

เทคนิคทางโฟโตเมทรีด้วยสมาร์ตโฟน สำหรับรายวิชาเคมีระดับปริญญาตรี SMART PHONE PHOTOMETRY FOR UNDERGRADUATE CHEMISTRY COURSES

สุธิตา ประดับ¹ ทัดดาว เทพทิพย์² และวีรมลล์ ไวลิกhit^{3*}
Sutita Pradub¹ Taddaw Teptit² and Veeramol Vailikhit^{3*}

^{1,2,3}หน่วยวิจัยเคมีแบบยั่งยืน โครงการจัดตั้งภาควิชาเคมี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
^{1,2,3}Sustainable Chemistry Research Unit, Department of Chemistry, Faculty of Liberal Arts and Science,
Kasetsart University, KamphaenSaen, Nakhon Pathom, 73140, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: veeramol.v@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณของเหล็ก (II) โดยเทคนิคคลอริเมทรี โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายที่ประยุกต์ใช้แอปพลิเคชัน (ระบบ Android; color capture & identifier) บนสมาร์ตโฟน (Samsung Galaxy J7) สำหรับนิสิตปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 ภาควิชาเคมี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และเปรียบเทียบเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายกับเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ มีการจัดทำคู่มือปฏิบัติการและแบบทดสอบ ผลการทดลองพบว่าบทปฏิบัติการการหาปริมาณเหล็กโดยเทคนิคคลอริเมทรี เมื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินบทปฏิบัติการอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าความยากของแบบทดสอบอยู่ในช่วง 0.05 – 0.85 ค่าอำนาจจำแนกมีค่าอยู่ในช่วง 0.20 – 0.65 และเมื่อนำไปทดลองใช้มีค่าดัชนีประสิทธิผล เท่ากับ 0.34 นอกจากนี้ยังมีผลการเรียนดีขึ้นโดยเก็บข้อมูลตามแบบทดสอบที่ได้ออกแบบก่อนเรียนและหลังเรียน เมื่อวิเคราะห์ผลตามหลักสถิติโดยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$

คำสำคัญ: เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย เหล็ก (II) สมาร์ตโฟน โฟโตเมทรี วิชาเคมีระดับปริญญาตรี

Abstract

This research aims to develop the 2nd year chemistry undergraduate student experiment, the quantitative analysis of Fe (II) by colorimetric method, by using Android; color capture & identifier application on smartphone (Samsung Galaxy J7) at Department of Chemistry, Faculty of Liberal Arts and Sciences, Kasetsart University, KamphaenSaen Campus. The results from home-made colorimeter and spectrophotometer were compared. The laboratory direction and questions were made and used. The expert's attitude toward the development of analytical laboratory was "very good". Level of Difficulty was 0.05 - 0.85. Power of Discrimination was 0.20-0.65. Student achievement were improved by data on test designed pre-test and post-test.

Achievement in learning was satisfied by higher post-test scores recording that significant at 0.05 level.

Keywords: Home-made Colorimeter, Fe(II), Smart Phone, Photometry, Chemistry Course

บทนำ

เนื่องจากงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งหลายจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลทางเคมีวิเคราะห์ เพื่อนำผลวิเคราะห์นั้นไปปรับปรุงคุณภาพและพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพและเป็นผลดียิ่งขึ้น สเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์ทางเคมี ที่ผ่านมามีเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงมีราคาแพง และยังพบข้อเสียอื่นๆ คือ 1) มีราคาแพง ทำให้ผู้ที่ต้องการวิเคราะห์หรือใช้ในการศึกษาไม่สามารถมีไว้ได้อย่างทั่วถึง 2) ใช้งานยาก สำหรับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบที่ผู้ใช้เป็นผู้ปรับค่ามาตรฐานนั้นผู้ใช้งานต้องทำการปรับตั้งค่ามาตรฐานเองทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนความยาวคลื่น และ 3) มีค่าใช้จ่ายในการดูแลสูง บางครั้งเมื่อเสียต้องส่งกลับไปซ่อมยังต่างประเทศ เนื่องจากเครื่องนำเข้าจากต่างประเทศอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในวงจรไม่สามารถหาได้จากภายในประเทศไทย จึงต้องส่งกลับไปซ่อมยังต่างประเทศและยังทำให้ใช้เวลาในการส่งซ่อมนาน (Saingern, 2002)

ในปัจจุบันการเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วของสมาร์ตโฟนทั่วโลก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวิถีการสื่อสารและใช้อินเทอร์เน็ตอย่างสิ้นเชิง ปัจจุบันกำลังก้าวสู่ยุคที่มีการใช้สมาร์ตโฟนเพื่อประโยชน์ที่หลากหลายมากขึ้นและมีคนจำนวนมากที่กำลังแสวงหาแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการใช้ชีวิตในสังคม จนแอปพลิเคชันกลายเป็นสิ่งที่สำคัญกว่าชนิดของมือถือที่ใช้เสียอีก (Beyond, 2014) จึงมีผู้วิจัยก่อนหน้านี้จำนวนมากเล็งเห็นถึงประโยชน์ของสมาร์ตโฟนที่ปัจจุบันถือเป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่ประชากรส่วนใหญ่มีไว้ครอบครอง และได้หันมาประยุกต์ใช้สมาร์ตโฟนและแอปพลิเคชันในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์มากขึ้นเพื่อลดต้นทุน เช่น งานวิจัยเรื่อง Clinical chemistry measurements with commercially available test slides on a smartphone platform: Colorimetric determination of glucose and urea ซึ่งเป็นการใช้สมาร์ตโฟนที่ติดตั้งแอปพลิเคชัน Color Assist เป็นตัวตรวจวัดในการหาปริมาณยูเรียและกลูโคสในเลือด (Wu, et al., 2015) โดยอาศัยเทคนิคคลอโรรีเมตรีจากการวิเคราะห์หลักสูตรด้านวิทยาศาสตร์ในประเทศไทย พบว่า ในรายวิชาเคมีวิเคราะห์ของทุกมหาวิทยาลัยมีการใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ทั้งสิ้นเนื่องจากเครื่องดังกล่าวนี้เป็นเครื่องมือพื้นฐานในงานวิเคราะห์ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (Choorauk, et al., 2011) ดังนั้น เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์จึงมีความจำเป็นในการเรียนการสอน ผู้วิจัยจึงได้มีการพัฒนาเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย โดยประยุกต์ใช้หลักการการวัดสีของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเคมี (Colorimeter Method) ซึ่งเป็นหลักการเดียวกับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายนี้จะอ่านค่าสีของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเคมีด้วยสมาร์ตโฟน และแอปพลิเคชันเป็นตัวตรวจวัดในการวิเคราะห์ความเข้มข้นพื้นฐาน คือสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (R, G และ B) (Damkliang, et al., 2011) และติดตามผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังทำปฏิบัติการเคมีของนิสิตชั้นปีที่ 2 ในวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เชิงปริมาณ นอกจากนี้ยังพิจารณาการเลือกใช้คิวเวตต์พลาสติกพลาสติก ซึ่งประหยัดและลดการเกิดอันตรายกับผู้เรียนและผู้สอน (Vailikhit, 2015)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

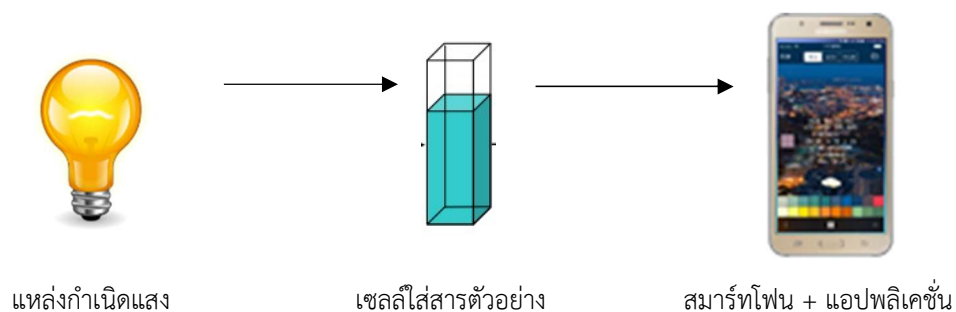
1. เพื่อเปรียบเทียบการวิเคราะห์หาปริมาณของเหล็ก (II) โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายที่ประยุกต์ใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน กับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อนำเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายที่ออกแบบไปทดลองในการเรียนการสอนกับนิสิตกลุ่มตัวอย่างชั้นปี 2 สาขาเคมี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
3. เพื่อทำการเปรียบเทียบนิสิตกลุ่มตัวอย่างชั้นปี 2 สาขาเคมี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนก่อนเรียนบทปฏิบัติการทดลองและหลังเรียนบทปฏิบัติการทดลอง

วิธีการวิจัย

1. สร้างเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย โดยศึกษาและกำหนดเงื่อนไขของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ที่จะสร้าง นั่นคือ 1) แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้คือ Light-emitting diode (LED) 2) ระยะโฟกัสระหว่างสารตัวอย่างและกล้องสมาร์ทโฟน และลักษณะของสเปกโตรมิเตอร์ เซลล์ที่ใช้ใส่สารตัวอย่าง รวมถึงแอปพลิเคชันที่ใช้สำหรับตรวจวัดความเข้มแสง แสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย

หัวข้อ	ข้อมูลทั่วไป
แหล่งกำเนิดแสง	หลอด Light-emitting diode (LED)
สีพื้นหลังภายในกล่อง	สีขาว
ระยะโฟกัส	13 cm
เซลล์ใส่สารตัวอย่าง	คิวเวตต์พลาสติก
สมาร์ทโฟน	Samsung Galaxy J7
แอปพลิเคชัน	Color Capture & Identifier
ช่วงความเข้มข้นที่สามารถตรวจวัดได้	0.6-4.0 ppm



ภาพ 1 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องสเปกโตรอย่างง่าย

2. การทำงานของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย

2.1 สร้างกราฟมาตรฐาน โดยใส่สารละลายมาตรฐานเหล็กความเข้มข้นต่างๆที่เตรียมขึ้นในขวดพลาสติก และวัดค่าระบบสี RGB โดยใช้สมาร์ทโฟนร่วมกับแอปพลิเคชัน Color Capture & Identifier จากนั้นแปลงค่าระบบสี RGB ที่วัดได้เป็นค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต ($\text{absorbance} = \log I/I_0$) และพลอตกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น (ppm)

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในสารตัวอย่าง โดยใส่สารละลายตัวอย่างในขวดพลาสติก และวัดค่าระบบสี RGB โดยใช้สมาร์ทโฟนร่วมกับแอปพลิเคชัน Color Capture & Identifier จากนั้นแปลงค่าระบบสี RGB ที่วัดได้เป็นค่าการดูดกลืนแสง และเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้กับกราฟมาตรฐาน

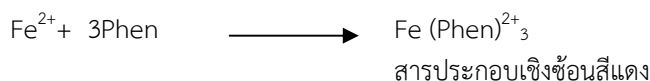
3. หาประสิทธิภาพของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย

3.1 การหาความแม่นยำ (accuracy) และความเที่ยง (precision) ของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายที่สร้างขึ้น โดยการวิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative standard Deviation) และวิเคราะห์หาค่า (relative error) แสดงดังตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในบทปฏิบัติการ พบว่ามีความแม่นยำในการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับค่าจริง

3.2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารละลายที่ทราบความเข้มข้นของสารละลายเหล็กที่ทราบความเข้มข้นจากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายที่สร้างขึ้นกับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ (UV-VIS Spectrophotometer รุ่น T80 UV/VIS Spectrometer, PG Instruments Ltd.) แสดงดังตาราง 2

4. การออกแบบบทปฏิบัติการ

4.1 ผู้วิจัยได้นำเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายใช้ในบทปฏิบัติการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณเหล็ก โดยใช้เทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรี และอาศัยปฏิกิริยาดังสมการที่ (1)



4.2 นำคู่มือบทปฏิบัติการที่ออกแบบขึ้นเป็นการหาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่าง จากการสร้างกราฟมาตรฐาน เสนอผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้อง

5. สร้างแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผู้วิจัยได้สร้างแบบทดสอบแล้วนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยอาจารย์ด้านเคมีวิเคราะห์ เคมีอินทรีย์ และเคมีอนินทรีย์ เพื่อพิจารณาความสอดคล้องระหว่างคำถามและตัวเลือกจากนั้นนำไปทดลองกับนิสิตที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างเพื่อพิจารณาความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนก โดยแบบทดสอบมีความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.05-0.85 และมีค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20-0.65

ตาราง 2 ประสิทธิภาพของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย

หัวข้อ	เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย	เครื่อง UV-VIS spectrophotometer
ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (LOD)*	0.586 – 0.694 ppm	0.023 ppm
ความเข้มข้นต่ำสุดที่หาปริมาณได้ (LOQ)*	0.773 – 0.841 ppm	0.023 ppm
ความแม่นยำในการตรวจวัด (accuracy)	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ อยู่ในช่วง 0.53 -3.89**	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ เท่ากับ 1.63
ความเที่ยงในการทวนซ้ำ (precision)	ภายในวันเดียวกัน (intraday)	%RSD = 1.33-3.85 % **
	ระหว่างวัน (interday)	%RSD = 3.05-3.48 % **
		%RSD = 0.04
		%RSD = 0.08

หมายเหตุ * ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัด (LOD) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถหาปริมาณได้ (LOQ) ของเครื่องยูวี-วิสซิบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีค่าเท่ากัน คือ 0.023

** เกณฑ์การยอมรับที่ Association of Official Analytical Chemists 1980 (AOAC)

กำหนดไว้ไม่ควรมากกว่าร้อยละ 2 สำหรับค่าความเที่ยงในการทวนซ้ำ แต่สำหรับความแม่นยำในการตรวจวัด AOAC กำหนดไว้ไม่ควรมากกว่าร้อยละ 5 (Ningnoy, 2006)

ผลการวิจัย

1. เมื่อทำการสร้างเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายดังตารางที่ 1 จากนั้นนำเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายเทียบกับเครื่อง UV-VIS spectrophotometer แสดงผลดังตารางที่ 2 นั่นคือทั้งค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่หาปริมาณได้จากเครื่อง UV-VIS spectrophotometer มีค่าต่ำกว่า ค่าที่ได้จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย ส่วนความแม่นยำในการตรวจวัดของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายมีค่าใกล้เคียงกับ ค่าที่ได้จากเครื่อง UV-VIS spectrophotometer และความเที่ยงในการทวนซ้ำ ค่า %RSD ของทั้งภายในวันเดียวกันและระหว่างวันนั้นของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer มีค่าน้อยกว่า เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย

2. คุณภาพของบทปฏิบัติการที่ประยุกต์ใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายที่พัฒนาขึ้น การหาคุณภาพของแบบทดสอบบทปฏิบัติการมีขั้นตอน คือ ทำการประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบของบทปฏิบัติการที่ออกแบบขึ้น โดยพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ผ่านแบบประเมินที่มีลักษณะเป็น 3 ระดับ จากนั้นพิจารณาคัดชั้นความเหมาะสมของคู่มือบทปฏิบัติการ (IOC) ระหว่างวัตถุประสงค์ ทฤษฎีเกี่ยวกับการทดลอง และวิธีการทดลองที่ออกแบบขึ้น พบว่าค่า IOC อยู่ในช่วง 0.67-1.00

3. ผลการสร้างแบบทดสอบ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบคู่มือบทปฏิบัติการ และแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากนั้นนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญพิจารณาความสอดคล้องระหว่างคำถามและตัวเลือกในแต่ละข้อ โดยใช้แบบประเมินที่มีค่า 3 ระดับ เมื่อพิจารณาค่า IOC พบว่าแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน อยู่ในระดับดีมาก (0.67-1.00) เมื่อนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไปพิจารณาหาความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก

(r) โดยทดสอบกับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง โดยคัดเลือกแบบทดสอบที่มีความยากง่าย (p) อยู่ในช่วง 0.05-0.85 และค่าอำนาจจำแนกอยู่ในช่วง 0.20-0.65 จากนั้นหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบจากสูตร KR-20 ของ Kuder-Richardson พบว่า มีค่าความเชื่อมั่นเป็น 0.98

4. ผลการนำบทปฏิบัติการการที่ออกแบบขึ้นไปประยุกต์ใช้กับกลุ่มตัวอย่าง มีผลดังนี้

ตาราง 3 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ก่อนและหลังปฏิบัติการทดลองการหาปริมาณเหล็กโดยเทคนิคัลเลอร์รีเมทรี

Topic	Score	Pre-test		Post-test		T-test	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	t	p
การหาปริมาณเหล็กโดยเทคนิคัลเลอร์รีเมทรี	20	7.00	6.60	10.55	5.12	0.2911	<0.05

หมายเหตุ <p 0.05 ค่า t = 2.0900

พบว่า มีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเป็น 7.00(6.60) และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเป็น 10.55(5.12) จากการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียน หลังเรียน พบว่านิสิตมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สรุปและอภิปรายผล

จากการทำการสร้างเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (II) โดยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายนี้เป็นการประยุกต์ใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน ซึ่งมีข้อมูลทั่วไปของเครื่อง ดังนี้ 1) แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้คือ หลอด LED 2) สีภายในกล่องเป็นสีขาว 3) ระยะโฟกัสระหว่างตัวอย่างกับสมาร์ตโฟนคือ 13 cm 4) เซลล์ใส่สารตัวอย่างที่ใช้เป็นคิวเวตต์พลาสติก 5) สมาร์ตโฟนที่ใช้เป็นตัวตรวจวัดคือ สมาร์ตโฟน Samsung Galaxy J7 6) แอปพลิเคชันที่ใช้ร่วมกับสมาร์ตโฟนคือ Color Capture & Identifier 7) ช่วงความเข้มข้นที่เครื่องวัดการดูดกลืนแสงสามารถตรวจวัดได้อยู่ในช่วง 0.6-4.0 ppm 8) LOD ของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายอยู่ในช่วง 0.586-0.694 ppm 9) LOQ ของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายอยู่ในช่วง 0.773-0.841 ppm 10) ความแม่นยำในการตรวจวัด แสดงเป็นค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ เมื่อเทียบกับเครื่องยูวี-วิสซิเบิลสเปกโตรโฟมิเตอร์ อยู่ในช่วง 0.53-3.89 11) ความเที่ยงในการทวนซ้ำ แบ่งเป็น 2 แบบ คือ (1) ภายในวันเดียวกันมี %RSD อยู่ในช่วง 1.33-3.85 (2) ระหว่างวันมี %RSD อยู่ในช่วง 3.05-3.48 เมื่อออกแบบการทดลองให้สอดคล้องกับคุณสมบัติของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายคือ กำหนดให้หาปริมาณเหล็ก (II) ในช่วง 0.0-4.0 ppm จากนั้นเทียบความคลาดเคลื่อนที่เครื่องวัดการดูดกลืนแสงหาได้กับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้เท่ากับ 5.93 % และได้ออกแบบคู่มือปฏิบัติการและข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไปทดลองใช้ ซึ่งเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่สร้างขึ้นทำให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต และความสามารถในการสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณสารตัวอย่าง นอกจากนี้ยังทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระบบสี RGB กับค่าการดูดกลืนแสง โดยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายที่สร้างขึ้นนี้สามารถใช้งานได้ง่าย ราคาประหยัดและมีความปลอดภัยมากขึ้น มีการประยุกต์ใช้สิ่งที่มีอยู่แล้วให้มีประโยชน์มากขึ้น เช่น สมาร์ตโฟน

จากนั้นนำชุดการทดลองการหาปริมาณเหล็กโดยเทคนิคัลเลอริเมทรีที่ออกแบบไปทดลองในการสอนกับนิสิตกลุ่มตัวอย่างชั้นปี 2 คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ในวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เชิงปริมาณ ปีการศึกษา 2558 จำนวน 20 คน พบว่านิสิตมีผลการเรียนดีขึ้น เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งคะแนนเฉลี่ยหลังปฏิบัติการทดลองสูงกว่าก่อนปฏิบัติการทดลองเท่ากับ 10.55 และ 7.00 ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหลังปฏิบัติการทดลองและก่อนการทดลองเท่ากับ 5.12 และ 6.60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ข้อเสนอแนะ

การนำผลการวิจัยไปใช้ จะต้องเตรียมความเข้มข้นของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างให้เหมาะสม และในงานวิจัยครั้งต่อไปควรนำแบบทดสอบที่ออกแบบขึ้นไปใช้กับกลุ่มที่เรียนด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบกลุ่มที่เรียนด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ และเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายยังสามารถถูกพัฒนาให้มีความเที่ยงในการทวนซ้ำให้เป็นไปตามมาตรฐาน AOAC ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ อนุรักษ์อุดม, ดร.ทิพย์วรรณ รุ่งสว่าง และ ดร.เกษศิรินทร์ เอกสินีร์กุล ในการให้คำปรึกษา

References

- Beyond, M. (2014). *10 Hot Trends Smart phones change the world*. Ericsson Consumer Lab. Retrieved 9 November 2016, from http://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1388938106.
- Campos, A. R., Knutson, C. M., Knuson, T. R., & Mozzetti, A. R. (2015). Quantifying gold nanoparticle concentration in dietary supplement using smartphone colorimetry and google applications. *J. Chem. Educ.*, 93(2), 318-321.
- Chatwongwan, K., Dungkananurak, N., Pornsillapapit, P., Sutthiwaiyakit, P., Jirapuminin, M., Chansattikun, S., & Wongchaisuwat, A. (n.d.) *Laboratory in Chemical Quantitative Analysis*. Bangkok: Faculty Science, Kasetsart University. (in Thai)
- Choorauk, J., Rattanavimanwong, N., & Donbandit, P. (2011). *Development of an Analytical Chemistry Laboratory Course with use of Home-made Colormeter*. (Master thesis). Bangkok: Srinakharinwirot University. (in Thai)
- Damkliang, K., Aeksinitkun, K., Puttawong, W., & Vailikhit, V. (2015). *Comparison of a smart-phone application to a laboratory spectrometer for methamphetamine measurement*. In the 1st National Conference 2015 on Innovation Education for Sustainable Development. Bangkok: Siam Technology College. (in Thai)

- Kitrakan, P., (2003). *Effectiveness index*. Handouts. Maha Sarakham: Faculty of Education, Maha Sarakham University. (in Thai)
- Masawat, P., Harfield, A., & Namwong, A. (2015). An iPhone-based digital image colorimeter for detecting tetracycline in milk. *J. Food Chemistry*, 184, 23-29.
- Ningnoy, T. (2006). *Guideline test the accuracy of the method of chemical analysis by a laboratory*. Nonthaburi: Department of Medical Science Ministry of Public Health. (in Thai)
- Saingern, K. (2002). *Spectrophotometer design standard automatic settings*. (Master thesis) Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Tsulomu M. (1989). Construction og a photoelectric colorimeter and application to students' experiments. *J. Chem. Educ.*, 66(4), 329-333.
- Vailikhit, V. (2015). *Real benefits of plasticware replacement of glassware in the chemistry laboratory*. In the Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual conference. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- WichaiLati. (2012). Enhancement of learning achievement and integrated science process skills using science inquiry learning activities of chemical reaction rates. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 46, 4471-4475.
- Wu, Y., A., Boonloed, N., Sleszynski, M., Koesdjojo, C., Armstrong, S., Bracha., V., & T. Remcho. (2015). Clinical chemistry measurements with commercially available test slides on a smartphone platform: colorimetric determination of glucose and urea. *Clinica Chimica Acta*, 448, 133-138.