ความสะดวกในการทดลอง	5 (35.71)	5 (35.71)	2 (14.28)	1 (7.14)	0	3.78	มาก
3 เทคนิคการทดลองมีความน่าสนใจ	8 (57.14)	4 (28.57)	1 (7.14)	0	0	4.21	มาก
ด้านความรู้เข้าใจ							
1 เทคนิคการทดลองทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหา	7 (50.00)	7 (50.00)	0	0	0	4.50	มาก
2 สามารถทบทวนเนื้อหาย้อนหลังได้จากผลการ	8 (57.14)	5 (35.72)	1 (7.14)	0	0	4.50	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม						4.29	มาก

จากการทำการทดลองเรื่องการทดสอบกรด-เบสโดยใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ พบว่าผู้ตอบแบบประเมินทั้งหมดเห็นถึงการใช้ประโยชน์ของอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ และมีความพึงพอใจในการใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ รวมถึงมีความรู้ความเข้าใจ อยู่ระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.29 คิดเป็นร้อยละ 85.80

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษารูปแบบอุปกรณ์โดยใช้หลักการจุลภาคของไหลแบบกระดาษทั้ง 2 รูปแบบเพื่อใช้ในรายวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไป และศึกษาชนิดของปากกาที่เหมาะสมต่อการทดลอง พบว่า รูปแบบอุปกรณ์ที่เหมาะสมต่อการทำการทดลอง คือ รูปแบบวงกลม โดยใช้คู่กับปากกา permanent ยี่ห้อ sharpie เพราะจะทำให้เกิดการสร้างขอบเขตที่เป็นตัวกั้นสารไม่ให้ซึมออกมานอกวงกลม เนื่องจากหมึกของปากกา permanent มีคุณสมบัติเป็นสารที่ไม่ซีจิวจึงไม่ละลายกับสารที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารที่มีซีจิว สารที่ใช้ในการทดลองจึงไม่ซึมออกมานอกวงกลม แต่ปากกา permanent นั้นสามารถละลายได้ในเมทานอล ดังนั้นสารที่ใช้ทดสอบจะต้องไม่มีส่วนผสมของเมทานอลจึงจะทำให้การทดลองมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์โดยใช้หลักการจุลภาคของไหลแบบกระดาษ จะประกอบไปด้วย ช่องวงกลม 4 ช่อง โดยหนึ่งวงกลมจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 10 mm



ภาพที่ 12 อุปกรณ์จุลภาคของไหลแบบกระดาษที่พัฒนาขึ้น

จากการศึกษาความเข้มข้นของสารตั้งต้นในการทดลองเรื่องสมดุลเคมีคือ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ และ $\text{NH}_4(\text{SCN})$ พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารตั้งต้นทั้ง 2 ชนิดนั้น คือ 0.05 M ส่วนการทดลองเรื่องการทดสอบกรด-เบส ความเข้มข้นของน้ำกะหล่ำปลีสีม่วงที่เหมาะสมได้แก่ 1.5 g/mL ซึ่งทำให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน

เมื่อนำอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับปฏิบัติการเคมีทั่วไป และประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนพบว่า ผู้ตอบแบบประเมินทั้งหมดเห็นถึงการใช้ประโยชน์ของอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ และมีความพึงพอใจในการใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ รวมถึงมีความรู้ความเข้าใจ อยู่ในระดับมาก

อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองในหลอดทดลองแบบเดิม พบว่าสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนไม่ต่างกัน แต่อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นทำให้ประหยัดสารที่ใช้ในการทดลอง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และทำให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการทดลองอย่างทั่วถึงกว่าการทดลองแบบเดิม

เอกสารอ้างอิง

- ทิศนา แคมมณี. (2554). 14 วิธีสอนสำหรับคู่มืออาชีพ (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2541). การพัฒนาการสอน (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ชมรมเด็ก.
- ปนัดดา อเนกเวียง และ รินา ภัทรมานนท์. (2556). ความก้าวล้ำของเทคโนโลยีไบโอเซอร์: นวัตกรรมสู่โลกอนาคต. คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 41(2), 262-280.
- ภพ เลหาไฟบุรณ์. (2542). แนวการสอนวิทยาศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- ภัทรสุดา รักทอง และ รินา ภัทรมานนท์. (2556). การพัฒนาไบโอเซนเซอร์แบบกระดาษสู่ระบบการวินิจฉัยโรคใกล้ชิดผู้ป่วย. คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 41(1), 873-884.
- ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. (2546). การจัดการเรียนรู้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ หลักสูตร การศึกษาขั้นพื้นฐาน. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.