วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 28 ฉบับที่ 3 ก.ค.–ก.ย. 2561
The Journal of KMUTNB., Vol. 28, No. 3, Jul.–Sep. 2018

บทความวิจัย

อุปกรณ์อย่างง่ายที่ใช้กล้องสมาร์ทโฟนสำหรับการหาปริมาณกรดซาลิไซลิกในอาหาร ยา และเครื่องสำอาง

นันทพร มูลรังษี ไชยวัฒน์ ปาเชนทร์ ชาคร บำรุงกิจ และ นิภัทร เปี่ยมอรุณ*
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
จรูญ จักร์มุณี
ภาควิชาเคมีและศูนย์ความเป็นเลิศนวัตกรรมทางเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0–3947–1060 อีเมล: nipat.p@rbru.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.03.001
รับเมื่อ 4 กรกฎาคม 2560 ตอบรับเมื่อ 8 พฤศจิกายน 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 20 มีนาคม 2561
© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

อุปกรณ์อย่างง่ายที่ประยุกต์ใช้กล้องสมาร์ทโฟนได้ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นสำหรับใช้วิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกในตัวอย่างอาหาร ยาและเครื่องสำอาง โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาของกรดซาลิไซลิกกับสารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์ เกิดผลิตภัณฑ์เป็นสารละลายสีม่วง แล้วทำการวิเคราะห์ค่าสีโดยใช้ระบบค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ด้วยแอพลิเคชันวิเคราะห์ค่าสีทั่วไป จากการศึกษาสภาวะการทดลองพบว่า ค่าความเข้มสีเขียวมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรงกับความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกมากที่สุด โดยภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่มีความเข้มข้นของไอร์ออน (III) คลอไรด์ เท่ากับร้อยละ 0.05 โดยมวลต่อปริมาตร ค่าพีเอชช่วง 2–9 และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณกรดซาลิไซลิกในตัวอย่าง 13 ตัวอย่าง โดยใช้กล้องสมาร์ทโฟน 3 ยี่ห้อ ที่มีความละเอียดของกล้องแตกต่างกัน พบว่าสมาร์ทโฟนที่มีความละเอียดของกล้อง 12–13 ล้านพิกเซล ให้ผลค่าความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์โดยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี และมีความแม่นยำที่ดี ด้วยค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 5 ซึ่งแสดงว่าอุปกรณ์อย่างง่ายที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกในตัวอย่างต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ประโยชน์ของงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างอื่นๆ ที่มีสี เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องมือขั้นสูง หรือใช้เป็นอุปกรณ์อย่างง่ายประกอบการสอนวิชาเคมีในระดับชั้นมัธยมศึกษาได้

คำสำคัญ: กรดซาลิไซลิก, กล้องสมาร์ทโฟน, ค่าความเข้มสี, อุปกรณ์วัดค่าสีอย่างง่าย

การอ้างอิงบทความ: นันทพร มูลรังษี ไชยวัฒน์ ปาเชนทร์ ชาคร บำรุงกิจ นิภัทร เปี่ยมอรุณ และ จรูญ จักร์มุณี, "อุปกรณ์อย่างง่ายที่ใช้กล้องสมาร์ทโฟนสำหรับการหาปริมาณกรดซาลิไซลิกในอาหาร ยา และเครื่องสำอาง," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 3, หน้า 639–648, ก.ค.–ก.ย. 2561.

Research Article

A Simple Device with a Smartphone Camera for Determination of Salicylic Acid in Foods, Drugs and Cosmetics

Nuntaporn Moonrungsee, Chaiwat Prachain, Chakorn Bumrungkij and Nipat Peamaroon*
Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, Thailand
Jaroon Jakmunee
Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0–3947–1060, E–mail: nipat.p@rbru.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.03.001
Received 4 July 2017; Accepted 8 November 2017; Published online: 20 March 2018
© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

A simple colorimetric detection device using a smartphone camera was designed and developed for determination of salicylic acid in some foods, drugs, and cosmetics. The reaction between salicylic acid and iron (III) chloride solution was employed to produce the violet solution, which was further analyzed for color intensity of red, green, and blue using the common color analysis application program. As a result, intensity of green color showed the best linear relationship to the concentration of salicylic acid. Under the optimum conditions, i.e. concentration of iron (III) chloride of 0.05% (weight/volume); the pH range of 2–9; and the reaction time of 30 minutes, the device was set to analyze salicylic acid content in 13 samples using 3 different camera resolution smartphones. The smartphone with camera resolution of 12–13 megapixel provided consistent results with that obtained by UV-Vis spectrophotometry and showed good precision with percentage of relative standard deviation less than 5. The concentration of salicylic acid in samples can be successfully determined by our simple device. This experiment bring a significant benefit, serving as a guideline to create a simple tool for analyzing any colored substances, an ideal alternative for expensive, advanced instruments. More importantly, the device can be used as a simple tool for teaching chemistry in the secondary education level.

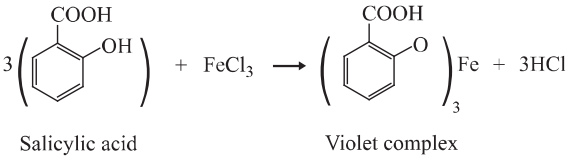
Keywords: Salicylic Acid, Smartphone Camera, Color Intensity, Simple Colorimetric Device

Please cite this article as: N. Moonrungsee, C. Prachain, C. Bumrungkij, N. Peamaroon, and J. Jakmunee, "A simple device with a smartphone camera for determination of salicylic acid in foods, drugs and cosmetics," *The Journal of KMUTNB*, vol. 28, no. 3, pp. 639–648, Jul.–Sep. 2018 (in Thai).

1. บทนำ

การวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อให้ทราบชนิดและปริมาณของสารมีความสำคัญทั้งในด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ การเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการควบคุมคุณภาพและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังใช้ในการตรวจสอบ เฝ้าระวังและติดตามผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี เทคนิคทางเคมีวิเคราะห์ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายเทคนิคหนึ่ง คือ ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) โดยสารที่ต้องการวิเคราะห์สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 200–1000 นาโนเมตร และอาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) กับความเข้มข้นสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณสารได้ เทคนิคนี้ให้ผลถูกต้อง แม่นยำ น่าเชื่อถือ และง่ายในทางปฏิบัติแต่อย่างไรก็ตาม เครื่องมือส่วนใหญ่ยังมีราคาค่อนข้างสูง และไม่เพียงพอสำหรับบางหน่วยงานที่มีงบประมาณจำกัด

ในปัจจุบันสมาร์ทโฟนได้ถูกนำมาประยุกต์เป็นอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ทางเคมี โดยการถ่ายภาพตัวอย่างที่มีสีทั้งในรูปของสารละลายและของแข็ง แล้วทำการวิเคราะห์ค่าสีจากภาพที่ได้โดยระบบค่าความเข้มสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) หรือค่าสี RGB ซึ่งจะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีกับความเข้มข้นของสารที่ต้องวิเคราะห์คำนวณออกมาเป็นปริมาณของสารที่ต้องการศึกษาได้ ตัวอย่างงานวิเคราะห์ทางเคมีที่ใช้สมาร์ทโฟน เช่น การหาปริมาณคลอรีน [1], [2] ไตรไนโตรโทลูอีน [3] เมทแอมเฟตามีน [4] ฟอร์มาลดีไฮด์ [5] ฟอสฟอรัส [6] เหล็ก [7] และทองแดง [8] เป็นต้น งานวิจัยเหล่านี้ได้พิสูจน์ให้เห็นถึงความสำเร็จในการประยุกต์ใช้กล้องสมาร์ทโฟนในด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง และให้ผลการทดลองที่มีความถูกต้องและแม่นยำเทียบเท่ากับวิธีมาตรฐาน ช่วยลดขนาดของเครื่องมือ อีกทั้งยังมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเครื่องมือขั้นสูง แต่อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาจะทำการวัดตัวอย่างทีละตัวอย่างต่อการถ่ายภาพหนึ่งครั้ง และใช้หลอดทดลองคิวเวท (Cuvette) หรือขวดแก้วขนาดเล็กเป็นเซลล์บรรจุตัวอย่าง ทำให้เกิดความยุ่งยาก หรือความคลาดเคลื่อน และต้องใช้



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาระหว่างกรดซาลิไซลิกกับไอร์ออน (III) คลอไรด์

ปริมาตรตัวอย่างที่มากพอให้วัดได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนากล่องอุปกรณ์อย่างง่ายที่ใช้จานหลุมพลาสติกราคาถูกเป็นเซลล์บรรจุตัวอย่าง ซึ่งจะช่วยลดการใช้ปริมาตรตัวอย่างลงเหลือระดับไมโครลิตร และใช้สมาร์ทโฟนร่วมกับแอพพลิเคชันระบบค่าสี RGB ที่สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีสำหรับการวิเคราะห์ค่าความเข้มสีของตัวอย่าง แล้วนำอุปกรณ์อย่างง่ายมาทดสอบประสิทธิภาพ โดยการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซาลิไซลิกในตัวอย่างอาหาร ยา และเครื่องสำอาง

กรดซาลิไซลิกได้ถูกนำมาใช้ในการรักษาโรคทางผิวหนังภายนอก ด้วยสรรพคุณของกรดซาลิไซลิกที่เหมาะสมสำหรับใช้รักษาผิวหนังอักเสบ สิว โรคสะเก็ดเงิน โรคตาปลา และโรคหูด เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่ามีการนำกรดซาลิไซลิกไปใส่ในอาหารแห้งหรืออาหารแปรรูปต่างๆ เพราะช่วยให้อาหารไม่เกิดเชื้อรา ในปี พ.ศ. 2536 กระทรวงสาธารณสุขจึงประกาศห้ามใช้กรดซาลิไซลิกในอุตสาหกรรมอาหาร เพราะหากสะสมในร่างกายในปริมาณที่มากจะส่งผลต่อการเพิ่มความเป็นกรดของเลือด และสารละลายในร่างกาย ทำให้มีอาการไข้ คลื่นไส้ และอาเจียน วิธีการหาปริมาณกรดซาลิไซลิกที่ง่ายวิธีหนึ่ง คือ การวัดค่าสีของสารประกอบเชิงซ้อนสีม่วงที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดซาลิไซลิกกับไอร์ออน (III) คลอไรด์ แสดงปฏิกิริยาดังรูปที่ 1 [9] ซึ่งวิธีการวัดค่าสีนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของการรบกวนจากสารประกอบฟีนอลตัวอื่นๆ ที่อาจมีอยู่ในตัวอย่างได้ เนื่องจากสารฟีนอลบางชนิดสามารถเกิดปฏิกิริยากับไอร์ออน (III) คลอไรด์ แล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีต่างๆ กัน เช่น สีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง ดังนั้น ตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ในเชิงปริมาณด้วยวิธีนี้ จึงควรกำจัดตัวรบกวนที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ออกก่อน อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นในเรื่องของการพัฒนา

อุปกรณ์อย่างง่ายในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีสี จึงได้เลือกวิธีการวัดค่าสีโดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่างกรดซาลิไซลิกกับไอร์ออน (III) คลอไรด์ในการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น โดยได้เลือกกลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มยา และเครื่องสำอางที่ประกอบไปด้วยกรดซาลิไซลิกเป็นหลัก และปราศจากสารรบกวนหรือมีน้อยมาก และกลุ่มอาหารแห้งตามท้องตลาด จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี ซึ่งอาศัยปฏิกิริยาเดียวกัน อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมานี้ สามารถช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์ ประหยัดสารเคมี และเป็นแนวทางสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางเคมีด้านต่างๆ หรือใช้เป็นเครื่องมืออย่างง่ายในการศึกษาวิชาเคมีในระดับมัธยมศึกษา อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการสร้างอุปกรณ์วิเคราะห์ทางเคมีสำหรับหน่วยงานที่ขาดแคลนเครื่องมือ หรือมีเครื่องมือไม่เพียงพอ

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ และอุปกรณ์

2.1.1 สมาร์ทโฟน 3 ยี่ห้อ ความละเอียดของกล้องเท่ากับ 2, 12 และ 13 ล้านพิกเซล ใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ถ่ายภาพเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความเข้มสี

2.1.2 วัสดุหลักที่ใช้ในการสร้างกล่องอุปกรณ์ ประกอบไปด้วย หลอดไฟแอลอีดี (LED; Light-emitting Diode) สีขาว ลักษณะเป็นแถวยาว พร้อมหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 12 โวลต์ แผ่นอะคริลิกสีขาวหนา 1 มิลลิเมตร และแผ่นพลาสติกสีดำ

2.1.3 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น T60 Visible Spectrophotometer บริษัท PG Instruments ใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณกรดซาลิไซลิกในตัวอย่าง

2.1.4 เครื่องตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย รุ่น Hanna Hi 9321 บริษัท HANNA Instruments

2.1.5 สารเคมีที่ใช้ในการทดลองทุกชนิดใช้เกรดสำหรับการวิเคราะห์ (Analytical Grade) ประกอบไปด้วย กรดซาลิไซลิก (Daejung, Korea) ไอร์ออน (III) คลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต (Riedel – deHaën, Switzerland) เอทานอล (Merck, Germany) กรดไฮโดรคลอริก (Ajax Finechem, Australia) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Ajax Finechem, Australia)

2.1.6 แอพพลิเคชัน Color Picker และ Pixel Picker ใช้สำหรับวิเคราะห์ค่าความเข้มสี RGB สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีสำหรับสมาร์ทโฟนระบบ Android และ iOS ตามลำดับ

2.2 วิธีการวิจัย

2.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดซาลิไซลิก เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทำโดยชั่งกรดซาลิไซลิก 0.05 กรัม ละลายด้วยเอทานอล เข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าเพื่อช่วยการละลายแล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น สำหรับความเข้มข้นอื่นๆ เตรียมโดยการเจือจางจากสารละลายกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

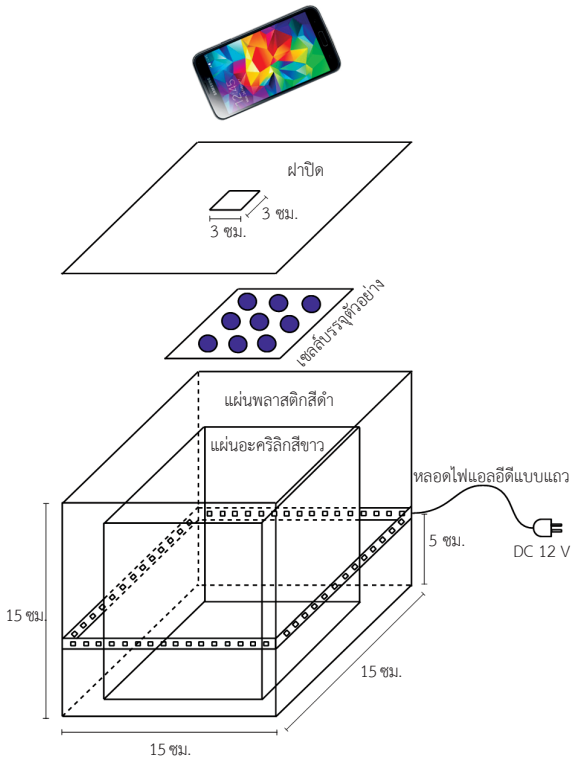
การเตรียมสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (III) คลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทำโดยชั่งไอร์ออน (III) คลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต 0.2 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าเพื่อช่วยการละลายแล้วปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น สารละลายความเข้มข้นอื่นๆ เตรียมโดยการเจือจางจากสารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์ความเข้มข้น ร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตร

2.2.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

1) กลุ่มอาหาร หั่นตัวอย่างให้ละเอียด แล้วนำไปแช่เอทานอลทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองเอาส่วนสารละลายไปทดสอบ

2) กลุ่มยา นำตัวอย่างที่ชั่งน้ำหนักแน่นอนแล้ว มาละลายด้วยไดเมทธิลซัลโฟไซด์ (Dimethyl Sulfoxide; DMSO) จากนั้นนำส่วนที่ละลายมาเจือจางด้วยน้ำก่อนการทดสอบ

3) กลุ่มเครื่องสำอาง ละลายตัวอย่างด้วยเอทานอล แล้วเจือจางด้วยน้ำก่อนทดสอบ



รูปที่ 2 กล่องอุปกรณ์อย่างง่ายที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น

2.2.3 การสร้างอุปกรณ์อย่างง่าย

การออกแบบและสร้างกล่องอุปกรณ์ได้ใช้วัสดุอย่างง่าย โดยการออกแบบขนาดของกล่อง ระยะของหลอดไฟ จำนวนหลอดไฟ และการใช้แผ่นอะคริลิกได้ผ่านการทดสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์ค่าสี โดยใช้สารละลายสีผสมอาหาร กล่องอุปกรณ์ที่ได้หลังจากผ่านการทดสอบจึงประกอบไปด้วยแผ่นพลาสติกสีดำที่ด้านในติดด้วยกระดาษสีขาวและติดแถบหลอดไฟแอลอีดี (จำนวน 58 หลอด) บนกระดาษสีขาว ที่ความสูงจากพื้นกล่อง 5 เซนติเมตร และใช้แผ่นอะคริลิกสีขาวหนา 1 มิลลิเมตร ครอบจานหลุมที่ใช้บรรจุตัวอย่างอยู่ตรงกลางกล่อง เพื่อกระจายแสงให้สม่ำเสมอทั่วทั้งกล่อง ด้านบนกล่องจะมีฝาปิดที่ทำด้วยแผ่นพลาสติกสีดำ และเจาะช่องสี่เหลี่ยมตรงกลางสำหรับวางสมาร์ทโฟนเพื่อถ่ายภาพด้านในกล่องจากด้านบน ขนาดและรายละเอียดของกล่องอุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 2 และตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดและรายละเอียดของกล่องอุปกรณ์อย่างง่าย

รายการ	รายละเอียด
1. ขนาดกล่อง	15×15×15 เซนติเมตร
2. ขนาดแผ่นอะคริลิกสีขาว	11×11 เซนติเมตร
3. ขนาดช่องสำหรับถ่ายภาพด้วยสมาร์ทโฟน	3×3 เซนติเมตร
4. ระยะของหลอดไฟแอลอีดีจากพื้นของกล่อง	5 เซนติเมตร
5. จำนวนหลอดไฟแอลอีดี	58 หลอด
6. เซลล์บรรจุตัวอย่าง	จานหลุม (9 หลุม)

2.2.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความเข้มสีของตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมา ทำได้โดยผสมตัวอย่าง 200 ไมโครลิตร และสารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์ 100 ไมโครลิตร ลงในจานหลุม โดยจะมีหนึ่งหลุมเป็นสารละลายแบลงค์ แล้วนำจานหลุมวางลงตรงกลางกล่อง ปิดฝากล่อง และทำการถ่ายภาพโดยใช้โหมดถ่ายภาพปกติไม่เปิดแฟลช จากนั้นเปิดโปรแกรม Color Picker หรือโปรแกรมวิเคราะห์ค่าสีทั่วๆ ไปที่ดาวน์โหลดลงในสมาร์ทโฟนไว้แล้ว ทำการอ่านค่าความเข้มสีจากภาพ โดยใช้มือชี้ไปตรงจุดกึ่งกลางภาพ โปรแกรมจะรายงานค่าความเข้มสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) ปรากฏขึ้นมา ทำการบันทึกค่าความเข้มสีที่ได้ แล้วเปลี่ยนค่าความเข้มสีเป็นค่าการดูดกลืนแสงโดยอาศัยสมการที่ (1) ดังนี้ [10]

$$A = -log\,(I/I_0) \qquad (1)$$

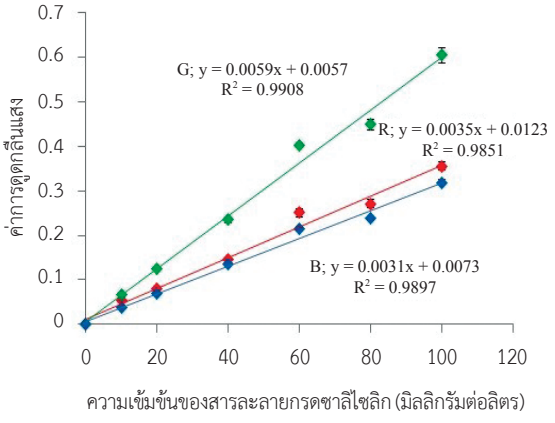
โดยที่ A = ค่าการดูดกลืนแสง

I = ค่าความเข้มสีของสารละลายตัวอย่าง

I_0 = ค่าความสีของสารละลายแบลงค์

2.2.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ [9]

ทำการผสมตัวอย่าง 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์ 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 5 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสง



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิก

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในการทดลองนี้ ได้สร้างอุปกรณ์อย่างง่ายขึ้นมา แล้วทำการศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ด้วยการหาปริมาณกรดซาลิไซลิกในตัวอย่างอาหาร ยาและเครื่องสำอาง โดยอาศัยวัดค่าสีของสารประกอบเชิงซ้อนสีม่วงที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดซาลิไซลิกกับไอร์ออน (III) คลอไรด์ (รูปที่ 1) ซึ่งในการหาสภาวะที่เหมาะสมได้ใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมาร่วมกับสมาร์ทโฟนที่มีความละเอียดของกล้อง 13 ล้านพิกเซล ผลที่ได้อธิบายไว้ ดังหัวข้อที่ 3.1–3.4 ดังนี้

3.1 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มสี RGB กับความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิก

งานวิจัยนี้ได้นำค่าความเข้มสี R, G และ B ของสารละลายตัวอย่าง (I) และความเข้มสีของสารละลายแบลงค์ (I_0) ที่วัดได้มาคำนวณเป็นค่าการดูดกลืนแสง (A) โดยอาศัยสมการที่ (1) จากนั้นนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกรดซาลิไซลิก ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3 พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงของสีเขียวมีค่าความชันและให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่สูงกว่าสีแดงและสีน้ำเงิน ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9908 ดังนั้น จึงเลือกใช้ค่าการดูดกลืนแสงของสีเขียวในการวัดความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิก

3.2 ความเข้มข้นที่เหมาะสมของไอร์ออน (III) คลอไรด์

ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกรดซาลิไซลิกกับสารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์ จะให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารละลายสีม่วง โดยค่าการดูดกลืนแสงที่คำนวณจากความเข้มของสีเขียวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกเพิ่มขึ้น เมื่อพล็อตค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิก โดยใช้สารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของความเข้มข้นของไอร์ออน (III) คลอไรด์ต่อค่าความชัน และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐาน

ไอร์ออน (III) คลอไรด์ (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร)	ค่าความชัน	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
2	0.0065	0.9864
1	0.0067	0.9630
0.5	0.0065	0.9900
0.1	0.0069	0.9855
0.05	0.0061	0.9922
0.01	0.0010	0.7212

จากตารางที่ 2 พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์ เท่ากับร้อยละ 0.01 โดยมวลต่อปริมาตร กราฟที่ได้ให้ค่าความชันต่ำ เนื่องจากความเข้มข้นของไอร์ออน (III) คลอไรด์ ไม่เพียงพอในการเกิดปฏิกิริยากับกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้นสูงๆ จึงเกิดผลิตภัณฑ์เป็นสีม่วงจาง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มเป็นร้อยละ 0.05 โดยมวลต่อปริมาตรขึ้นไปซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มากเกินพอ จึงให้สีม่วงของผลิตภัณฑ์เข้มมากขึ้น และให้ค่าความชันของกราฟที่มากขึ้นตามด้วย แต่อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นของสารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์สูงๆ สีของสารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์เองจะเข้มขึ้น จนรบกวนการวิเคราะห์หากรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้นต่ำๆ ได้ ดังนั้น จึงเลือกความเข้มข้นของสารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์ ที่ร้อยละ 0.05 โดยมวลต่อปริมาตร ซึ่งมีสีเหลืองอ่อน รบกวนการวิเคราะห์น้อย อีกทั้งยังให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง เป็นค่าเหมาะสมสำหรับทำการทดลองต่อไป

3.3 ผลของค่าพีเอช

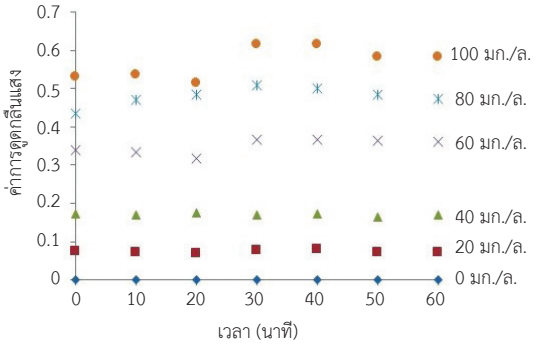
ในการทดสอบผลของค่าพีเอชต่อการเกิดสีของผลิตภัณฑ์ ได้ทำการวิเคราะห์ค่าความเข้มสีของสารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอชตั้งแต่ 1–11 พบว่า ค่าความเข้มสีเขียวที่วัดได้ในช่วงพีเอช 2–9 ไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่ค่าพีเอชน้อยกว่า 2 และมากกว่า 9 วัดค่าความเข้มสีเขียวได้แตกต่างเมื่อเทียบกับค่าที่วัดในช่วงพีเอช 2–9 เนื่องจากที่ความเป็นกรดหรือเบสมากๆ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะให้อิเล็กตรอนกับไอร์ออน (III) ได้น้อยลง จึงเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้ได้สีของผลิตภัณฑ์เป็นสีม่วงจาง ดังนั้นค่าพีเอชที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซาลิไซลิก คือช่วงตั้งแต่ 2–9 ซึ่งตัวอย่างส่วนใหญ่ที่ทำการวิเคราะห์มีค่าพีเอชอยู่ในช่วงดังกล่าวนี้ ดังนั้นในการหาปริมาณกรดซาลิไซลิกในตัวอย่างจึงไม่ต้องทำการปรับค่าพีเอช

3.4 เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

จากการทดสอบผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกรดซาลิไซลิกกับสารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์ โดยถ่ายภาพทุกๆ 10 นาที พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดซาลิไซลิกต่ำกว่า 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ คือให้สีของผลิตภัณฑ์ที่คงที่ แต่เวลาจะมีผลต่อค่าความเข้มสีที่ได้ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดซาลิไซลิกเข้มข้นตั้งแต่ 60 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไปแสดงดังรูปที่ 4 เนื่องจากที่ความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกสูงๆ ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยากับสารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์มากขึ้น เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์จนได้สีที่คงที่ ซึ่งจากผลการทดลองจะให้สีคงที่ที่เวลา 30 นาทีขึ้นไป ดังนั้น เวลาในการทำปฏิกิริยาหรือการวัดความเข้มสีของผลิตภัณฑ์ควรใช้เวลาที่ 30 นาที เพื่อให้ได้ความเข้มสีของผลิตภัณฑ์คงที่

3.5 คุณลักษณะทางเคมีวิเคราะห์

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (ตารางที่ 3) ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงที่ความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิก



รูปที่ 4 ค่าการดูดกลืนแสงกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา; มก./ล. = มิลลิกรัมต่อลิตร

0–500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้สมาร์ทโฟนที่มีความละเอียดของกล้อง 13 ล้านพิกเซล พบว่า ได้ช่วงความเป็นเส้นตรงที่ 0–100 มิลลิกรัมต่อลิตร สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0054x - 0.0224$, $R^2 = 0.9917$ มีค่าขีดจำกัดในการตรวจวัดหรือความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (Limit of Detection; LOD = ระดับความเข้มข้นของสารที่ให้สัญญาณเป็น 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบลงค์) เท่ากับ 2.16 มิลลิกรัมต่อลิตร และขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณหรือความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบ โดยอ่านค่าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ (Limit of Quantitation; LOQ = ระดับความเข้มข้นของสารที่ให้สัญญาณเป็น 10 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบลงค์) เท่ากับ 3.28 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 3 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหาความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิก

ตัวแปร	สภาวะที่เหมาะสม
1. ความเข้มสี	ความเข้มสีเขียว
2. ความเข้มข้นของ ไอร์ออน (III) คลอไรด์	ร้อยละ 0.05 โดยมวลต่อปริมาตร
3. พีเอช	2–9
4. เวลาในการทำปฏิกิริยา	30 นาที
5. ช่วงความเป็นเส้นตรง	0–100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในการทดสอบความแม่นยำ ได้ทำการวิเคราะห์ค่าความเข้มสีเขียวของสารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 80

มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยการถ่ายภาพตัวอย่าง 11 ครั้ง พบว่าค่าความเข้มสีเขียวใน 1 หลุมในตำแหน่งเดียวกันของแต่ละรูปมีค่าแตกต่างกันน้อยมาก ให้ร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Percentage of Relative Standard Deviation; RSD%) เท่ากับ 1.08 ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำที่ดีของวิธี ในส่วนของการทดสอบความถูกต้องของวิธี ได้ทำการหาค่าร้อยละการกลับคืน ได้ผลดังตารางที่ 4 พบว่าค่าร้อยละการกลับคืนที่ได้อยู่ในช่วง 96–105 แสดงถึงวิธีที่พัฒนาขึ้นมานี้มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ดังนั้น สมาร์ทโฟนที่มีความละเอียดของกล้อง 13 ล้านพิกเซล สามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณกรดซาลิไซลิกร่วมกับอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมานี้ได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำ

ตารางที่ 4 ร้อยละการกลับคืน

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิก (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ร้อยละการกลับคืน
	ที่เติม	ที่ตรวจพบ	
ยารักษาตาปลา	0	24.21	-
	20	43.42	96.03
	40	65.18	102.42
ยารักษากลากเกลื้อน	0	35.05	-
	20	54.90	99.27
	40	77.03	104.94

นอกจากนี้ ได้ทำการทดสอบสมาร์ทโฟนเพิ่มอีก 2 ยี่ห้อที่มีความละเอียดของกล้องเท่ากับ 2 และ 12 ล้านพิกเซล เพื่อศึกษาผลของความแตกต่างของสมาร์ทโฟนต่อการใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น โดยได้ทำการหาช่วงความเป็นเส้นตรงที่เหมาะสมของความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิก พบว่า กล้องที่มีความละเอียด 2 ล้านพิกเซล ให้ช่วงความเป็นเส้นตรงที่ 0–80 มิลลิกรัมต่อลิตร สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0074x - 0.0337$, $R^2 = 0.9813$ มีค่า LOD เท่ากับ 6.49 มิลลิกรัมต่อลิตร LOQ เท่ากับ 11.28 มิลลิกรัมต่อลิตร และ RSD% (80 มิลลิกรัมต่อลิตร, n = 9) เท่ากับ 5.48 ส่วนกล้องที่มีความละเอียด 12 ล้านพิกเซล ให้ช่วงความเป็นเส้นตรงที่ 0–100 มิลลิกรัมต่อลิตร สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0061x - 0.0036$, $R^2 = 0.9946$ มีค่า LOD เท่ากับ 1.30 มิลลิกรัมต่อลิตร LOQ เท่ากับ 2.97 มิลลิกรัมต่อลิตร และ RSD% (80 มิลลิกรัมต่อลิตร, n = 9) เท่ากับ 2.29 ซึ่งจะเห็นว่ากล้องที่มีความละเอียดต่ำจะให้ช่วงความเป็นเส้นตรงแคบ ความไวในการวิเคราะห์และความแม่นยำต่ำกว่ากล้องที่มีความละเอียดสูง แต่อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สมาร์ทโฟนทั้งสามยี่ห้อในการวิเคราะห์หากรดซาลิไซลิกในตัวอย่างจริง เพื่อให้ได้ข้อมูลผลของยี่ห้อสมาร์ทโฟนมากขึ้น

3.6 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซาลิไซลิกในตัวอย่างอาหาร ยา และเครื่องสำอาง

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดซาลิไซลิกด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมา โดยการทดสอบในกลุ่มอาหารตามท้องตลาด 3 ตัวอย่าง กลุ่มยา 6 ตัวอย่าง และกลุ่มเครื่องสำอาง 4 ตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างยาและเครื่องสำอางที่เลือกมาวิเคราะห์จะประกอบไปด้วยกรดซาลิไซลิกเป็นหลัก และมีสารกลุ่มอื่นๆ ที่ไม่มีผลรบกวนการวิเคราะห์หรือมีน้อยมาก จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยกล้องสมาร์ทโฟน 3 ยี่ห้อ (ความละเอียดของกล้องยี่ห้อที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 13, 12 และ 2 ล้านพิกเซล ตามลำดับ) แล้วทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ผลความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกที่วิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5

ผลการทดลองที่ได้จากกล้องสมาร์ทโฟนทั้งสามยี่ห้อให้ผลที่สอดคล้องกับเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ด้วยการทดสอบค่า t-test กับตัวอย่างที่พบกรดซาลิไซลิกใน 10 ตัวอย่าง ซึ่งให้ผลที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระดับขั้นความเสรี (Degree of Freedom) เท่ากับ 18 (t_{cal} ยี่ห้อที่ 1 = 0.095; ยี่ห้อที่ 2 = 0.034; ยี่ห้อที่ 3 = 0.21 น้อยกว่า t_{table} = 2.10) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบด้วยค่าร้อยละความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Percentage of Relative Error; RE%) สมาร์ทโฟนยี่ห้อที่ 3 จะให้ค่าสูงกว่าร้อยละ 10 ในเกือบทุกตัวอย่าง

ในส่วนของความแม่นยำ ในแต่ละตัวอย่างได้ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยรายงานเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5 และเมื่อคิดเป็นค่า RSD% ได้ค่าเท่ากับ 0.3–

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกที่วิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นและเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ตัวอย่าง	กรดซาลิไซลิก* (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)			
	เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์	สมาร์ทโฟน ยี่ห้อ 1	สมาร์ทโฟน ยี่ห้อ 2	สมาร์ทโฟน ยี่ห้อ 3
ปลาหมึกแห้ง	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ไก่ยอ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ปลาแห้ง	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ยารักษาตาปลา	246.15 ± 0.50	230.91 ± 1.19	244.27 ± 1.94	269.64 ± 1.22
ยารักษากลากเกลื้อน	108.03 ± 1.00	96.15 ± 0.50	105.61 ± 1.01	131.20 ± 0.76
ยาหม่อง 1	2.62 ± 0.11	2.32 ± 0.06	2.15 ± 0.06	11.36 ± 0.51
ยาหม่อง 2	1.05 ± 0.01	0.44 ± 0.05	0.40 ± 0.06	0.40 ± 0.06
น้ำมันระกำ	18.04 ± 0.50	18.24 ± 0.78	13.86 ± 0.69	15.87 ± 0.28
ครีมบรรเทาอาการปวดกล้ามเนื้อ	1.10 ± 0.08	0.96 ± 0.03	0.87 ± 0.02	0.99 ± 0.03
โลชันรักษาสิว 1	4.82 ± 0.02	3.41 ± 0.01	4.02 ± 0.01	1.84 ± 0.01
โลชันรักษาสิว 2	29.46 ± 0.16	26.69 ± 0.08	29.92 ± 0.83	37.29 ± 0.25
เซรั่มรักษาสิว	15.59 ± 0.04	15.60 ± 0.13	14.19 ± 0.03	34.60 ± 0.13
ครีมรักษาสิว	3.58 ± 0.07	3.54 ± 0.06	3.15 ± 0.03	4.63 ± 0.20

* ความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิก เท่ากับ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำซ้ำ 3 ครั้ง)

11.4, 0.2–15.0 และ 0.4–15.0 สำหรับสมาร์ทโฟนยี่ห้อที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยมีเพียงตัวอย่างเดียวเท่านั้น (ยาหม่อง 2) ที่ให้ค่า RSD% เกิน 5 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ร้อยละ 0.2–7.3) จึงถือว่าสมาร์ทโฟนทั้ง 3 ยี่ห้อ ให้ความแม่นยำในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของสมาร์ทโฟนแต่ละยี่ห้อในวัน เวลา และผู้ทำการทดลองต่างกัน ซ้ำ 3 ครั้ง โดยใช้ตัวอย่างยารักษาตาปลาและยารักษากลากเกลื้อน พบว่าสมาร์ทโฟนยี่ห้อที่ 1 และ 2 ให้ผลการทดลองสอดคล้องที่ดีกับเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ด้วยค่า RE% น้อยกว่า 10 และมีความแม่นยำปานกลาง (RSD% = 5–20) ส่วนสมาร์ทโฟนยี่ห้อที่ 3 ให้ผลการทดลองที่มีความถูกต้องระดับปานกลาง ด้วยค่า RE% 10–20 และมีความแม่นยำต่ำ (RSD% มากกว่า 20)

จากผลความถูกต้องและแม่นยำจึงสรุปได้ว่า วิธีที่พัฒนาขึ้นมานี้เหมาะสำหรับใช้กับกล้องสมาร์ทโฟนที่มีความละเอียดสูง หรือกล้องที่มีความละเอียดมากกว่า 2 ล้านพิกเซล เนื่องจากการใช้กล้องที่มีความละเอียดของภาพต่ำ การแยกสีที่วิเคราะห์ออกมาจะให้ความคลาดเคลื่อนสูง และมีค่าความไวในการวิเคราะห์ต่ำ ผลที่ได้ออกมาในหลายๆ ตัวอย่างจึงมีค่าแตกต่างไปจากการใช้เครื่องมือขั้นสูง ซึ่งในปัจจุบันสมาร์ทโฟนที่ใช้กันทั่วไปมีกล้องที่ให้ความละเอียดมากขึ้นอีกทั้งยังมีราคาถูก วิธีที่พัฒนาขึ้นมานี้จึงให้ความสะดวกรวดเร็ว และยังช่วยเป็นแนวทางในการประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของเครื่องมือได้

4. สรุป

อุปกรณ์อย่างง่ายที่ประยุกต์ใช้สมาร์ทโฟนสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซาลิไซลิกที่อยู่ในอาหาร ยาและเครื่องสำอาง ได้ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นพร้อมทั้งวิธีการวิเคราะห์ โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาของกรดซาลิไซลิกกับสารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์ได้สารละลายสีม่วง ภายใต้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมสามารถหาค่าความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกด้วยสมาร์ทโฟนที่มีความละเอียดของกล้อง 12–13 ล้านพิกเซล ได้ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยวิธีการที่พัฒนาขึ้นมานี้

จะเป็นแนวทางที่ดีสำหรับการพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้สมาร์ทโฟนในการวิเคราะห์ตัวอย่างต่างๆ ที่มีสี และยังสามารถใช้เป็นเครื่องมืออย่างง่ายในหน่วยงานหรือการสอนระดับมัธยมที่ขาดแคลนเครื่องมือขั้นสูงได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่ให้การสนับสนุนด้านวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Sumriddetchkajorn, K. Chaitavon, and Y. Intaravanne, "Mobile device-based self – referencing colorimeter for monitoring chlorine Concentration in water," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 182, pp. 592–597, 2013.

[2] S. Sumriddetchkajorn, K. Chaitavon, and Y. Intaravanne, "Mobile-platform based colorimeter for monitoring chlorine concentration in water," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 191, pp. 561–566, 2014.

[3] A. Choodum, P. Kanatharana, W. Wongniramaikul, and N. NicDaeid, "Using the iPhone as a device for a rapid quantitative analysis of trinitrotoluene in soil," *Talanta*, vol. 115, pp. 143–149, 2013.

[4] A. Choodum, K. Parabun, N. Klawach, N. NicDaeid, P. Kanatharana, and W. Wongniramaikul, "Real time quantitative colourimetric test for methamphetamine detection using digital and mobile phone technology," *Forensic Science International*, vol. 235, pp. 8–13, 2014.

[5] X. Yang, Y. Wang, W. L. Y. Zhang, F. Zheng, S. Wang, D. Zhang, and J. Wang, "A portable system for on-site quantification of formaldehyde in air based on G – quadruplex halves coupled with a smartphone reader," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 75, pp. 48–54, 2016.

[6] N. Moonrungsee, S. Pencharee, and J. Jakmunee, "Colorimetric analyzer based on mobile phone camera for determination of available phosphorus in soil," *Talanta*, vol. 136, pp. 204–209, 2015.

[7] N. Moonrungsee, S. Pencharee, and P. Peamaroon, "Determination of iron in zeolite catalysts by a smartphone camera-based colorimetric analyzer," *Instrumentation Science & Technology*, vol. 44, pp. 401–409, 2016.

[8] M. Montangero, "Determining the amount of copper(ii) ions in a solution using a smartphone," *Journal of Chemical Education*, vol. 92, pp. 1759–1762, 2015.

[9] R. R. Warrier, M. Paul, and M. V. Vineetha, "Estimation of salicylic acid in eucalyptus leaves using spectrophotometric methods," *Genetics and Plant Physiology*, vol. 3, pp. 90–97, 2013.

[10] T. S. Kuntzleman and E. C. Jacobson, "Teaching Beer's law and absorption spectrophotometry with a smart phone: a substantially simplified protocol," *Journal of Chemical Education*, vol. 93, pp. 1249–1252, 2016.