



การออกแบบชุดทดลองอย่างง่ายสำหรับวัดการดูดกลืนแสงในการสอนเคมี: การหาปริมาณน้ำตาลในเครื่องดื่ม

ธนิตา ศิริรัตน์* และ อิศรพงษ์ เชื้อสันเกียรติ

คณะวิทยาการการเรียนรู้และศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 2564 4440 ต่อ 1787 อีเมล: tanita.si@sed.tu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.014

รับเมื่อ 20 เมษายน 2563 แก้ไขเมื่อ 1 มิถุนายน 2563 ตอรับเมื่อ 8 มิถุนายน 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 24 พฤษภาคม 2564

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ตัวต่อเลโก้ซึ่งเป็นหนึ่งในของเล่นยอดนิยมสำหรับหลายคนในทุกช่วงวัยได้ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุหลักในการสร้างชุดทดลองวัดการดูดกลืนแสงของสาร โดยมีแนวคิดในการออกแบบคือ ทำจากวัสดุที่หาได้ง่าย ลดความซับซ้อนของส่วนประกอบภายในลง เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจในหลักการของการดูดกลืนแสง ผู้เรียนสามารถประกอบได้ด้วยตนเองได้ ชุดทดลองสามารถใช้เป็นนวัตกรรมสื่อการสอนในการจัดการเรียนการสอนที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านการลงมือทำภายใต้สถานการณ์จริงในหัวข้อวิธีทางสเปกโทรสโกปี กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต เป็นต้น ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพการทำงานโดยใช้วัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลาย 3 ชนิด ซึ่งเตรียมขึ้นมาในห้องปฏิบัติการ จากนั้นถูกนำไปใช้ในบริบทจริงโดยใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลในเครื่องดื่มที่ขายตามท้องตลาด 3 ยี่ห้อ ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณน้ำตาลในเครื่องดื่มทั้ง 3 ยี่ห้อ ที่วิเคราะห์ด้วยชุดทดลองให้ค่าที่ใกล้เคียงกับที่ปรากฏข้างขวดโดยมีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ในช่วง $\pm 5\%$ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 5% ซึ่งแสดงถึงความถูกต้องและความแม่นยำในการวัดของชุดทดลองที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เลโก้ ชุดทดลองอย่างง่าย การวัดการดูดกลืนแสง น้ำตาล



Designing a Simple Experimental Kit for Absorbance Measurement in Teaching Chemistry: Determining Sugar Content in Beverages

Tanita Sirirat* and Itsarapong Chuasontia

Faculty of Learning Science and Education, Thammasat University, Pathum Thani, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 2564 4440 Ext. 1787, E-mail: tanita.si@lsed.tu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.014

Received 20 April 2020; Revised 1 June 2020; Accepted 8 June 2020; Published online: 24 May 2021

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Lego™, which is a popular toy for all ages has been used as the main material to construct an absorbance measurement kit. The design concept is that the experimental kit was made with materials that are easy to find. Its internal components were simplified to help students clearly understand the concept of the absorbance. Students can build the experimental kit on their own. The designed chemical experiment instrument, utilized as an instructional material, actively promotes learning through its orientation to real-world contexts, predominantly on the topics of spectroscopic methods and the Beer-Lambert law. The performance of the experimental kit was tested by measuring the absorbance to investigate the concentration of 3 solutions, which had been prepared in the laboratory. The experimental kit was then applied in a real context to determine sugar content in beverages. The results show the consistency of sugar content in beverages measured by the experimental kit and the one identified on nutrition labels. The relative errors are in the range of $\pm 5\%$ while relative standard deviations is less than 5%. This confirms the accuracy and precision of the experimental kit, indicating its effective performance.

Keywords: Lego, Simple Experimental Kit, Absorbance Measurement, Sugar

Please cite this article as: T. Sirirat and I. Chuasontia, "Designing a simple experimental kit for absorbance measurement in teaching chemistry: Determining sugar content in beverages," *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 3, pp. 512–526, Jul.–Sep. 2021 (in Thai).

1. บทนำ

เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบดูดกลืนแสงเป็นเครื่องมือทางฟิสิกส์และเคมีที่ใช้วิเคราะห์สาร โดยอาศัยสมบัติการดูดกลืนแสงของสารในช่วงแสงยูวีถึงแสงอินฟราเรด การวัดการดูดกลืนแสงของสารสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น นำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารในรูปของความเข้มข้น การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาร การศึกษาจลนศาสตร์เคมี ด้วยเหตุนี้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จึงเป็นที่นิยมในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ด้านเคมี ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านอาหาร หรือด้านการแพทย์ ฯลฯ รวมไปถึงใช้งานในสถานศึกษาทั้งทำวิจัยและจัดการเรียนการสอนในบทเรียนที่เกี่ยวข้อง เช่น สเปกตรัมการดูดกลืน กฏของเบียร์-แลมเบิร์ต วิธีทางสเปกโทรสโกปี

สำหรับการใช้งานด้านการศึกษา ด้วยตัวเครื่องที่มีองค์ประกอบภายในซับซ้อนซึ่งถูกจัดวางไว้ในกล่องปิดไม่สามารถเห็นส่วนประกอบของเครื่องได้ ทำให้ผู้เรียนต้องใช้จินตนาการควบคู่กับการทำความเข้าใจในหลักการการทำงานของเครื่อง ประกอบกับตัวเครื่องมีราคาสูง แต่ละที่มีมักจะมียี่ห้อหนึ่งเครื่องเท่านั้น ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนโดยเฉพาะวิชาปฏิบัติการ หรือการสอนในภาคทฤษฎีที่เน้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้จากประสบการณ์ตรงผ่านการลงมือทำก็จะเป็นไปได้ยากเนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือ

งานวิจัยที่ผ่านมา [1]–[5] จึงสนใจที่จะสร้างเครื่องมือขึ้นเองเพื่อใช้เป็นนวัตกรรมสื่อการสอนที่สามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณของสารองค์ประกอบได้ โดยใช้วัสดุราคาไม่แพง ตัวเครื่องสามารถเปิดให้เห็นส่วนประกอบภายในเครื่องได้ ช่วยให้ผู้ใช้เห็นและเข้าใจหลักการการทำงานของเครื่องซึ่งนำหลักการแสงทางฟิสิกส์มาประยุกต์ได้ง่ายกว่าการเรียนผ่านเอกสาร เครื่องมือที่สร้างขึ้นอาศัยหลักการพื้นฐานคือ ฉายแสงที่มีความยาวคลื่นเหมาะสมผ่านสารตัวอย่างในที่มีมิติจากนั้นวัดปริมาณแสงที่ส่องผ่านออกมาจากสารเทียบกับปริมาณแสงเริ่มต้นที่ปล่อยจากแหล่งกำเนิด ผลต่างที่ได้คือปริมาณแสงที่ถูกสารนั้นดูดกลืนไว้ จากหลักการดังกล่าววัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ 1) โครงสร้างภายนอกมีการประยุกต์ใช้กล่องกระดาษแข็ง [6] กล่องไม้

ตัวต่อเลโก้หรือวัสดุขึ้นรูปจากเครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อป้องกันแสงจากสภาพแวดล้อมโดยรอบเข้ามารบกวนปริมาณแสงที่ต้องการตรวจวัด 2) แหล่งกำเนิดแสง สามารถใช้ได้ทั้งแสงขาวที่เป็นหลอดฮาโลเจนและหลอด LED หรือใช้เป็นแสงสีเดียวจากหลอด LED แต่อาจจะมีการจำกัดในเรื่องชนิดของสารที่สามารถวิเคราะห์ได้ ทั้งนี้ ถ้าหากเลือกใช้แสงขาวจะต้องมีส่วนประกอบที่เป็นตัวแยกแสงออกตามแต่ละช่วงความยาวคลื่นเพิ่มขึ้นมา และ 3) ตัวรับแสง การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งกำเนิดแสงด้วย หากเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงสีเดียวสามารถใช้ได้ทั้งหลอดไฟ LED และโฟโตไดโอด [7], [8] ซึ่งจะรับแสงที่จำเพาะสีเป็นตัวรับแสงได้หรือจะใช้ตัวต้านทานไวแสง (LDR) ที่สามารถรับแสงในช่วงสีที่กว้างกว่าได้เช่นกัน แต่หากเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีหลายช่วงความยาวคลื่น เช่น แสงขาว ควรใช้กล้องถ่ายรูป DSLR [9] หรือกล้องมือถือเป็นอุปกรณ์ในการรับแสง และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือแอปพลิเคชันบนมือถือแปลผลอีกต่อหนึ่งเนื่องจากในอุปกรณ์เหล่านี้มีเซ็นเซอร์รับแสงที่สามารถรับแสงได้ละเอียดและหลายช่วงความยาวคลื่นแสง ดังนั้นการเลือกใช้อุปกรณ์ในแต่ละส่วนนั้น มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแนวคิดในการออกแบบและเป้าหมายการใช้งานอุปกรณ์ จากที่กล่าวมาข้างต้นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นส่วนใหญ่เป็นแบบสำเร็จพร้อมใช้งาน ถ้าหากออกแบบให้ผู้ใช้งานสามารถประกอบส่วนต่างๆ ของเครื่องมือด้วยตนเอง ได้คิดลองผิดลองถูก ลงความเห็น ตัดสินใจ และแก้ไขปัญหาดังแต่ การเลือกวัสดุ การต่อส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องซึ่งต้องอาศัยความเข้าใจในหลักการการทำงานของเครื่อง ไปจนถึงการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นเองทำการทดลองวิเคราะห์ผลและสรุปผล กระบวนการทั้งหมดนี้จะช่วยส่งเสริมทักษะการเรียนรู้ในยุคศตวรรษที่ 21 ที่เน้นให้เรียนรู้ผ่านประสบการณ์ตรงเน้นการปฏิบัติจริง [10]

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางการสร้างชุดทดลองสำหรับวัดการดูดกลืนแสงของสารเพื่อใช้เป็นนวัตกรรมสื่อการสอน โดยผู้ใช้สามารถออกแบบและประกอบเครื่องด้วยตนเองได้ ตัวต่อเลโก้จึงถูกเลือกสำหรับเป็นโครงสร้างภายนอกของอุปกรณ์ และลดความซับซ้อนของส่วนประกอบ

ภายในของ เช่น แหล่งกำเนิดแสง และอุปกรณ์รับแสง เป็นต้น เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจในหลักการการทำงานและใช้งานง่าย ทั้งนี้ ชุดทดลองจะถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน โดยทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย 3 ชนิด ซึ่งเตรียมขึ้นมาในห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลาย หลังจากนั้นเป็นการทดสอบประสิทธิภาพโดยนำไปใช้งานจริงด้วยการนำมาใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลในเครื่องดื่มในท้องตลาด 3 ยี่ห้อ และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับปริมาณน้ำตาลที่ระบุไว้ในฉลากของเครื่องดื่มชนิดนั้น

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 หลักการดูดกลืนแสงและกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต

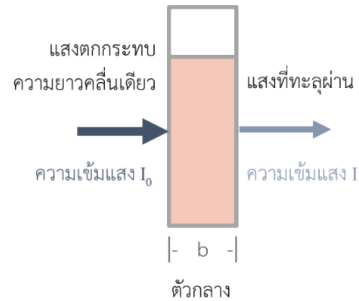
สสารใดๆ จะดูดกลืนแสงได้เฉพาะในช่วงที่มีความยาวคลื่นเหมาะสมกับสสารนั้น ซึ่งความยาวคลื่นแสงจะสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณของสาร เมื่อผ่านแสงความยาวคลื่นเดียวที่มีความเข้ม I_0 ไปยังสารที่มีความหนา b เซนติเมตร ตามรูปที่ 1 สารจะดูดกลืนพลังงานของแสงในช่วงที่เหมาะสมทำให้แสงที่ทะลุผ่านออกมามีความเข้ม I ลดลงจากค่าแสงตกกระทบ ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance; A) ของสารละลายสามารถเขียนในรูปความเข้มแสงได้ดังสมการที่ (1) [11] คือ

$$A = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (1)$$

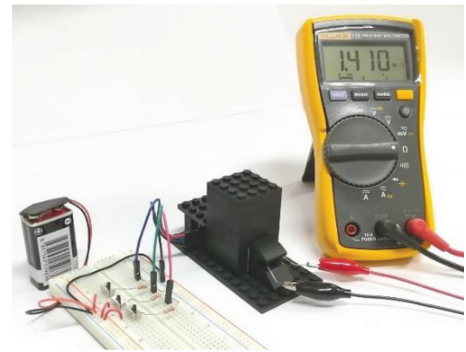
หลักการดูดกลืนแสงสามารถประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาปริมาณสารในรูปความเข้มข้นได้ตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต ซึ่งกล่าวว่า เมื่อฉายแสงความยาวคลื่นเดียวผ่านสารละลาย ค่าการดูดกลืนแสงของสารจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารนั้นและระยะทางที่แสงส่องผ่าน เขียนได้เป็นดังสมการที่ (2)

$$A = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \epsilon bc \quad (2)$$

เมื่อ c คือ ความเข้มข้นของสารละลาย b คือ ความหนาของตัวกลางที่แสงผ่าน ϵ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงโมลาร์



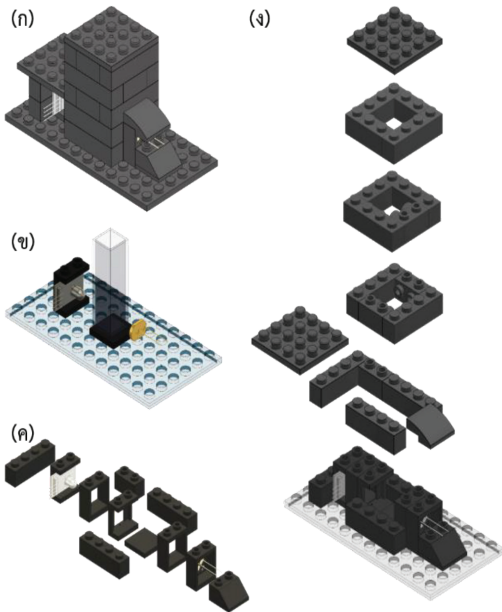
รูปที่ 1 การวัดการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง



รูปที่ 2 ชุดทดลองวัดการดูดกลืนแสงที่ต่อสมบูรณ์

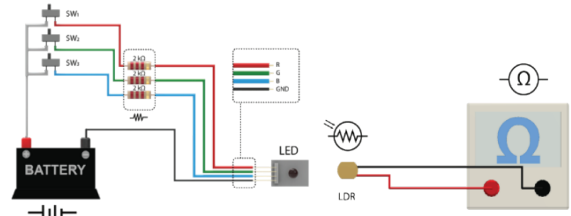
2.2 การสร้างชุดทดลองสำหรับวัดการดูดกลืนแสง

ตัวอย่างชุดทดลองวัดการดูดกลืนแสงที่ต่อสมบูรณ์ แสดงดังรูปที่ 2 สำหรับตัวกล่องอุปกรณ์ สร้างขึ้นโดยใช้ตัวต่อเลโก้รูปแบบต่างๆ นำมาต่อประกอบกันเพื่อทำเป็นโครงสร้างของอุปกรณ์ ในการสร้างใช้ตัวต่อเลโก้สีดำทุกชิ้นเพื่อลดปัจจัยอื่นจากอุปกรณ์ที่อาจมีผลต่อการวัดปริมาณของแสง [รูป 3 (ก)] ส่วนประกอบภายในของอุปกรณ์แบ่งเป็น 3 ส่วนตามหน้าที่การทำงาน คือ แหล่งกำเนิดแสง คิวเวทท์บรรจุสารตัวอย่าง และตัวรับแสง ดังรูป 3 (ข) 1) แหล่งกำเนิดแสง ใช้หลอดไฟแอลอีดี อาร์จีบี (LED RGB) 3 สี แบบมอดูล (Full Color KY-016 LED Module) ต่อเข้ากับชิ้นส่วนเลโก้ที่เป็นหน้าต่างทรงโค้ง (1x2xRound) 2) คิวเวทท์บรรจุสารตัวอย่าง ใช้ขนาดมาตรฐาน 10 x 10 มิลลิเมตร วัสดุเป็นพลาสติกทำจากพอลิสไตรีนซึ่งเหมาะสำหรับใช้งานในช่วงความยาว



รูปที่ 3 โครงสร้างชุดทดลองวัดการดูดกลืนแสง (ก) ภายนอกของกล่องอุปกรณ์ (ข) ส่วนประกอบภายในของอุปกรณ์ (ค) โครงสร้างอุปกรณ์ชั้นฐาน (ง) โครงสร้างช่องใส่ตัวเวทท์

คลื่น 340–900 นาโนเมตร สำหรับการต่อช่องใส่ตัวเวทท์ขึ้นส่วนเล็กลูกนำมาต่อเป็นช่องสี่เหลี่ยมสำหรับใส่ตัวเวทท์ โดยฐานวางตัวเวทท์ใช้ชิ้นส่วนเล็กลูกแบบกระเบื้อง (2 x 2 Tile) และตัวผนังช่องสี่เหลี่ยมใช้ชิ้นส่วนเล็กลูกแบบอิฐ (1 x 2 และ 1 x 4 Bricks) ต่อผสมกันขึ้นเป็นชั้น รวม 5 ชั้น และเสริมด้วยชิ้นส่วนเล็กลูกแบบอิฐที่มีปุ่มด้านข้าง (1 x 2 Modified Brick with Stud) เพื่อให้ขนาดช่องพอดีกับขนาดของตัวเวทท์ ดังรูปที่ 3 (ง) 3) ตัวรับแสง ใช้ตัวต้านทานไวแสง (Light Dependent Resistor; LDR) เป็นตัวรับแสงเพื่อตรวจวัดปริมาณของแสงที่ผ่านสารตัวอย่าง โดยใช้ชิ้นส่วนเล็กลูกที่เป็นช่องหน้าต่างแบบตาข่าย (1 x 2 x 2 Window with Lattice) เป็นตัวยึดตัวต้านทานไวแสงให้อยู่ในตำแหน่งเหมาะสม ดังรูปที่ 3 (ค) ในการวัดปริมาณแสง LDR จะถูกต่อเข้ากับโอห์มมิเตอร์เพื่อวัดความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะแปรผกผันกับปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบ LDR การต่อ LDR



รูปที่ 4 วงจรไฟฟ้าควบคุม LED และ วงจรวัดความต้านทานตกคร่อม LDR

เข้ากับโอห์มมิเตอร์ ขาข้างหนึ่งของ LDR จะต่อเข้ากับช่องวัดความต้านทานที่มีสัญลักษณ์ Ω ของมัลติมิเตอร์โดยใช้สายไฟปากจระเข้สีแดง (เบอร์ 24 AWG) เป็นตัวเชื่อม และขาอีกข้างของ LDR ต่อเข้ากับขาราวด์ (Ground) ของมัลติมิเตอร์โดยใช้สายไฟปากจระเข้สีดำเป็นตัวเชื่อม ดังรูปที่ 2

การจ่ายไฟในวงจร ขาแอนโอดของหลอดไฟ LED ทั้ง 3 ขาจะต่อเข้ากับตัวต้านทานขนาด 2 กิโลโอห์ม แบบอนุกรมเพื่อให้หลอดไฟสามารถทำงานได้ในช่วงที่ไม่เกิดความเสียหายและช่วยจำกัดความสว่างของแสงที่ออกมาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยใช้สายจัมเปอร์แบบผู้-เมีย ยาว 10 เซนติเมตร สีแดง เขียว และน้ำเงินเป็นตัวเชื่อมระหว่างขาหลอด LED และตัวต้านทาน สีของสายไฟแทนสีของหลอด LED ที่สายไฟนั้นต่ออยู่ จากนั้นต่อตัวต้านทานเข้ากับสวิตช์เลื่อน 2 ทาง (SW) เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดไฟแต่ละสีโดยที่อุปกรณ์เหล่านี้ต่อบนบอร์ดทดลองวงจร (Breadboard) ขนาด 830 ช่อง ขาของสวิตช์อีกข้างหนึ่งเชื่อมกับแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ ซึ่งเป็นการจ่ายไฟด้วยขั้วถ่านสายสีแดง ส่วนขั้วลบของแบตเตอรี่จะถูกต่อเข้ากับขาราวด์ของหลอด LED โดยใช้สายไฟสีดำเพื่อให้กระแสไฟไหลครบวงจร ดังรูปที่ 4 ซึ่งอุปกรณ์หาได้จาก Arduinoall.com

2.3 การวัดการดูดกลืนแสง

เมื่อฉายแสงผ่านสารละลายปริมาณแสงที่สารละลายดูดกลืนไว้จะไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของความเข้มแสงตามสมการที่ (1) ในงานวิจัยนี้ การวัดปริมาณแสงจะใช้ LDR เป็นตัวรับแสงซึ่งจะมีค่าความ

ด้านทานเปลี่ยนไปตามปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบ โดยการต่อ LDR เข้ากับโอห์มมิเตอร์เพื่อวัดความต้านทานที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งค่าความต้านทานที่อ่านได้จะแปรผกผันกับปริมาณแสงที่ตกกระทบ [12] ดังนั้นจากสมการที่ (1) ค่าการดูดกลืนแสงสามารถเขียนให้อยู่ในรูปความต้านทานได้เป็น

$$A = -\log\left(\frac{R_0}{R}\right) \quad (3)$$

เมื่อ R_0 คือ ความต้านทานเริ่มต้นของ LDR เมื่อผ่านหลอดค่าเปล่า (Blank)

R คือ ความต้านทานของ LDR หลังผ่านสารตัวอย่าง

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณสารโดยใช้หลักการดูดกลืนแสง

การวิเคราะห์หาปริมาณสารโดยใช้หลักการดูดกลืนแสงนั้น จะใช้วิธีสร้างกราฟมาตรฐาน ทำได้โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนอย่างน้อย 3-4 ค่าความเข้มข้น ที่ความยาวคลื่นเดียวกันหรือใช้แสงสีเดียวกัน จากนั้นนำข้อมูลมาสร้างกราฟโดยให้แกน y เป็นค่าการดูดกลืนแสง และแกน x เป็นความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งกราฟมาตรฐานจะต้องเป็นกราฟเส้นตรง ดังแสดงตามรูปที่ 5 ก่อนนำกราฟมาตรฐานไปใช้ต้องแน่ใจว่ากราฟมาตรฐานดังกล่าวแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต โดยนำข้อมูลคู่อันดับไปวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติหาความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Regression) และพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่งควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.995 สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\hat{y} = a_1 + b_1 x_i \quad (4)$$

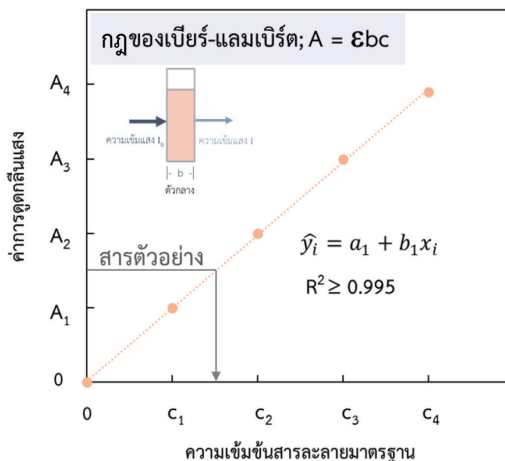
เมื่อ a_1 คือ จุดตัดแกน y ของเส้นตรงประมาณการถดถอย

b_1 คือ ความชันของเส้นตรงประมาณการถดถอย

x_i คือ ตัวแปรอิสระที่ทราบค่า

\hat{y} คือ ตัวประมาณค่าของตัวแปรตาม

สมการที่ (4) ได้จากการคำนวณทางสถิติโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดตาม [13] หรือจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Excel



รูปที่ 5 กราฟสารละลายมาตรฐาน

ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารในสารตัวอย่างทำโดยนำค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างที่วัดได้ไปใช้คำนวณหาความเข้มข้นของสารโดยใช้สมการที่ (4) โดย \hat{y} แทนค่าการดูดกลืนแสง และ x_i แทนความเข้มข้นของสาร

2.5 สารเคมีและการเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์น้ำตาล

เมทิลออเรนจ์ โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) และโบรมไทมอลบลู เกรดห้องปฏิบัติการ ของแกมมาโก้ (ประเทศไทย) จำกัด นำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลในเครื่องดื่ม ประกอบด้วย กรดไฮโดรคลอริก 37% (CARLO ERBA, Italy) เกรดสำหรับการวิเคราะห์ใช้สำหรับกระบวนการไฮโดรไลซิสน้ำตาลซูโครสด้วยกรด โซเดียมไฮดรอกไซด์ (แกมมาโก้ ประเทศไทย) เกรดห้องปฏิบัติการ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กรด-3, 5-ไดไนโตรซาลิไซลิก (3, 5-dinitrosalicylic acid; DNSA) เกรดสำหรับการวิเคราะห์ของ CARLO ERBA (Italy) ใช้เป็นตัวออกซิไดซ์ และใช้น้ำกลั่นในการเตรียมสารละลายตลอดการทดลอง

การเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์น้ำตาล ทำโดยนำสารละลายน้ำตาลมาตรฐานที่แต่ละความเข้มข้นและสารละลายตัวอย่างจากเครื่องต้ม 3 ชนิด ปริมาตร 2 มิลลิลิตร มาเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำมาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2.5 โมลาร์ ปริมาตร 8 มิลลิลิตร และตามด้วยสารละลาย DNSA เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันพร้อมปิดหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์ม และนำไปต้มในน้ำเดือดอีกครั้งเป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบกำหนดนำไปแช่ในน้ำเย็นทันทีเป็นเวลา 10 นาที จะได้สารผลิตภัณฑ์สีน้ำตาลแดง [14]

2.6 เครื่องมือในการวิเคราะห์

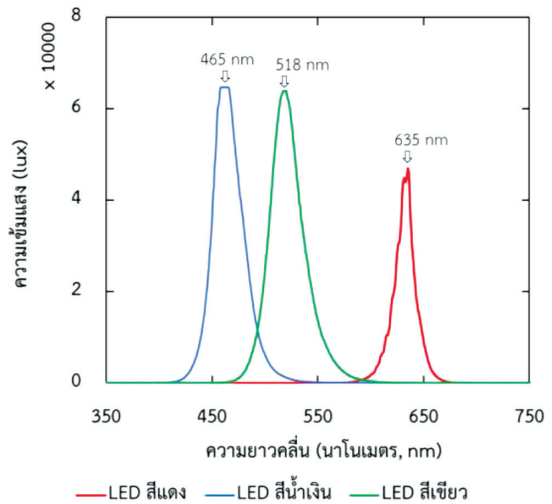
เครื่องออปติคอลอิมมัลชันสเปกโตรมิเตอร์ (Optical Emission Spectrometer; OES) รุ่น AvaSpec 2048 Miniature Fiber Optic Spectrometer ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงที่เปล่งออกมาโดยใช้โปรแกรม AvaSoft ซึ่งทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น 200–800 นาโนเมตร

การวัดค่าการดูดกลืนแสงใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น T60 Model ของ PG Instruments สำหรับเป็นเครื่องมือมาตรฐานในการวิเคราะห์ และใช้เครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ Fluke รุ่น 115 TrueRMS ในการวัดค่าความต้านทานของ LDR รวมถึงใช้ดิจิทัลลิกซ์มิเตอร์ยี่ห้อ Frederiksen ในการวัดค่าความเข้มแสง

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

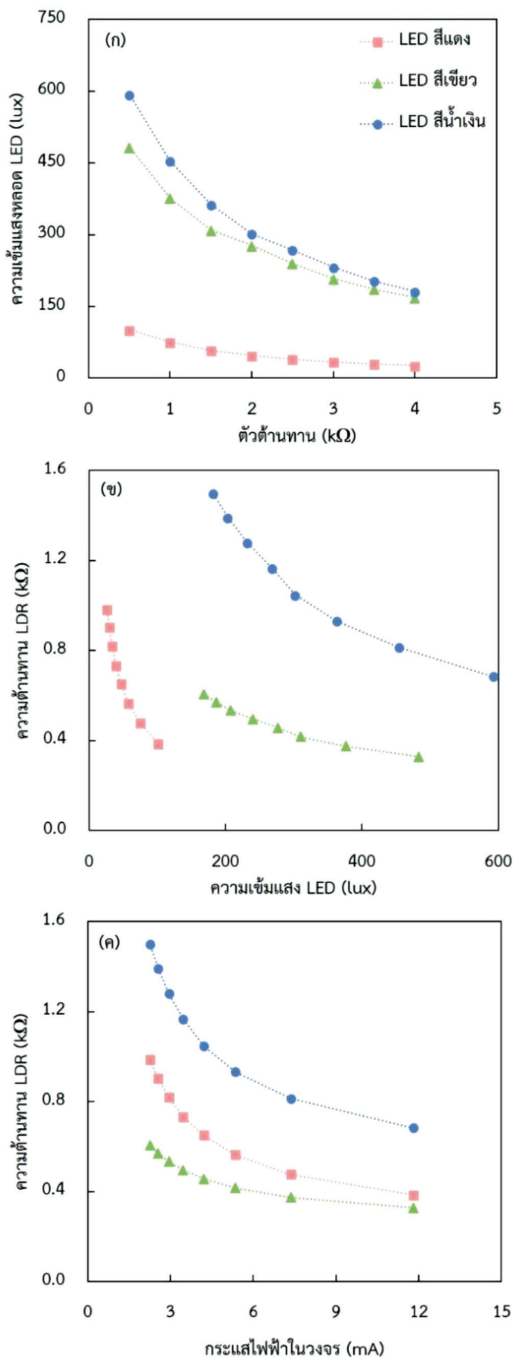
3.1 วิเคราะห์คุณภาพของแหล่งกำเนิดแสงและการทำงานของตัวรับแสง

ก่อนนำชุดทดลองไปใช้งาน หลอดไฟแอลอีดี อาร์จีบี 3 สี แดง เขียว น้ำเงิน แบบมอดูลซึ่งใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง ถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพของแสง เพื่อศึกษาความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมา ผลการตรวจสอบพบว่า แสงสีแดง เขียว และน้ำเงินมีความยาวคลื่นที่มีความเข้มแสงสูงสุดเท่ากับ 635, 518 และ 465 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยที่ปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากัน LED แสงสีน้ำเงินจะให้ความเข้มแสงสูงสุด ในขณะที่หลอดสีแดงให้ความเข้มแสงต่ำสุด ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง LED สีแดง เขียว และน้ำเงิน

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรที่ค่าใดๆ ขณะต่อต้านทานปรับค่าได้ขนาด 10 กิโลโอห์ม หากเพิ่มความต้านทานครั้งละ 500 โอห์ม จนถึง 4 กิโลโอห์ม พบว่า เมื่อค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นความเข้มแสงที่เปล่งออกจาก LED ทั้ง 3 สี จะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 7 (ก) และจะเห็นว่าค่าความเข้มแสงที่เปล่งออกมามีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าความต้านทานของตัวรับแสง ตามรูปที่ 7 (ข) สอดคล้องกับหลักการการทำงานของตัวต้านทานไวแสงที่นำมาใช้เป็นตัวรับแสงในชุดทดลองนี้ซึ่งจะปรับค่าความต้านทานตามปริมาณของแสงที่ตกกระทบ นอกจากนี้หากพิจารณาผลจากความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงแต่ละสีต่อความต้านทานของ LDR พบว่า ความต้านทานจะลดลงตามความเข้มแสงที่ตกกระทบแต่การตอบสนองของ LDR ต่อแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 สี ต่างกัน จากรูปที่ 7 (ค) ค่าความต้านทานของ LDR เมื่อให้กระแสไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดแสงแต่ละสีเท่ากัน พบว่าแสงสีเขียวให้ค่าความต้านทานของ LDR ต่ำสุดเมื่อเทียบกับแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงิน แม้ว่าแสงสีน้ำเงินจะให้ความเข้มแสงมากที่สุด แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการตอบสนองต่อแสงของ LDR ที่ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง



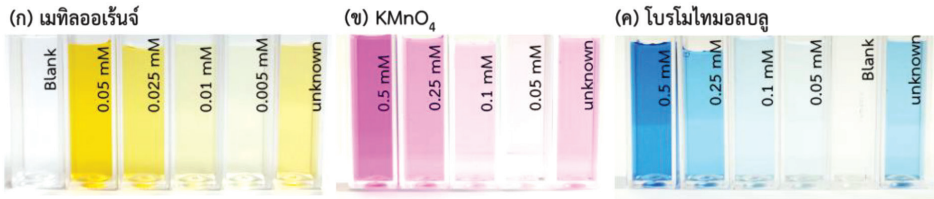
รูปที่ 7 ความเข้มแสงหลอด LED เมื่อปรับ (ก) ค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ และการตอบสนองของ LDR ต่อ (ข) ความเข้มแหล่งกำเนิดแสง (ค) ปริมาณกระแสไฟฟ้าในวงจร

ที่ตกกระทบ สำหรับ LDR ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชนิดแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ซึ่งจะตอบสนองได้ดีที่ความยาวคลื่นประมาณ 513 นาโนเมตร และว่องไวน้อยต่อแสงความยาวคลื่นประมาณ 475 นาโนเมตร เนื่องจาก CdS เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) เท่ากับ 2.42 อิเล็กตรอนโวลต์ ทำให้สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่นประมาณ 513 นาโนเมตร กลไกการดูดกลืนแสงนี้จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนซ์ (Valence Band) ไปยังแถบการนำ (Conduction Band) ก่อให้เกิดการสร้างโฟโตอิเล็กตรอนขึ้นมา ทำให้สารกึ่งตัวนำ CdS นำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานของ LDR ลดลง ซึ่งกลไกที่เกิดขึ้นนี้จะแตกต่างกันในแต่ละช่วงความยาวคลื่นสอดคล้องกับงานวิจัย [12] ที่ศึกษาการตอบสนองของ LDR ที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นของแสงพบว่า ที่ความเข้มแสงเท่ากัน LDR ชนิด CdS มีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่างกัน โดยจะตอบสนองได้ดีในช่วงความยาวคลื่น 500–700 นาโนเมตร

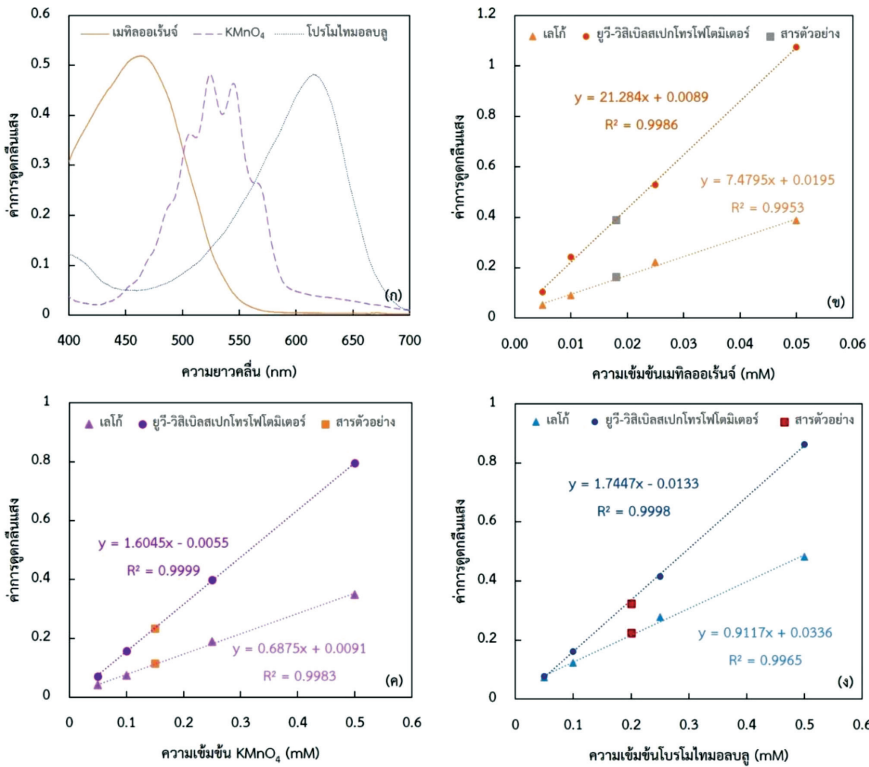
3.2 ทดสอบความสามารถของชุดทดลอง

ชุดทดลองถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพการทำงานในเบื้องต้นโดยใช้วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย 3 ชนิดเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสาร ได้แก่ เมทิลออเรนจ์ โฟแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และโบรมิโทมอลบลู ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 464 [15], 526 [16] และ 616 นาโนเมตร [17] ซึ่งใกล้เคียงกับช่วงแสงสีน้ำเงิน เขียว และแดง ตามลำดับ สารละลายมาตรฐานของสารทั้ง 3 ชนิด ถูกเตรียมโดยการเจือจางจากสารละลายเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ (mM) ลงมาที่ความเข้มข้น 4 ค่า คือ 0.5, 0.25, 0.1 และ 0.05 มิลลิโมลาร์ และนำมาวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยชุดทดลอง

จากรูปที่ 8 แสดงสารละลายมาตรฐานที่เตรียมขึ้นและสารตัวอย่างที่ไม่ทราบความเข้มข้น จากการวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทร



รูปที่ 8 สารตัวอย่างและสารมาตรฐาน (ก) เมทิลออเรนจ์ (ข) โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และ (ค) โบรโมไทมอลบลู



รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และชุดทดลอง (ก) สเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงและกราฟสารละลายมาตรฐาน (ข) เมทิลออเรนจ์ในช่วงความเข้มข้น 0.005–0.05 มิลลิโมลาร์ (ค) โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และ (ง) โบรโมไทมอลบลูในช่วงความเข้มข้น 0.05–0.5 มิลลิโมลาร์

โฟโตมิเตอร์พบว่า เมทิลออเรนจ์โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และโบรโมไทมอลบลูมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 463, 524 และ 615 นาโนเมตร ตามลำดับ [รูปที่ 9 (ก)] ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่รายงานในงานวิจัยข้างต้น สำหรับสารละลายมาตรฐานเมทิลออเรนจ์ที่ความเข้มข้นมากกว่า 0.25 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงเกินช่วงที่เครื่องมือ

มาตรฐานสามารถวัดได้ ดังนั้นสารละลายมาตรฐานเมทิลออเรนจ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จึงถูกเจือจางลง 10 เท่าที่แต่ละความเข้มข้น

การวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยชุดทดลองสิ่งสำคัญอันดับแรกคือ ต้องเลือกสีแหล่งกำเนิดแสงให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการวัด โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง

กับสารละลายเมทิลออเรนจ์ โฟลอสซีเอ็มเปอร์แมงกานेट และโบรโมไทมอลบลูตามลำดับ ซึ่งสามารถปรับโหมดได้จากเครื่อง จากนั้นใส่สารที่ต้องการวิเคราะห์ในช่องใส่คิวเวทท์ และวัดค่าความต้านทานของ LDR ที่เปลี่ยนไปจากโอห์มมิเตอร์ จากนั้นนำค่าความต้านทานที่ได้มาแปลงเป็นการดูดกลืนแสงโดยอาศัยสมการที่ (3) แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟสารละลายมาตรฐานและเปรียบเทียบกับผลที่วัดได้จากเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่นเดียวกันกับของหลอด LED เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างชุดทดลองกับเครื่องมือมาตรฐาน ทั้งนี้ ความยาวคลื่นที่เลือกใช้เป็นความยาวคลื่นที่อยู่ในช่วงที่สารนั้นดูดกลืนได้

จากรูป 9(ข)-(ง) กราฟมาตรฐานของสารละลายทั้ง 3 ชนิด มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงโดยมีค่า $R^2 \geq 0.995$ กล่าวได้ว่า สมการเชิงเส้นที่ได้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูล ได้เป็นอย่างดี เหมาะสมที่จะนำกราฟไปใช้งาน และจะเห็นได้ว่าค่าความชันของกราฟมาตรฐานที่ได้จากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เมื่อเทียบกับชุดทดลองที่ออกแบบมีค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากความไวต่อแสงของตัวรับแสง (Sensitivity) ตัวรับแสงที่ใช้ในชุดทดลองนี้เป็นแบบ LDR ชนิด CdS ซึ่งมีความไวไว้น้อยกว่าตัวรับแสงของเครื่องมือมาตรฐานที่เป็นชนิดซิลิกอนโฟโตไดโอด จึงมีผลให้เส้นกราฟมาตรฐานที่ได้จากชุดทดลองมีความชันน้อยกว่า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ McClain [8] ที่ศึกษาการออกแบบโฟโตมิเตอร์โดยใช้ตัวรับแสงที่เปรียบเทียบระหว่าง LDR และ Photodiode กับเครื่องมือสเปกโทรมิเตอร์มาตรฐาน ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง สารตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ถูกนำมาวัดหาค่าการดูดกลืนแสงด้วยชุดทดลองและเครื่องมือมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 465, 518 และ 635 นาโนเมตร สำหรับสารละลายเมทิลออเรนจ์ โฟลอสซีเอ็มเปอร์แมงกานेट และโบรโมไทมอลบลูตามลำดับ จากนั้นใช้สมการเชิงเส้นของกราฟมาตรฐานสำหรับคำนวณหาค่าความเข้มข้นแสดงผลดังตารางที่ 1

ผลการทดลองพบว่า ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด เมื่อเทียบกับค่าที่เตรียมขึ้นจริงมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์ (Percentage of Relative Error; %RE) อยู่ในช่วง

$\pm 8\%$ เมื่อวัดด้วยชุดทดลอง และอยู่ในช่วง $\pm 4\%$ เมื่อวัดด้วยเครื่องมือมาตรฐาน ค่า %RE ที่มากกว่าเมื่อวัดด้วยชุดทดลอง อาจเนื่องมาจากความไวของตัวรับแสงที่กล่าวข้างต้น จากการที่ความไวของตัวรับแสงมีผลต่อความชันของเส้นกราฟมาตรฐาน ความชันของกราฟที่น้อยแสดงถึงความสามารถในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณได้น้อย ทำให้ความสามารถในการแยกแยะระดับความเข้มของแสง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยได้ไม่ดีเทียบเท่ากับเครื่องมือมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม ค่า %RE อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือและยอมรับได้ สำหรับความแม่นยำในการวัดจากการทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เมื่อนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาคำนวณเป็นค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์ (Percentage of Relative Standard Deviation; %RSD) จะได้ค่าอยู่ในช่วง 0.18–0.2% ซึ่งไม่เกิน 5% แสดงว่าชุดทดลองมีความแม่นยำในการวัด

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้จากชุดทดลองเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานในหน่วยมิลลิโมลาร์

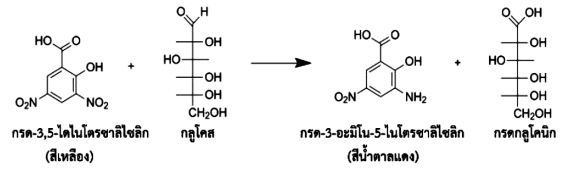
	สารละลาย		
	MO ¹	KMnO ₄	BTB ²
ความเข้มข้นที่เตรียมจริง	0.018	0.15	0.2
ชุดทดลองดูดกลืนแสง			
ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้	0.0194	0.153	0.21
% RE	7.78	2.19	4.86
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0003	0.001	0.0004
% RSD	0.18	1.23	0.2
ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์			
ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้	0.0179	0.149	0.193
% RE	0.53	0.7	3.34

¹MO แทนเมทิลออเรนจ์; ²BTB แทนโบรโมไทมอลบลู

3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลในเครื่องดื่ม

เครื่องดื่มตามท้องตลาด 3 ยี่ห้อ ถูกใช้เป็นตัวอย่างในการ

นำมาวิเคราะห์ด้วยชุดทดลองเพื่อหาปริมาณน้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบ เครื่องดื่มยี่ห้อ A เป็นเครื่องดื่มให้พลังงานสูตรน้ำตาลน้อยไม่แต่งสี มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ 13 กรัม/150 มิลลิลิตร เครื่องดื่มยี่ห้อ B เป็นเครื่องดื่มชูกำลังไม่แต่งสี มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ 18.5 กรัม/250 มิลลิลิตร เครื่องดื่มยี่ห้อ C เป็นน้ำอัดลมใส ไม่มีสี มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ 31 กรัม/325 มิลลิลิตร โดยทั่วไปน้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบในเครื่องดื่มคือ น้ำตาลซูโครส ซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นช่วง 265–275 นาโนเมตร [18] แต่เนื่องจากชุดทดลองใช้แสงในช่วงแสงขาวเป็นแหล่งกำเนิดแสง ดังนั้นในการวิเคราะห์น้ำตาลซูโครสจึงถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของกลูโคสซึ่งมีคุณสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์โดยการทำไฮโดรไลซิสด้วยกรดและทำปฏิกิริยากับ DNSA จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลแดงซึ่งสามารถดูดกลืนแสงในช่วงของแสงสีเขียวได้ ปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 10 วิธีนี้ใช้หาปริมาณน้ำตาลซูโครสในรูปของน้ำตาลรีดิวซ์โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่คาร์บอนิลในกลูโคสและฟรุกโตส ในขณะที่เดียวกัน DNSA จะถูกรีดิวซ์เป็นกรด-3-อะมิโน-5-ไนโตรซาลิไซลิก ทำให้สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดงโดยสีผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเข้มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลในสารละลายตัวอย่างมากขึ้นดังรูปที่ 11 วิธี DNSA ที่ใช้นี้ [14] ถูกดัดแปลงมาจากของ [19] ซึ่งหลังจากเกิดปฏิกิริยาได้สารผลิตภัณฑ์สีน้ำตาลแดงไม่มีการเติม Rochelle Salt ที่ช่วยในการรักษาเสถียรภาพของสีที่เกิดขึ้น ดังนั้นเวลาตั้งแต่ที่ DNSA ถูกเติมลงไปในการปฏิกิริยาจนถึงเวลาที่วัดการดูดกลืนแสงของแต่ละสารตัวอย่างควรใช้เวลาเท่ากัน โดยในงานวิจัยนี้ใช้เวลาประมาณ 20 นาที นอกจากนี้วิธีนี้ยังไม่มีสารฟีนอลซึ่งมีความอันตรายต่อร่างกายในขั้นตอนเตรียมสารละลาย DNSA เนื่องจากฟีนอลช่วยเพิ่มความเข้มสีของผลิตภัณฑ์เท่านั้นไม่มีผลอื่นต่อปฏิกิริยา วิธีนี้จึงสะดวกและปลอดภัยกว่าสำหรับใช้ในการเรียนการสอนเมื่อเทียบกับวิธีทางเคมีอื่นที่ใช้ในการตรวจสอบหากกลูโคสและฟรุกโตส เช่น วิธีของ Nelson-Somogyi ที่ใช้เวลาในการเตรียมนานกว่าเนื่องจากใช้สารหลายชนิดและสารอาร์ซีนโมลิบเดต (Arsenomolybdate) ที่ใช้ในปฏิกิริยามีความเป็นพิษต่อร่างกาย [20]



รูปที่ 10 ปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกลูโคสกับ DNSA

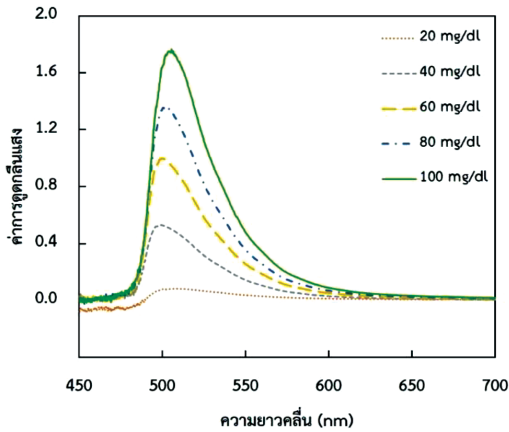


รูปที่ 11 สารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างจากเครื่องดื่มยี่ห้อ A, B และ C หลังจากทำปฏิกิริยากับ DNSA

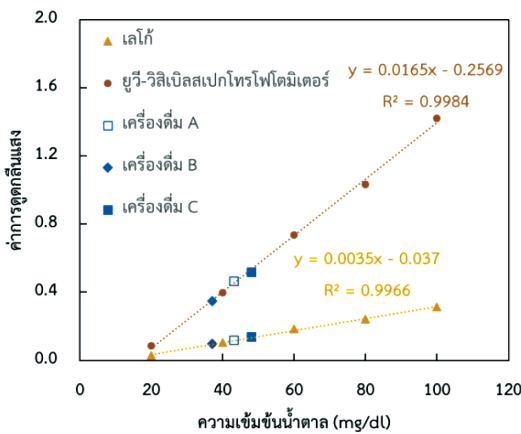
ในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลในเครื่องดื่มใช้วิธีการพามาตรฐาน สารละลายมาตรฐานถูกเตรียมโดยวิธีการเจือจางจากสารละลายเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ลงมาที่ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมค่าการดูดกลืนของสารละลายน้ำตาลมาตรฐาน (รูปที่ 12) พบว่า มีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 485–620 นาโนเมตร และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 503 นาโนเมตร ดังนั้นจึงเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงสีเขียวในการวิเคราะห์ด้วยชุดทดลอง

รูปที่ 13 แสดงกราฟสารละลายน้ำตาลมาตรฐานที่วัดด้วยชุดทดลองเปรียบเทียบกับผลจากเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยวัดที่ความยาวคลื่น 518 นาโนเมตร จากกราฟพามาตรฐานพบว่า มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9966 และ 0.9984 เมื่อวัดด้วยชุดทดลองและเครื่องมือมาตรฐานตามลำดับ

สารละลายตัวอย่างจากเครื่องดื่มยี่ห้อ A, B และ C ถูกนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงและคำนวณหาความเข้มข้นของน้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบ ผลแสดงในตารางที่ 2 พบว่า



รูปที่ 12 สเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานของน้ำตาลซูโครสหลังจากทำปฏิกิริยากับ DNSA



รูปที่ 13 กราฟสารละลายมาตรฐานของน้ำตาลซูโครสหลังจากทำปฏิกิริยากับ DNSA

ความเข้มข้นของน้ำตาลในเครื่องตั้ง 3 ยี่ห้อ ที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือมาตรฐานให้ค่าที่ใกล้เคียงกับที่ปรากฏข้างขวดเครื่องตั้ง โดยมีค่า %RE อยู่ในช่วง $\pm 3\%$ ส่วนปริมาณน้ำตาลที่วิเคราะห์ด้วยชุดทดลองพบว่า มีค่า %RE อยู่ในช่วง $\pm 5\%$ และมีค่า %RSD อยู่ในช่วง 0.58–1.06 แสดงถึงความแม่นยำในการวัดของชุดทดลอง

ในการนำชุดทดลองไปใช้สำหรับการเรียนการสอนควรคำนึงถึงประเด็นดังต่อไปนี้ 1) แหล่งกำเนิดแสง แสงจากหลอด LED ที่เปล่งออกมาไม่ได้มีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำตาลในเครื่องตั้งยี่ห้อ A, B และ C โดยใช้วิธีทำปฏิกิริยากับ DNSA และวิเคราะห์ด้วยชุดทดลองเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน

	เครื่องตั้ง		
	A	B	C
ปริมาณน้ำตาลระบุข้างขวด (กรัม/ลิตร)	86	74	95.38
แฟกเตอร์การเจือจาง	200	200	200
ชุดทดลองดูดกลืนแสง			
ค่าการดูดกลืนแสง	0.12	0.098	0.137
ปริมาณน้ำตาล (มก./ดล.)	8988	7702	9969
ปริมาณน้ำตาล (กรัม/ลิตร)	89.88	77.02	99.69
% RE	4.51	4.08	4.52
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0011	0.0012	0.0008
% RSD	0.80	1.06	0.58
ยูวี-วิลิเบล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์			
ค่าการดูดกลืนแสง	0.457	0.34	0.509
ปริมาณน้ำตาล (มก./ดล.)	8653	7235	9283
ปริมาณน้ำตาล (กรัม/ลิตร)	86.53	72.35	92.83
% RE	0.62	2.23	2.67

1มก./ดล. = มิลลิกรัม/เดซิลิตร

แต่มีความกว้างของช่วงสเปกตรัมที่เปล่งออกมา รวมถึงความยาวคลื่นที่เปล่งออกมามีค่าเฉพาะตัว ดังนั้นหากเลือกวิเคราะห์สารที่มีช่วงการดูดกลืนแสงสูงสุดห่างจากความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงหลายๆ กราฟการดูดกลืนแสงจะเกิดการเบี่ยงเบนแบบบวกลบหรือลบบอกไป 2) อุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวรับแสงมีความไวที่น้อยกว่าเครื่องมือมาตรฐานจึงทำให้ปริมาณที่วัดได้จากชุดทดลองมีความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าเครื่องมือมาตรฐาน โดยทั้ง 2 ประเด็นนี้เป็นข้อจำกัดในการทดสอบที่จะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนจากกฎของเบียร์-แลมเบิร์ตของชุดทดลองนี้ นอกจากนี้ความแม่นยำของการวัดการดูดกลืนแสงซึ่งตามทฤษฎีระบุว่าช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ให้ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นในช่วง $(\pm 1.55\%) - (\pm 1.63\%)$ ควรอยู่ระหว่าง



0.222–0.699 [11] สำหรับชุดทดลองนี้ให้ความแม่นยำในช่วงการดูดกลืนแสงที่แคบกว่าเนื่องจากความว่องไวของตัวรับแสง LDR ชนิด CdS น้อยกว่าซิลิกอนโฟโตไดโอดของเครื่องมือมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดทดลองทั้งการนำไปวัดการดูดกลืนแสงเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการและวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลในเครื่องดื่ม จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ด้วยชุดทดลองให้ผลที่ใกล้เคียงกับเครื่องมือมาตรฐาน มีความถูกต้องโดยมีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ในช่วง $\pm 8\%$ และมีความแม่นยำโดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 5% ซึ่งสามารถยอมรับได้สำหรับชุดทดลองอย่างง่ายที่สร้างขึ้นเอง ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยอื่นในลักษณะเดียวกันที่นำเสนอการสร้างอุปกรณ์อย่างง่ายโดยความถูกต้องที่ยอมรับได้อยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% [21]

4. สรุป

ชุดทดลองสำหรับวัดการดูดกลืนแสงของสารถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ตัวต่อเลโก้สร้างเป็นโครงสร้างภายนอก ใช้หลอด LED RGB 3 สีเพื่อให้สามารถเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมกับสารที่ต้องการวัดได้ และใช้ LDR เป็นตัวรับแสงโดยต่อเข้ากับโอห์มมิเตอร์เพื่อวัดค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงและแปลงเป็นค่าการดูดกลืนแสง ชุดทดลองนี้มีประสิทธิภาพที่จะนำไปใช้วิเคราะห์หาปริมาณสารได้ โดยจากการทดสอบการทำงานพบว่า โดยภาพรวมให้ผลที่มีความถูกต้องในช่วงความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ไม่เกิน $\pm 8\%$ และมีความแม่นยำในการวัด ($\%RSD < 5\%$) ชุดทดลองนี้จะเป็นประโยชน์ต่อทั้งผู้เรียนและผู้สอนสำหรับใช้เป็นสื่อการสอนเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติจากการลงมือสร้างอุปกรณ์ ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลด้วยตนเอง เกิดความกระตือรือร้นในการเรียนรู้และได้ฝึกการคิด ซึ่งผู้สอนสามารถนำไปใช้จัดการเรียนการสอนในหัวข้อที่เกี่ยวข้องทั้งในระดับมัธยมปลายไปจนถึงอุดมศึกษา

สำหรับแนวทางในการพัฒนาชุดทดลองอาจเพิ่มช่องเปิดเดี่ยวและเลนส์เพื่อช่วยให้แสงที่ออกมาเป็นแบบ

แสงขนาน และลดปัจจัยของปริมาณแสงส่วนเกินที่เข้ามายังตัวรับแสง รวมไปถึงการการศึกษาระยะเวลาในการใช้งานของแหล่งจ่ายไฟเพิ่มเติมด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาการการเรียนรู้และศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์ และเครื่องมือ และขอขอบคุณ คุณนรพนธ์ วิเชียรสาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ช่วยให้คำปรึกษาด้านการวิเคราะห์สเปกตรัมจากเครื่องออฟติคอลลิมิเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. O'Donoghue, "Simplified low-cost colorimetry for education and public engagement," *Journal of Chemical Education*, vol. 96, no. 6, pp. 1136–1142, 2019.
- [2] S. Pradub, T. Teptit, and V. Vailikhit, "Smart phone photometry for undergraduate chemistry courses," *Journal of Education Naresuan University*, vol. 20, no. 2, pp. 233–240, 2018.
- [3] Z. Liu, Y. Zhang, S. Xu, H. Zhang, Y. Tan, C. Ma, R. Song, L. Jiang, and C. Yi, "A 3D printed smartphone optosensing platform for point-of-need food safety inspection," *Analytica Chimica Acta*, vol. 966, pp. 81–89, 2017.
- [4] J. Asheim, E. V. Kvittingen, L. Kvittingen, and R. Verley, "A simple, small-scale lego colorimeter with a light-emitting diode (led) used as detector," *Journal of Chemical Education*, vol. 91, no. 7, pp. 1037–1039, 2014.
- [5] P. Hu, Y. Chen, and S. Sonkusale, "Low cost spectrometer accessory for cell phone based optical sensor," in *2015 IEEE Virtual Conference on Applications of Commercial Sensors (VCACS)*,

- Raleigh., NC, 2015, pp. 1–5.
- [6] S. J. Tavener and J. E. Thomas-Oates, “Build your own spectrophotometer,” *Education in Chemistry*, vol. 44, pp. 151–154, 2007.
- [7] D. R. Albert, M. A. Todt, and H. F. Davis, “A low-cost quantitative absorption spectrophotometer,” *Journal of Chemical Education*, vol.89, no.11, pp.1432–1435, 2012.
- [8] R. McClain, “Construction of a photometer as an instructional tool for electronics and instrumentation,” *Journal of Chemical Education*, vol. 91, no. 5, pp. 747–750, 2014.
- [9] J. R. Vanderveen, B. Martin, and K. J. Ooms, “Developing tools for undergraduate spectroscopy: An inexpensive visible light spectrometer,” *Journal of Chemical Education*, vol. 90, no. 7, pp. 894–899, 2013.
- [10] S. Tuntirojanawong. (2017, May). A direction of educational management in the 21st century. *Veridian E-Journal*. [Online] (in Thai). 10(2), pp. 2843–2854. Available: <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/Veridian-E-Journal/article/view/109763/86192>
- [11] N. Tungkananuruk and K. Tungkananuruk, *Analytical spectroscopy*. Bangkok: Kasetsart University Press, 2004 (in Thai).
- [12] D. F. da Silva and D. Acosta-Avalos, “Light dependent resistance as a sensor in spectroscopy setups using pulsed 21st century light and compared with electret microphones,” *Sensors (Basel)*, vol. 6, no. 5, pp. 514–525, 2006.
- [13] P. Supawan, *Regression Analysis*. Bangkok: Phranakhon Rajabhat University Press, 2013 (in Thai).
- [14] PerkinElmer. (2017, May). Application note: determination of sugar as glucose in a soft drink using the LAMBDA PDA UV/Vis spectrophotometer. PerkinElmer, Inc., USA. [Online]. Available: https://www.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/APP-Determination-of-Sugar-as-Glucose-in-Soft-Drink-using-LAMBDA-465-012356A_01.pdf
- [15] M.-C. Wu, M.-P. Lin, S.-W. Chen, P.-H. Lee, J.-H. Li, and W. Su, “Surface-enhanced Raman scattering substrate based on a Ag coated monolayer array of SiO₂ spheres for organic dye detection,” *RSC Advances*, vol. 4, no. 20, pp.10043–10050, 2014.
- [16] K. Knagge and D. Raftery, “Construction and evaluation of a LEGO spectrophotometer for student use,” *The Chemical Educator*, vol. 7, pp. 371–375, 2002.
- [17] P. Palachai and S. Muncharoen, “A simple experiment to evaluate the equilibrium constant of bromothymol blue using smart phone for high school students,” *SWU Science Journal*, vol.22, no. 2, pp.1–14, 2017 (in Thai).
- [18] L. Kaijanen, M. Paakkunainen, S. Pietarinen, E. Jernström, and S. Reinikainen, “Ultraviolet detection of monosaccharides: Multiple wavelength strategy to evaluate results after capillary zone electrophoretic separation,” *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 10, no. 4, pp. 2950–2961, 2015.
- [19] G. L. Miller, “Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar,” *Analytical Chemistry*, vol. 31, no. 3, pp. 426–428, 1959.
- [20] K. Miloski, K. Wallace, A. Fenger, E. Schneider,



and K. Bendinskas, “Comparison of biochemical and chemical digestion and detection methods for carbohydrates,” *American Journal of Undergraduate Research*, vol. 7, no. 2, pp. 7–18, 2008.

[21] N. Moonrungee, C. Prachain, C. Bumrungkij, N.

Peamaroon, and J. Jakmune, “A simple device with a smartphone camera for determination of salicylic acid in foods, drugs and cosmetics,” *Journal of King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok*, vol. 28, No. 3, pp. 639–648, 2018 (in Thai).