

การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

Development of an Analytical Chemistry Laboratory Course with use of Home-Made Colorimeter for Undergraduate Student

จารุวัฒน์ ชูรักษ์¹, นวลละออ รัตนวิมานวงศ์², ปิยรัตน์ ดรบบัณฑิต³

Jaruwat Chooruk¹, Nuanlaor Ratanawimanwong², Piyarat Dornbhundit³

Received: 5 February 2014; Accepted: 10 May 2014

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย สำหรับนิสิตปริญญาตรี ชั้นปีที่ 3 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผลการทดลองพบว่า เมื่อผู้เชี่ยวชาญประเมิน บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายที่พัฒนาขึ้นอยู่ในเกณฑ์ดีมาก หาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการดังกล่าวได้เท่ากับ 81/82 คะแนนจากแบบทดสอบของนิสิตอยู่ในเกณฑ์ดีและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ: เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ความเข้มข้นของเหล็ก (II)

Abstract

This research aims to develop an analytical chemistry laboratory course for undergraduate students, in the Department of Chemistry, Faculty of Science, Srinakharinwirot University. The expert's attitude toward the developed Analytical Laboratory was in "very good" standards. After revision, according to the expert's comment, the efficiency of the laboratory was found to be 81/82. It was found that the average score of students' post-test was "good". Achievement in learning was satisfied by recording posttest scores higher than pretest score in a statistically significant manner at the .05 level.

Keywords: Home-Made Colorimeter, Analytical Laboratory, concentration of Fe(II)

บทนำ

การจัดการเรียนรู้อุบัติการณ์ในปัจจุบันมุ่งเน้นให้มีการปฏิบัติการมากขึ้น เพื่อช่วยให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนสูงขึ้น^{1,7} การจัดการเรียนรู้แบบมีบทปฏิบัติการจะประกอบด้วยสองส่วนที่มีความสัมพันธ์กันคือ บทปฏิบัติการที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้และสื่ออุปกรณ์การสอนที่เพียงพอกับจำนวนของผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติอย่างทั่วถึง⁶ เพื่อลดข้อจำกัดของอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่มักจะมีราคาแพง การคิดค้นหรือประดิษฐ์นวัตกรรมใหม่เกี่ยวกับสื่อการเรียนรู้จึงมีความจำเป็นอย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการ

เรียนรู้โดยที่ครูหรือผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบควรจะสามารถดัดแปลงเครื่องมือที่มีราคาแพงให้มีราคาถูกลง ลดความซับซ้อนของเครื่องมือและมีคุณภาพเหมาะสมกับการเรียนการสอนในแต่ละระดับชั้น³

จากการวิเคราะห์หลักสูตรทางด้านวิทยาศาสตร์ในประเทศไทย พบว่าในรายวิชาเคมีวิเคราะห์ของทุกมหาวิทยาลัยมีการใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทั้งสิ้น เนื่องจากเครื่องดังกล่าวนี้เป็นเครื่องมือพื้นฐานในงานวิเคราะห์ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ อย่างไรก็ตาม เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์มีราคาค่อนข้างแพง จึงทำให้มหาวิทยาลัยบางแห่งมีเครื่องมือชนิดนี้ในปริมาณจำกัด ส่งผลให้บทปฏิบัติการที่ใช้

¹นิสิตปริญญาโท, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³อาจารย์, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

¹Master degree student, ² Assist.Prof. , ³Lecturer, Departments chemistry ,Faculty of Science , Srinakharinwirot University

*corresponding: e-mail: piyarats@swu.ac.th

เครื่องมือนี้ มีสาระการเรียนรู้ที่จัดให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติน้อย เพื่อชดเชยเวลาที่เสียไปในการรอใช้เครื่องมือและสามารถทำการทดลองให้เสร็จทันภายใน 3 ชั่วโมง (1 หน่วยกิต) ดังนั้นการพัฒนาเครื่องวัดการดูดกลืนแสงให้มีราคาถูกลงเพื่อเพิ่มโอกาสในการมีจำนวนเครื่องมือที่มากขึ้น สามารถจัดการเรียนรู้ตามจุดมุ่งหมายภายใน 1 คาบปฏิบัติการ เป็นการช่วยเสริมทักษะการทำการทดลองจึงมีความจำเป็น

การสร้างเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายที่มีราคาประหยัด สามารถทำได้โดยลดการใช้อุปกรณ์ทางแสงที่มีราคาแพง เช่น เลนส์ กระจกสะท้อนแสงรวมไปถึงการเลือกใช้อุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงที่มีขนาดเล็ก ราคาประหยัด จากการสืบค้นงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า Light-emitting diode(LED)เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ได้รับความนิยมนำมาใช้มากสำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงที่ตามองเห็น (400-800 nm) เนื่องจากมีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ ราคาประหยัด อีกทั้งยังมีให้เลือกได้เกือบทุกความยาวคลื่นในช่วงคลื่นแสงดังกล่าว LED จะปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่นแคบๆ (± 10 nm)¹²จึงไม่จำเป็นต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์คัดเลือกความยาวคลื่นที่มีราคาแพง¹⁴ทำให้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มาก จึงเหมาะที่จะใช้ในห้องปฏิบัติการสอน¹¹ ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่อาศัยความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงที่แปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารที่ดูดกลืนแสงนั้นๆ ตามกฎของเบียร์¹³

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงสร้างเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายพร้อมทั้งพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายดังกล่าว การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำธรรมชาติโดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่างเหล็กที่มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +2 ทำปฏิกิริยากับ 1,10-Phenanthrolineเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีแดงที่มีค่าการดูดกลืนสูงสุดที่ความยาวคลื่น 508 นาโนเมตร สำหรับการคำนวณค่าการดูดกลืนแสงตามความสัมพันธ์ทำได้ดังสมการ

$$A = \log(I_0 / I)$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสง
I และ I₀ คือ ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบบที่ตัวตรวจวัด เมื่อแสงผ่าน และไม่ผ่านสารละลายตัวอย่าง ตามลำดับ

วัตถุประสงค์

1. พัฒนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายที่มีประสิทธิภาพ

2. ศึกษาประสิทธิภาพผลทางการเรียนรู้เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย ประกอบด้วย 2 ด้าน ดังนี้

- 2.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- 2.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
ชั้นบูรณาการ

วิธีการดำเนินงานวิจัย

กลุ่มเป้าหมาย

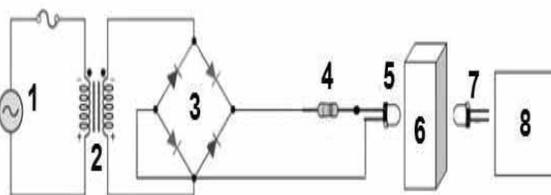


Figure 1 Model of Home-made colorimeter

นิสิตระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรการศึกษาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์-เคมี ภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 42 คน ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา คม 394 ชื่อวิชา ปฏิบัติการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือพื้นฐาน (CH 394) ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2555

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงอย่างง่าย
2. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
3. บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงอย่างง่าย
4. แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
5. แบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ระดับบูรณาการ

การดำเนินการวิจัย

1. การสร้างเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย การตรวจวัดปริมาณเหล็ก (II) โดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก (II) กับลิแกนด์คือ 1,10-Phenanthroline เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีแดงมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 508 นาโนเมตร จึงเลือกใช้ LED สีเขียวที่เปล่งแสงความยาวคลื่น 505 (± 10) นาโนเมตร เป็นแหล่งกำเนิดแสง และเลือก LED ที่มี Intensity สูงกว่า 3000millicandela (mcd) เพราะ หลอด LED ที่มี Intensity ต่ำกว่า 3000millicandela (mcd) ไม่สามารถตรวจวัดความเข้มแสงที่เกิดจากหลอด LED แหล่งกำเนิดแสงได้

หลอด LED ที่ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจวัดความเข้มแสงต้องมีความยาวคลื่นมากกว่า LED แหล่งกำเนิดแสง¹² พบว่าหลอด LED สีส้มสามารถตรวจวัดแสงสีเขียวของหลอด LED แหล่งกำเนิดได้ดี ดังนั้นผู้วิจัยจึงสามารถสร้างเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายได้ดังนี้

สัญญาณจากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายที่สร้างขึ้น มาจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่ต่อระหว่างขั้วไฟฟ้าแอโนดและแคโทดของ LED โดยค่าความต่างศักย์ที่อ่านได้นี้แปรผันตามกับความเข้มของแสงที่ตกกระทบบน LED ที่เป็นตัวตรวจวัด ดังสมการ 1¹²

$$E = x + y \log (I_L) \dots\dots\dots (1)$$

E คือ ค่าความต่างศักย์ที่อ่านค่าได้

x, y คือ ค่าคงที่

I_L คือ ความเข้มของแสงที่ตกกระทบบนหลอด LED

ค่าความต่างศักย์ที่อ่านได้จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย มีความสัมพันธ์ผ่าน log scale กับค่า I_L ทำให้ค่าการดูดกลืนแสง แปรผันตรงกับค่าความแตกต่างของค่าความต่างศักย์ของสารละลายแบลนด์(blank)กับสารละลายตัวอย่าง (E) ตามสมการที่ 2¹²

$$A = E/b \dots\dots\dots (2)$$

E คือ ความแตกต่างของค่าความต่างศักย์ของสารละลายแบลนด์กับสารละลายตัวอย่าง

b คือ ค่าคงที่ความเป็นเส้นตรง

A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่วัดจากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2. การหาประสิทธิภาพของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย

2.1 การหาความแม่นยำ(accuracy) และความเที่ยง (precision) ของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง โดยการวิเคราะห์หาค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ (relative error) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation) ผลการทดลองเป็น table 1

เมื่อพิจารณาถึงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแต่ละบทปฏิบัติการ พบว่ามีความแม่นยำในการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับค่าจริง ส่วนเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สามารถหาค่าคงที่ความเป็นเส้นตรง (b) ของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายที่สร้างขึ้นได้

ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแต่ละบทปฏิบัติการ มีความแม่นยำในการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับค่าจริง ค่าเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สามารถหาค่าคงที่ความเป็นเส้นตรง (b) ของเครื่องที่สร้างขึ้นได้

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายมีประสิทธิภาพในด้านของความถูกต้องและค่าความเที่ยงตรงสูง แสดงให้เห็นว่าเครื่องวัดการดูดกลืนแสงให้ผลการสอบที่คงที่และใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน

Table 1 The quality of Home-Made Colorimeter

	Concentration	Average	S.D.	%R.E.	%R.S.D
Laboratory	1.00 ppm	1.01 ppm	0.06	1.00	5.94
	2.25 ppm	2.27 ppm	0.07	0.89	3.08
	3.00 ppm	3.03 ppm	0.07	1.00	2.31

2.2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารละลายเหล็กที่ทราบความเข้มข้น จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายกับเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น UV-2450,

Shimadzu, Japan)โดยใช้ t-tetst for independent samples และ One-Sample t test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 ตามลำดับ ผลการทดลองเป็นดัง table 2

Table 2 Comparison of Fe(II) concentrations analyzed by Home-made colorimeter and spectrophotometer.

sample	Concentration, ppm ($\mu \pm S.D.$, n = 5)		
	True-value	Home-made Colorimeter	spectrophotometer
Synthesized Fe(II)	2.25	2.27 \pm 0.07	2.25 \pm 0.02

จากนั้น ทำการตรวจสอบซ้ำ โดยนำค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ได้จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายไปเปรียบเทียบกับค่าจริงที่คำนวณโดยตรงจากการเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ผลการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงอย่างง่ายกับเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์มาตรฐาน โดยใช้ *t*-test for independent samples ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ .05 พบว่าค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของ

สารละลายตัวอย่างสังเคราะห์ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงอย่างง่ายไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ($p=.05$)(table2)

สังเคราะห์ โดยใช้สถิติ One-Samples *t* test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ($p=.05$ ผลปรากฏว่าค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นที่วิเคราะห์จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากค่าจริง (table 3)

Table 3 A comparison of Fe(II) content at different concentrations.

Samples	Concentration, ppm ($\mu \pm S.D.$, n = 5)	
	True-value	Home-made Colorimeter
1	1.00	1.01 \pm 0.06
2	2.25	2.27 \pm 0.07
3	3.00	3.03 \pm 0.07

3. การพัฒนาทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

3.1 ผู้วิจัยได้นำเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายไปใช้ในทปฏิบัติการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือพื้นฐานซึ่งบทปฏิบัติการการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำธรรมชาติด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี โดยอาศัยปฏิกิริยาดังแสดงในสมการที่ 3

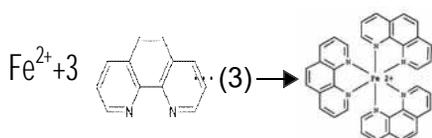


Figure 2 The complexation of iron and 1,10-Phenanthroline

3.2 นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น เสนอผู้เชี่ยวชาญประเมินความสอดคล้อง โดยพิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ .05 ขึ้นไป

3.3 นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ไปทดลองใช้กับนิสิตที่มีระดับชั้นสูงกว่ากลุ่มทดลองจำนวน 3 คน เพื่อ

ตรวจสอบความถูกต้อง และจำนวน 12 คนเพื่อตรวจสอบหาข้อผิดพลาดจากการปฏิบัติการทดลอง

3.4 การหาคุณภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย

ทำได้โดยนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างเพื่อประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการให้เป็นไปตามเกณฑ์ E_1/E_2 เท่ากับ 80/80 โดย E_1 เป็นคะแนนแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการและคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

4. สร้างแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยได้พิจารณาจากวัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่อนำมาพิจารณาเป็นแบบทดสอบ โดยเมื่อสร้างแบบทดสอบเรียบร้อยแล้วนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและตัวเลือก จากนั้นนำไปทดลองกับนิสิตที่ไม่ใช่กลุ่มทดลองตัวอย่าง เพื่อพิจารณาความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกโดยคัดเลือกแบบทดสอบที่มีค่าความยากง่าย(p) อยู่ระหว่าง 0.20-0.80 และมีค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20-1.00

ผลการวิจัย

1. คุณภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงอย่างง่าย

การหาคุณภาพแบบทดสอบบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น มีขั้นตอนดังนี้

1.1 ประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านผ่านแบบประเมินที่มีลักษณะเป็นมาตรฐานค่า 3 ระดับแล้วทำการพิจารณาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างวัตถุประสงค์การทดลอง ทฤษฎี และวิธีการทดลองของบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้น พบว่า มีผลการประเมินค่า IOC อยู่ในช่วง 0.67 ถึง 1.00 และนำเสนอแนะมาปรับปรุงเช่น การใช้คำเพื่อสื่อความหมายให้ผู้ทดลองเข้าใจง่าย ภาพที่ใช้แสดงในบทปฏิบัติการไม่ชัดเจน เป็นต้น

1.2 ทำการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน เพื่อทำการประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยพิจารณาองค์ประกอบของบทปฏิบัติการ 4 ส่วน ประกอบด้วย (1) เนื้อหาทฤษฎีประกอบบทปฏิบัติการ (2) สารเคมีและอุปกรณ์ในการทดลอง (3) วิธีการทดลอง (4) การบันทึกผลและรายงานผลการทดลอง โดยใช้แบบประเมินคุณภาพ ซึ่งเป็นมาตรฐานประมาณ 5 ระดับ พบว่าความเหมาะสมขององค์ประกอบ ในแต่ละด้าน ของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.67 ถึง 5.00 แสดงว่าทุกองค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มีความเหมาะสมในระดับดี และดีมาก

1.3 ทำการทดสอบภาคสนาม เพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง โดยทดลองกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องมือให้เป็นไปตามเกณฑ์ E_1/E_2 ไม่ต่ำกว่า 80/80 พบว่า นิสิตมีคะแนนแบบทดสอบบทปฏิบัติการผ่านเกณฑ์ คิดเป็นร้อยละ 81.11 และคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์คิดเป็นร้อยละ 82.67 จากผลการประเมินข้างต้น แสดงว่าคุณภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่สร้างขึ้นนี้ มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี

2. ผลการสร้างแบบทดสอบบทปฏิบัติการ

ผู้วิจัยได้จัดทำแบบทดสอบบทปฏิบัติการ แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญพิจารณาถึงความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและตัวเลือก โดยใช้แบบทดสอบที่มีลักษณะเป็นมาตรฐานประมาณค่า 3 ระดับ และพิจารณาค่า IOC พบว่าแบบทดสอบทั้ง 3 ชิ้นได้ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีมาก (IOC อยู่ในช่วง 0.67–1.00)

เมื่อนำแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปหาคุณภาพกับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อพิจารณาค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกโดยคณะผู้วิจัยได้คัดเลือกแบบทดสอบที่มีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.33-0.77 และค่าอำนาจจำแนก (r) มีค่าตั้งแต่ 0.20-0.87

จากนั้นนำ มาคำนวณค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบจากสูตร KR-20 ของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson) พบว่ามีความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.67, 0.87 และ 0.78 สำหรับ แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ตามลำดับ

3. ผลการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นมาทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง พบว่าผลการทดลองของนิสิตทั้ง 42 คน ปรากฏผล table 4 พบว่าจากนิสิตทั้งหมดจำนวน 42 คน มีคะแนนรายงานปฏิบัติการทดลองคะแนนเต็ม 10 คะแนน คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.26 คะแนน หรือคิดเป็นร้อยละ 82.62 ส่วนคะแนนสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคะแนนเต็ม 5 คะแนน มีคะแนนเฉลี่ยของผู้เรียนทั้ง 42 คน เป็น 4.26 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 85.25 แสดงให้เห็นว่า บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นนี้มีประสิทธิภาพ ผู้เรียนที่ผ่านการทำบทปฏิบัติการ จะมีความรู้ และสามารถตอบแบบทดสอบได้มีคะแนนสูงกว่าร้อยละ 80

Table 4 Score of sampling student.

Factors	Nunber	Total score	Average (Average total)	S.D.	Percent
Report Direction Lab	42	10	8.26	0.71	82.62
Test	42	5	4.26	0.77	85.24

ประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการใช้บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น ประเมินจากผลการเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง ก่อน

ประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ระดับบูรณาการ ประเมินจากผลการเปรียบเทียบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ โดยการประเมินโดยรวมของนิสิตกลุ่มตัวอย่างก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบท

สรุปผลและอภิปรายผลการทดลอง

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงอย่างง่ายมีผลการทดลองไม่แตกต่างกับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้สืบเนื่องมาจาก

1) เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายที่สร้างขึ้นได้สร้างตามหลักการและวิธีการสร้างตามหลักการของ Melissa & Samide¹⁵ ที่ได้ดำเนินการสร้างเครื่อง spectrophotometer อย่างง่ายขึ้นมาใช้ในเรียนปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยได้ดำเนินการสร้างเครื่องมือที่นำหลอด LED มาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง

เรียนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าค่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังแสดงใน table 5

Table 5 A comparison of achievement learning scores of sampling student between pre-test and post-test.

	N	Total score	Average	S.D.	t	df	p
Pre-test	42	20	11.00	2.38	8.297*	82	0.000
Post-test	42	20	15.23	2.05			

ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย พบว่า คะแนนทดสอบหลังเรียนมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่า

เฉลี่ยของคะแนนก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังแสดงใน table 6

Table 6 A comparison of Intergrated Science Process Skill of sampling student between pre-test and post-test.

	N	Total score	Average	S.D.	t	df	p
Pre-test	42	10	5.21	1.77	10.85*	41	.000
Post-test	42	10	8.43	1.17			

ซึ่งมีความเหมาะสมในการวิเคราะห์สำหรับการเรียนในวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tymecki¹² ที่กล่าวไว้ว่า การนำหลอด LED มาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงหรือตัวตรวจวัดแสงควรมีการเลือกใช้หลอด LED ที่มีค่า intensity สูงกว่า 3000millicandela เพื่อที่จะทำให้ผลการวิเคราะห์นั้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด นอกจากนี้แล้ว การนำหลอด LED มาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงไม่มีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์คัดเลือกความยาวคลื่น เพราะแสงที่ออกมาจากหลอด LED นั้นมีช่วงความยาวคลื่นที่แคบและสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสารตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ จึงส่งผลให้ผลการวิเคราะห์นั้นมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริง

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mozo¹⁴ ที่ได้นำหลอด LED มาใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างผลปรากฏว่า สามารถวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะทองแดงในตัวอย่างน้ำได้เป็นอย่างดี

2) การนำหลอด LED มาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารโดยเทคนิคสเปกโตรโฟโตมิเตอร์นั้น โดยอาศัยความแตกต่างของความเข้มแสง ก่อนและหลังผ่านสารละลายตัวอย่าง ค่าที่วัดได้นั้นเป็นค่าความต่างศักย์ จึงต้องมีการปรับค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ เป็นค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งสอดคล้องกับสมการของ Tymecki¹² ทำให้การคำนวณนั้นมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ

จากผลการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าว ทำให้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงอย่างง่ายมีผลการทดลองไม่แตกต่างกับเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่นำเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายมาใช้มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 81.11/82.67 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่วางไว้ ทั้งนี้เนื่องมาจาก

1) บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นได้มีการดำเนินการพัฒนาตามรูปแบบการจัดการเรียนการสอนแบบบทปฏิบัติการของ สุวัฒน์ นิยมคำ¹¹ที่ได้กล่าวไว้ว่า รูปแบบการสอนแบบบทปฏิบัติการไว้ 2 รูปแบบคือ การทดลองแบบสำเร็จรูป และการทดลองแบบไม่กำหนดแนวทาง ซึ่งผู้วิจัยนำมาเป็นพื้นฐานในการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยพัฒนาให้ผู้เรียนเป็นผู้ค้นหาคำตอบด้วยตัวเอง โดยที่ครูเป็นผู้กำหนดปัญหาตามแนวคิดของ สุภาพ วาดเขียนและ อรพินธ์ โภชนา¹⁰เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมสมรรถภาพทางความคิดของผู้เรียน

2) เครื่องมือการวิจัยที่พัฒนาขึ้นได้ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสอนวิชาเคมีวิเคราะห์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ และผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา ทำการประเมินคุณภาพทั้งในส่วนบทปฏิบัติการ วัตถุประสงค์ของการทดลอง และความเหมาะสมของเครื่องมือที่นำมาใช้ในการทดลอง ทำให้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นได้มีการตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิเศษศรี โดศกุลวรรณ¹²ที่ได้พัฒนาบทปฏิบัติการแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ทำการประเมินแล้วทำไปทดสอบกับกลุ่มทดลอง พบว่าบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์

3) การจัดการเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการจะช่วยให้ผู้เรียนได้ประสบการณ์ตรง ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการสอน เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนค้นพบหลักวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง ตามที่ ภพ เลหาไพบูลย์² ได้กล่าวไว้ว่า การเรียนด้วยบทปฏิบัติการจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริงและจดจำได้นาน จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้น

จากการดำเนินการสร้างบทปฏิบัติการตามทฤษฎีดังกล่าว ทำให้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่นำเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายมาใช้มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 81.11/82.67 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่วางไว้

3. ผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย มีประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สืบเนื่องมาจาก

การเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้เรียนได้มีโอกาสเรียนรู้ ทำกิจกรรมด้วยตนเอง เป็นการค้นคว้าหาความรู้ด้วยการทดลองให้เห็นจริง สอดคล้องกับ สุภาพ วาดเขียน¹⁰ที่ได้กล่าวไว้ว่า การเรียนด้วยบทปฏิบัติการจะทำให้ผู้เรียนเรียนรู้กฎเกณฑ์และข้อเท็จจริงที่อยู่รอบๆตัวได้อย่างลึกซึ้ง สอดคล้องกับแนวคิดของ สุเทพ อูสาหะ⁹ที่กล่าวไว้ว่า การเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการ เป็นการฝึกให้ผู้เรียนรู้จากของจริง ทำให้จำได้นานกว่าการเรียนจากสัญลักษณ์ เป็นการส่งเสริมการฝึกการแก้ปัญหาตามวิธีทางวิทยาศาสตร์

จากการส่งเสริมการเรียนด้วยบทปฏิบัติ จึงส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. ผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงอย่างง่าย มีประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สืบเนื่องจาก

นิสิตมีพัฒนาการด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ประกอบไปด้วยทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการทดลอง ทักษะการตีความหมาย ข้อมูลและลงข้อสรุป มากยิ่งขึ้น เป็นผลสืบเนื่องมาจากนิสิตทุกคนได้มีส่วนร่วมในการปฏิบัติการทดลอง เพราะเครื่องมือมีจำนวนที่เพียงพอ ดังที่ พรทิวา ปลัดศรีช่วย¹³กล่าวว่า ผู้เรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ จะทำให้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน เนื่องมาจาก ในขณะที่ทำการเรียนการสอนแต่ละครั้ง ผู้เรียนมีโอกาสได้ศึกษาวิเคราะห์ และวิพากษ์วิจารณ์ความรู้จากกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำกิจกรรม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- พรทิศา ปลัดศรีช่วย. 2556. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การคิดวิเคราะห์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด Socioscientificและการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ชั้น. ปรินญา นิพนธ์ กศ.ม. (หลักสูตรและการสอน). มหาสารคาม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ภพ เลหาไพบูลย์. 2542. แนวการสอนวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3 (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- มนตรี รัตนาจิตร. 2525. การสร้างสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยว. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (เคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- แมน อมรสิทธิ์; และ อมร เพชรสม. 2539. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ = Principles and Techniques of Instrumental Analysis. กรุงเทพฯ: ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- รัตนะ บัวสนธ์. 2554. การวิจัยและพัฒนาวัตกรรมการศึกษา. กรุงเทพฯ: คำสมัย.
- วรายุ ลีประเสริฐ. 2539. คู่มือการสร้างสื่อการสอนวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- วิชัย วงษ์ใหญ่. 2537. กระบวนการพัฒนาหลักสูตรและการเรียนการสอน: ภาคปฏิบัติ. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- วิศิษฐ์ศรี โตศุกลวรรณ. 2556. การพัฒนาบทปฏิบัติการโดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง เรื่องโครงสร้างและหน้าที่ของพืชดอก สำหรับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. ปรินญา นิพนธ์ กศ.ม. (ชีววิทยา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สุเทพอุสาหะ. (2526).*การสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา*.มหาสารคาม: ภาควิชาเคมีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒมหาสารคาม.
- สุภาพวาดเขียน; และอรพินธ์โกชนดา. (2518).*การประเมินผลการเรียนการสอน*.กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- สุวัฒน์นิยมคำ. (2517). วิธีการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนากระบวนการคิด. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ภาพพิมพ์.
- Lukasz Tymecki 2008. Paired Emitter Detector Diode (Pedd)-Based Photometry – an Alternative Approach. The Royal Society of Chemistry.133: 1501.
- Matsuo Tsulomu.;et al. 1989. Construction of a Photoelectric Colorimeter and Application to Students' Experiments. Journal of Chemical Education. 66(4): 329-333.
- Mozo Juan D.; et al. (2001, March). Application of Light Emitting Diodes to Chemical Analysis: Determination of Copper in Water. Journal of Chemical Education. 78(3): 355-357.
- Thal Melissa A.;&Samide, Michael J. (2001, November).Applied Electronics: Construction of a Simple Spectrophotometer.*Journal of Chemical Education*.78(11): 1510-1512.