



การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในสเปรย์แอลกอฮอล์ โดยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายกล้อง  
โทรศัพท์มือถือ



เมทินี เมฆพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในสเปรย์แอลกอฮอล์ โดยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายกล้อง  
โทรศัพท์มือถือ



เมทินี เมฆทนต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

Determination of Ethanol in Alcohol Spray by Color Photo Intensity Measuring on  
Mobile Phone



METINEE MEKTAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENTS FOR MASTER DEGREE OF SCIENCE  
IN CHEMICAL EDUCATION  
FACULTY OF SCIENCE  
BURAPHA UNIVERSITY

2024

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณา  
วิทยานิพนธ์ของ เมทินี เมฆทนต์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์  
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.จเร จรัสจรรยาพงศ์)

..... ประธาน  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภณัฐ คงศรีประพันธ์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร มั่นเจริญ)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.จเร จรัสจรรยาพงศ์)

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อุษาวดี ตันติวรานุกษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทวัส แจ่มเอียด)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

62920410: สาขาวิชา: เคมีศึกษา; วท.ม. (เคมีศึกษา)

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ความเข้มข้น, ระบบสี RGB, โทรศัพท์มือถือ, สเปรย์แอลกอฮอล์

เมทินี เมฆพันธ์ : การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในสเปรย์แอลกอฮอล์ โดยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายกล้องโทรศัพท์มือถือ. (Determination of Ethanol in Alcohol Spray by Color Photo Intensity Measuring on Mobile Phone) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: จเรจรัสจรรยาพงศ์ ปี พ.ศ. 2567.

ในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 สเปรย์แอลกอฮอล์ถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยสเปรย์แอลกอฮอล์ต้องมีปริมาณเอทานอลมากกว่า 70% v/v เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อและป้องกันการแพร่กระจายของแบคทีเรียและไวรัสต่าง ๆ การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลจึงควรใช้วิธีที่สะดวก รวดเร็ว และเชื่อถือได้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการวัดปริมาณเอทานอลโดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลกอฮอล์ ผ่านการวิเคราะห์ความเข้มข้นด้วยโทรศัพท์มือถือ ซึ่งใช้สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต( $K_2Cr_2O_7$ ) และสารละลายมาตรฐานเอทานอล รวมทั้งตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ สำหรับการวิเคราะห์สีจะใช้ระบบสี RGB เพื่อติดตามการเปลี่ยนสีจากสีส้ม ( $Cr^{6+}$ ) เป็นสีเขียว ( $Cr^{3+}$ ) ในปฏิกิริยา ผ่านแอปพลิเคชันPANTONE ในการศึกษานี้ได้คำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงจากค่าความเข้มข้นของสีแดง (R) เนื่องจากแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเข้มข้นของเอทานอลได้ดีที่สุด โดยมีค่า  $r^2 = 0.9933$  และให้สมการเส้นตรง  $y = -0.0022x + 0.4333$  นอกจากนี้ค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด (LOD) ของวิธีการนี้คือ 39.58 %v/v ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการตรวจวัดเอทานอลในสเปรย์แอลกอฮอล์ที่มีประสิทธิภาพ และการวิเคราะห์ความเข้มข้นจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือได้ให้ผลที่ใกล้เคียงกับเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Vis Spectrophotometry) การทดลองนี้ยังช่วยให้นักเรียนได้พัฒนาทักษะการปฏิบัติและการวิเคราะห์เชิงปริมาณมาถน ในการตรวจวัดปริมาณเอทานอล ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการเคมีระดับมัธยมศึกษาโดยเน้นการใช้อุปกรณ์ที่ทำได้ง่าย ประหยัดต้นทุน และรวดเร็ว และส่งเสริมให้นักเรียนได้สำรวจการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการวิเคราะห์ทางเคมีขั้นพื้นฐาน โดยเน้นความสะดวกสบาย ประหยัดต้นทุน และการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ซึ่งทั้งหมดนี้ช่วยเสริมสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์

62920410: MAJOR: CHEMICAL EDUCATION; M.Sc. (CHEMICAL EDUCATION)

KEYWORDS: Ethanol spray, Colorimetric method, RGB color model, Mobile Phone

METINEE MEKTAN : DETERMINATION OF ETHANOL IN ALCOHOL SPRAY BY COLOR PHOTO INTENSITY MEASURING ON MOBILE PHONE. ADVISORY COMMITTEE: JARAY JARATJAROONPHONG, 2024.

Ethanol-based disinfectant spray is widely used during COVID-19 to prevent bacteria and viruses. The ethanol content of the disinfectant spray must be more than 70% v/v. Analytical methods for evaluating the ethanol content in the disinfectant spray should be simple, rapid, and reliable. This study determined ethanol content in disinfectant spray through alcohol oxidation and color photo analysis via mobile phone. The chemical reagents used are potassium dichromate ( $K_2Cr_2O_7$ ) solution, ethanol standard, and ethanol spray samples. The color models (RGB) were used to monitor a color change from orange ( $Cr^{6+}$ ) to green ( $Cr^{3+}$ ) in the reaction using the application PANTONE on a mobile phone and further converted into absorbance. The red color (R) was selected for the analysis as it exhibited the best linear correlation with ethanol concentration, with a coefficient of determination ( $r^2 = 0.9933$ ), and the linear equation ( $y = -0.0022x + 0.4333$ ). The limit of detection (LOD) for this method was determined to be 39.58 %v/v, which demonstrates the capability of this method for efficient detection of ethanol in alcohol spray. The concentration analysis of ethanol in the sample by measuring the color intensity from mobile phone camera results is similar to the analysis using UV-Vis spectrophotometry techniques. This experiment helps students develop practical skills in quantifying ethanol levels in disinfectant spray. Designed for high school chemistry labs with limited equipment, it encourages exploration of digital imaging technology and emphasizes portability, cost-effectiveness, and quick results for a comprehensive learning experience.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการแนะนำช่วยเหลือเอาใจใส่เป็นอย่างดี จากรองศาสตราจารย์ ดร.จเร จรัสจรรยาพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจให้เกิดการเรียนรู้อย่างไม่รู้จบสิ้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภณัฐ คงศรีประพันธ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร มั่นเจริญ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนกระทั่งการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สรายุทธ เวชสิทธิ์ และคุณเพชรลดา สัญชยานุกูล ที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและการวิเคราะห์ข้อมูล ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารสถานศึกษา และคณะครูผู้ร่วมงานโรงเรียนสวนป่าเขาชะอางค์ ที่ต้องปฏิบัติหน้าที่และรับผิดชอบงานแทนผู้วิจัยในขณะลาศึกษาต่อ

ขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัย และนายตะวัน เจริญพร ที่ปรึกษาด้านการกราฟฟิก และการถ่ายภาพ ตลอดจนเพื่อนๆ สาขาเคมีศึกษา และน้องๆ สาขาเคมี ที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูทเวทิตาแด่บุพการี บุรพอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

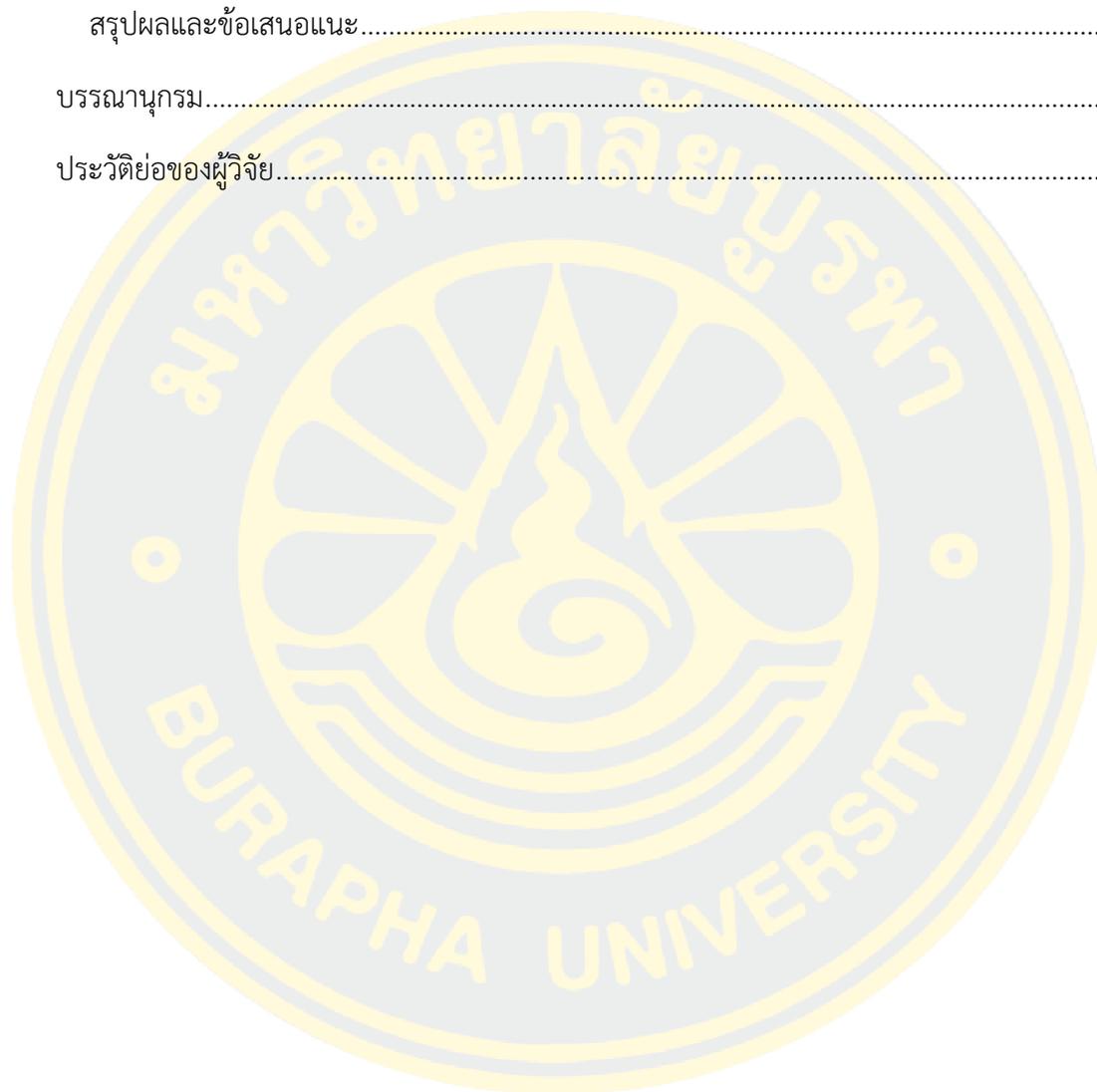
เมทินี เมฆพันธ์

## สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....   | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                      | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....   | ฉ    |
| สารบัญ.....  | ช    |
| สารบัญตาราง.....   | ญ    |
| สารบัญภาพ.....   | ฎ    |
| บทที่ 1.....   | 1    |
| บทนำ.....  | 1    |
| ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....                          | 1    |
| วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....                                 | 3    |
| ขอบเขตการวิจัย.....  | 3    |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                               | 4    |
| นิยามศัพท์เฉพาะ.....   | 4    |
| บทที่ 2.....   | 6    |
| เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                          | 6    |
| ประเภทของแอลกอฮอล์.....                                      | 6    |
| การใช้แอลกอฮอล์ทำความสะอาด/ฆ่าเชื้อ.....                     | 8    |
| การทดสอบแอลกอฮอล์.....                                       | 10   |
| การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี.....    | 15   |
| การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Nuclear Magnetic Resonance (NMR)..... | 25   |
| ระบบสี การวัดสี และ โมเดลสี.....                             | 26   |

|  |    |
|--|----|
| แสง สี และการดูดกลืนแสงของสาร .....  | 33 |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....  | 34 |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความเข้มสีโดยใช้โทรศัพท์มือถือ .....                               | 34 |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล .....  | 38 |
| บทที่ 3 .....  | 39 |
| วิธีการดำเนินงานวิจัย .....  | 39 |
| เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี .....  | 39 |
| แผนการดำเนินการวิจัย .....   | 41 |
| การเตรียมสารละลาย .....  | 42 |
| ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล โดยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ....                       | 43 |
| ตอนที่ 2 การสร้างกราฟมาตรฐานวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลด้วยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่าย<br>โทรศัพท์มือถือ ..... | 46 |
| ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี.....                        | 47 |
| ตอนที่ 4 การวิเคราะห์ชนิดของแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์.....                                   | 47 |
| ตอนที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์.....                              | 48 |
| การศึกษาค่าทางการวิเคราะห์ .....   | 50 |
| การวิเคราะห์ความเข้มสีด้วยแอปพลิเคชัน PANTONE.....   | 51 |
| บทที่ 4 .....  | 54 |
| ผลการวิจัยและอภิปราย .....   | 54 |
| ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล โดยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ....                       | 54 |
| ตอนที่ 2 การสร้างกราฟมาตรฐานวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล ด้วยการวิเคราะห์สีจาก<br>ภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ..... | 63 |
| ตอนที่ 3 การวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี.....                     | 66 |
| ตอนที่ 4 การวิเคราะห์ชนิดของแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์.....                                   | 67 |

|  |    |
|--|----|
| ตอนที่ 5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์ |    |
| แอลกอฮอล์.....   | 68 |
| บทที่ 5 .....  | 71 |
| สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....   | 71 |
| บรรณานุกรม.....  | 73 |
| ประวัติย่อของผู้วิจัย.....   | 78 |



## สารบัญตาราง

|  | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 1 แสดงสีและสีตรงกันข้ามของสเปกตรัมช่วงคลื่นที่ตามองเห็น.....  | 34   |
| ตารางที่ 2 ผลการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอล.....  | 56   |
| ตารางที่ 3 ผลการศึกษาในเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลเวลาที่ 30 – 360 วินาที.....   | 58   |
| ตารางที่ 4 ผลการศึกษาภาชนะที่ใช้ในการบรรจุสารละลายที่เหมาะสม.....  | 60   |
| ตารางที่ 5 ผลการศึกษาระยะห่างที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยโทรศัพท์มือถือ.....   | 62   |
| ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลด้วยวิธีการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายด้วยโทรศัพท์มือถือ โดยใช้แอปพลิเคชัน PANTONE ในการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 64   |
| ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี.....   | 66   |
| ตารางที่ 8 ผลการทดสอบชนิดของแอลกอฮอล์ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์.....   | 68   |
| ตารางที่ 9 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์.....   | 69   |

## สารบัญภาพ

|   | หน้า |
|---|------|
| ภาพที่ 1 สูตรทั่วไปของแอลกอฮอล์ชนิดปฐมภูมิ .....  | 7    |
| ภาพที่ 2 สูตรทั่วไปของแอลกอฮอล์ชนิดทุติยภูมิ .....  | 7    |
| ภาพที่ 3 สูตรทั่วไปของแอลกอฮอล์ชนิดตติยภูมิ .....   | 7    |
| ภาพที่ 4 แผนผังการทดสอบแอลกอฮอล์ .....  | 11   |
| ภาพที่ 5 การทดสอบแอลกอฮอล์ด้วยสารละลายเซริกแอมโมเนียมไนเตรต .....                             | 12   |
| ภาพที่ 6 การทดสอบแอลกอฮอล์ด้วยสารละลายโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต .....                           | 14   |
| ภาพที่ 7 โครงสร้างของแอลกอฮอล์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาไอโอโดฟอร์ม .....                         | 14   |
| ภาพที่ 8 การเกิดตะกอนสีเหลืองจากปฏิกิริยาไอโอโดฟอร์ม .....                                    | 15   |
| ภาพที่ 9 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า .....  | 17   |
| ภาพที่ 10 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงทางอิเล็กทรอนิกส์ในฟอร์มมาลดีไฮด์ .....                       | 19   |
| ภาพที่ 11 คลื่นแสงเฉพาะที่ตกกระทบอะตอมทำให้เกิดการกระตุ้นของอิเล็กตรอน .....                  | 20   |
| ภาพที่ 12 การเปลี่ยนผ่านทางอิเล็กทรอนิกส์ในโมเลกุลและสเปกตรัมที่มองเห็นได้ด้วยรังสียูวี ..... | 21   |
| ภาพที่ 13 โครงสร้างพื้นฐานของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ .....   | 22   |
| ภาพที่ 14 ส่วนประกอบของเครื่อง NMR .....  | 26   |
| ภาพที่ 15 พิกัดสีในระบบเชิงปริภูมิ CIE Lab .....  | 29   |
| ภาพที่ 16 การแสดงเชิงปริภูมิสีแบบ RGB .....   | 32   |
| ภาพที่ 17 วงล้อสี .....   | 33   |
| ภาพที่ 18 แผนผังขั้นตอนการทำวิจัย .....   | 41   |
| ภาพที่ 19 กล่องไฟถ่ายภาพ (Studio Box) .....   | 44   |
| ภาพที่ 20 แอปพลิเคชัน PANTONE .....   | 51   |
| ภาพที่ 21 หน้าแรกของแอปพลิเคชัน PANTONE .....   | 51   |

|   |    |
|---|----|
| ภาพที่ 22 การคัดเลือกรูปภาพจากคลังรูปภาพ .....  | 52 |
| ภาพที่ 23 การซูมจุดบนรูปภาพในการวัดความเข้มสี .....   | 52 |
| ภาพที่ 24 ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มสีของภาพด้วยแอปพลิเคชัน PANTONE .....  | 53 |
| ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลขณะทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) .....                      | 54 |
| ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลขณะทำปฏิกิริยาสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ).....                    | 55 |
| ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงจากความเข้มสีแดง (R) และความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ขณะทำปฏิกิริยาสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ..... | 57 |
| ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ของค่าดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล ในการศึกษาที่เวลา 300 วินาที.....  | 59 |
| ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ของค่าดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลในการศึกษาภาชนะที่ใช้ในการบรรจุสารละลายที่เหมาะสม ที่ระยะถ่ายภาพ 15 เซนติเมตร.....          | 61 |
| ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ของค่าดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของเอทานอลในการศึกษาสีแดง (R) ...   | 64 |
| ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ของค่าดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของเอทานอลในการศึกษาสีเขียว (G)..   | 65 |
| ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ของค่าดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของเอทานอลในการศึกษาสีน้ำเงิน (B)65   |    |
| ภาพที่ 33 กราฟมาตรฐานในการหาปริมาณเอทานอลในตัวอย่าง ด้วยวิธีการวิเคราะห์สีด้วย เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี .....   | 67 |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แอลกอฮอล์เป็นสารชนิดหนึ่งที่มีสมบัติในการต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial agent) โดยสามารถทำลายหรือหยุดยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้หลากหลาย จึงถูกนำมาใช้ในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิวสิ่งของต่าง ๆ ที่ไม่มีชีวิต สามารถยับยั้งการแพร่กระจายของเชื้อโรค แอลกอฮอล์สามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียรวมทั้งเชื้อวัณโรค เชื้อรา และไวรัสบางชนิด โดยเฉพาะเชื้อที่มีโครงสร้างไขมันหุ้มอยู่เนื่องจากแอลกอฮอล์จะออกฤทธิ์ละลายไขมัน ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลง และในปัจจุบันการแพร่ระบาดของโควิด-19 ยังคงมีการแพร่ระบาดอยู่อย่างต่อเนื่อง การมีแนวทางปฏิบัติในการฆ่าเชื้ออย่างเหมาะสม จึงมีความสำคัญอย่างมากในการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อไวรัส สำหรับยาฆ่าเชื้อที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ เช่น ผลิตภัณฑ์เจลล้างมือ แอลกอฮอล์หรือสเปรย์แอลกอฮอล์ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิวต่าง ๆ โดยสารละลายที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์จะต้องมีส่วนประกอบของเอทานอลที่มีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 70% จึงจะเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อได้ดี เพราะจะทำให้แอลกอฮอล์นั้นไม่ระเหยเร็วจนเกินไป และมีปริมาณน้ำที่เพียงพอให้จุลินทรีย์ดูดซึม ทำให้ออกฤทธิ์ทำลายเซลล์ได้ในขณะที่แอลกอฮอล์เข้มข้น 95%–100% จะมีการระเหยอย่างรวดเร็วและมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอที่จะดูดซึมเข้าไปในเซลล์เมมเบรนจึงทำให้เกิดการคายน้ำออกจากเซลล์อย่างรวดเร็วโดยที่ไม่ได้ฆ่าเชื้อ นอกจากนี้ยังพบว่าแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 50% จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ลดลง ดังนั้นแอลกอฮอล์ที่สามารถนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อควรมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 60%–90% แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้เป็นยาฆ่าเชื้ออย่างแพร่หลาย ได้แก่ เอทานอล (ethanol) และไอโซโพรพานอล (isopropanol) ส่วนเมทานอล (methanol) ไม่สามารถนำมาใช้เป็นยาฆ่าเชื้อได้ เนื่องจากเป็นสารมีพิษอย่างยิ่งต่อคน และมีผลทำลายประสาทตาจนอาจทำให้ตาบอดถาวร หรืออาจทำให้ถึงตายได้ (ราชกิจจานุเบกษา, 9 มีนาคม 2563)

การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มีหลากหลายวิธี วิธีหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปคือเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแยกส่วนประกอบของตัวอย่างที่ถูกทำให้กลายเป็นแก๊ส และตรวจจับโดยใช้เครื่องตรวจจับไอออนที่มีความแม่นยำ และมีความเที่ยงตรงสูงในการหาปริมาณเอทานอล โดยมีงานวิจัยมากมาย เช่น การวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โดยใช้เทคนิคเฮดสเปซโครมาโทกราฟี (ประภาพรพรณ เตชะเสาวภาคย์ และ สรวงสุดา สุประภากร, 2539) ซึ่งเทคนิคนี้ทำให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือ แต่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อน และบุคลากรที่ผ่านการฝึกอบรมทำให้สามารถเข้าถึงได้น้อยและใช้เวลานาน นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาผลการทดลองความถูกต้องของ

ปริมาณแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์เป็นส่วนผสมเพื่อสุxonนามัยสำหรับมือ ด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (เมเนกา วีน และ วงเดือน นาคนิยม, 2563) และการศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับใช้วิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล โดยการให้ความร้อนด้วยเครื่องอัลตราโซนิก และเครื่องไมโครเวฟ เพื่อระเหยเอทานอลไปทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ที่เคลือบบนกระดาษกรอง (ชนิษฐา ศรีบุรินทร์ และ อภิญญา นวคุณ, 2562) จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลนั้นมีหลากหลายวิธี ในแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรได้รับการประเมินอย่างรอบคอบโดยการพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความแม่นยำ ต้นทุน ข้อกำหนดด้านอุปกรณ์ และความง่ายต่อการใช้งาน

ปัจจุบันเทคโนโลยีโทรศัพท์มือถือได้มีความก้าวหน้าทำให้สมาร์ตโฟนกลายเป็นส่วนสำคัญในการใช้ชีวิตประจำวันมากขึ้น ความพร้อม และความสามารถที่เพิ่มขึ้นของโทรศัพท์มือถือได้เปิดโอกาสใหม่ ๆ สำหรับนำมาใช้ประโยชน์ในการวิจัย และการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ นักวิจัยได้เริ่มพัฒนาวิธีการถ่ายภาพขั้นสูง ที่ทำให้สามารถวัดสีได้อย่างแม่นยำ วิธีการนี้สามารถหาปริมาณความเข้มของสีจากภาพที่ถ่ายด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือได้ ซึ่งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา นักวิจัย และนักประดิษฐ์ได้ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันมือถือรวมทั้งระบบซอฟต์แวร์ที่สามารถใช้ในการคำนวณเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการถ่ายภาพของโทรศัพท์มือถือ ทำให้สามารถนำมาใช้ในการตรวจวัดเชิงปริมาณได้อย่างแม่นยำ เช่น การศึกษาประสิทธิภาพการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยโปรแกรม shoebox spectrophotometer ที่ทำงานบนสมาร์ตโฟนเพื่อใช้ในการวัดปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (ณัฐกร อินทรวิเศษ, 2563) การศึกษาภาพดิจิทัลที่ใช้สมาร์ตโฟนในการวัดสีแบบเรียบง่าย ต้นทุนต่ำ เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณฟีนอลรวมในผลิตภัณฑ์ชาอบแห้งของเวียดนาม และสุรา (Do Minh-Huy et al., 2023) นอกจากนี้ได้มีการศึกษาสารละลายที่มีประโยชน์สำหรับการหาปริมาณฟลูออไรด์ไอออนในน้ำดื่มโดยใช้สมาร์ตโฟน (Priya Yadav et al., 2022)

การวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความเข้มสีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ เป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่ทั่วไป พกพาง่าย สะดวกต่อการใช้งาน เหมาะสำหรับบุคคลทุกกลุ่ม สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลนอกสถานที่ได้ และลดการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีราคาค่อนข้างสูง อีกทั้งวิธีการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลจากความเข้มสีนั้น สามารถทำได้โดยเกิดปฏิกิริยาโดยตรงระหว่างเอทานอลกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ที่ให้สารสีเขียว หรือทดสอบเอทานอลด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) เกิดการฟอกจางสีและเกิดผลิตภัณฑ์ แมงกานีส(II) ไดออกไซด์ ( $MnO_2$ ) เป็นตะกอนสีน้ำตาล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทดลองหาวิธีการตรวจสอบชนิดของแอลกอฮอล์และวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ในสภาวะที่เหมาะสม สามารถประหยัดต้นทุน และสะดวกในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเอทานอลในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ ที่จำหน่ายใน

ห้องตลาด ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์แก่ผู้บริโภค สามารถมั่นใจในประสิทธิภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ในการป้องกันการติดเชื้อได้ นอกจากนี้สามารถนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้สำหรับโรงเรียนที่ยังขาดอุปกรณ์ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในสเปรย์แอลกอฮอล์ได้

### วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ โดยการวัดความเข้มของสีจากภาพถ่ายกล้องโทรศัพท์มือถือ

### ขอบเขตการวิจัย

1. วิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล โดยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายกล้องโทรศัพท์มือถือ โดยการศึกษาสารละลายที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยากับเอทานอล และศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ เช่น ความเข้มข้นของปฏิกิริยา, เวลาในการทำปฏิกิริยา, ภาวะขณะบรรจุสารตัวอย่าง, การควบคุมแสง และ ระยะห่างในการถ่ายภาพ เป็นต้น
2. วิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล โดยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายกล้องโทรศัพท์มือถือ โดยการสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลกับค่าความเข้มของสีต่าง ๆ จากภาพถ่ายกล้องโทรศัพท์มือถือ และทดสอบความถูกต้องโดยศึกษาความสามารถในการทำซ้ำ (%RSD), ค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด (LOD)
3. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล โดยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายกล้องโทรศัพท์มือถือ และการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry)
4. ทดสอบแอลกอฮอล์ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ ด้วยสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรด  $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$  ทดสอบชนิดของแอลกอฮอล์ด้วยการทำปฏิกิริยากับลูคัส รีเอเจนต์ (Lucas reagent) และทดสอบแอลกอฮอล์ว่าเป็นเอทานอลด้วยปฏิกิริยาไอโอดิฟอร์ม (Iodoform reaction) ตามลำดับ และวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ ที่มีขายในท้องตลาด โดยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายกล้องโทรศัพท์มือถือ รวมทั้งหมด 5 ตัวอย่าง

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ โดยการวัดความเข้มของสีจากภาพถ่ายด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ
2. เป็นแนวทางให้ผู้บริโภคทราบถึงปริมาณเอทานอลที่เหมาะสมสำหรับการฆ่าเชื้อ
3. เป็นแนวทางให้ผู้บริโภคในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ หรือ แอลกอฮอล์สำหรับฆ่าเชื้อ โดยคำนึงถึงหลักความปลอดภัย

### นิยามศัพท์เฉพาะ

1. สเปรย์แอลกอฮอล์ หมายถึง สารละลายแอลกอฮอล์ล้างมือ หรือ แอลกอฮอล์สำหรับใช้ฆ่าเชื้อที่อยู่ในสถานะเป็นของเหลว ใช้ฉีดพ่นทำความสะอาดมือแบบไม่ต้องล้างน้ำเปล่า มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด
2. เอทานอล หมายถึง ปริมาณสารเอทานอล ซึ่งได้จากการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายกล้องโทรศัพท์มือถือ
3. โทรศัพท์มือถือ หมายถึง โทรศัพท์เคลื่อนที่สมาร์ตโฟน มีความสามารถคล้ายคอมพิวเตอร์ เป็นเครื่องเล่นสื่อแบบพกพา มีกล้องดิจิทัล กล้องวิดีโอ และอุปกรณ์นำทาง GPS ระบบปฏิบัติการจัดเตรียมอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการประมวลผลขั้นสูง สามารถรองรับการใช้งานแอปพลิเคชันเอาไว้หลากหลาย และเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้
4. ความเข้มสี หมายถึง ค่าความเข้มของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (ระบบสี RGB) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ (PANTONE)
5. ระบบสี RGB หมายถึง ระบบการแสดงผลของสีที่ใช้สามสีหลักคือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ในการสร้างสีต่าง ๆ ผ่านการผสมแสง
6. เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) หมายถึง เทคนิคที่ใช้ในการวัดการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเล็ตและแสงที่มองเห็น
7. โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate,  $K_2Cr_2O_7$ ) หมายถึง สารออกซิแดนท์ที่ใช้ในการตรวจวัดเอทานอลในการทดลอง
8. การวิเคราะห์สี หมายถึง กระบวนการที่ใช้ในการตรวจวัดความเข้มสีของสารละลายโดยอาศัยค่าความเข้มของสีจากระบบสีต่าง ๆ (เช่น RGB) ผ่านการถ่ายภาพและแอปพลิเคชัน
9. ปฏิกริยาออกซิเดชัน หมายถึง กระบวนการที่สารเกิดการสูญเสียอิเล็กตรอน โดยในงานวิจัยนี้ใช้สำหรับการเปลี่ยนเอทานอลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่สามารถวัดได้
10. การทดสอบลูคัส (Lucas Test) หมายถึง การทดสอบแอลกอฮอล์โดยใช้สารละลาย  $HCl/ZnCl_2$  เพื่อจำแนกแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และ ตติยภูมิ

11. กราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) หมายถึง กราฟที่สร้างขึ้นจากข้อมูลการทดลองที่รู้ค่าความเข้มข้น เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ทราบค่าความเข้มข้น

12. การทดสอบด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO<sub>4</sub> Test) หมายถึง การทดสอบแอลกอฮอล์โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีหรือการตกตะกอน

13. แอปพลิเคชัน PANTONE หมายถึง โปรแกรมหรือแอปพลิเคชันที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความเข้มของสีจากภาพถ่ายที่ได้จากกล้องโทรศัพท์มือถือ

14. ความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) หมายถึง ความสามารถในการให้ผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกันเมื่อทำการทดลองซ้ำภายใต้สภาวะเดียวกัน

15. ค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) หมายถึง ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจวัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

16. ปฏิกิริยาไอโอดิฟอร์ม (Iodoform Reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดสอบแอลกอฮอล์ทุติยภูมิที่มีโครงสร้างเฉพาะ โดยเกิดตะกอนสีเหลืองของไอโอดิฟอร์ม (CHI<sub>3</sub>)

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาประกอบการดำเนินการตามลำดับดังนี้

1. ประเภทของแอลกอฮอล์
2. การใช้แอลกอฮอล์ทำความสะอาด/ฆ่าเชื้อ
3. การทดสอบแอลกอฮอล์
4. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี
5. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Nuclear Magnetic Resonance (NMR)
6. ระบบสี, การวัดสี และ โมเดลสี
7. แสง สี และการดูดกลืนแสงของสาร
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### ประเภทของแอลกอฮอล์

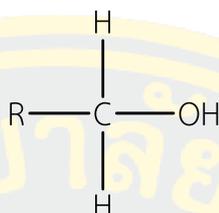
แอลกอฮอล์ (Alcohol) เป็นสารประกอบทางเคมีที่มีสูตรทั่วไปคือ  $C_nH_{2n+1}OH$  หรือ  $R-OH$  โดยที่  $R$  คือ หมู่แอลคิล (Alkyl group) และ  $-OH$  คือ หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) แอลกอฮอล์สามารถแบ่งออกตามจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลที่ติดอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุลได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. Monohydric Alcohol: แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเพียง 1 หมู่
2. Dihydric Alcohol: แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่
3. Trihydric Alcohol: แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่

Monohydric Alcohol สามารถแบ่งตามจำนวนไฮโดรเจนที่ติดอยู่กับคาร์บอนซึ่งเกาะกับหมู่ไฮดรอกซิลได้เป็น 3 ชนิด คือ

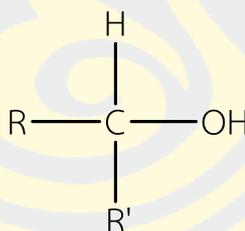
1. แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ (Primary alcohol)
2. แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ (Secondary alcohol)
3. แอลกอฮอล์ตติยภูมิ (Tertiary alcohol)

แอลกอฮอล์ชนิดปฐมภูมิ (Primary alcohol) แอลกอฮอล์ชนิดนี้มีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่กับคาร์บอนที่มีไฮโดรเจนติดอยู่ 2 อะตอม สูตรทั่วไปคือ  $1^\circ\text{ROH}$  หมายถึง แอลกอฮอล์ที่มีโครงสร้าง C-OH โดยที่คาร์บอนมีไฮโดรเจน 2 อะตอม ดังภาพที่ 1



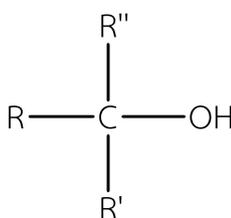
ภาพที่ 1 สูตรทั่วไปของแอลกอฮอล์ชนิดปฐมภูมิ

แอลกอฮอล์ชนิดทุติยภูมิ (Secondary alcohol) แอลกอฮอล์ชนิดนี้มีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่กับคาร์บอนที่มีไฮโดรเจนติดอยู่ 1 อะตอม สูตรทั่วไปคือ  $2^\circ\text{ROH}$  หมายถึง แอลกอฮอล์ที่มีโครงสร้าง C-OH โดยที่คาร์บอนมีไฮโดรเจนเพียง 1 อะตอม ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 สูตรทั่วไปของแอลกอฮอล์ชนิดทุติยภูมิ

แอลกอฮอล์ชนิดตติยภูมิ (Tertiary alcohol) แอลกอฮอล์ชนิดนี้มีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่กับคาร์บอนที่ไม่มีไฮโดรเจนติดอยู่เลย สูตรทั่วไปคือ  $3^\circ\text{ROH}$  หมายถึง แอลกอฮอล์ที่มีโครงสร้าง C-OH โดยที่คาร์บอนไม่มีไฮโดรเจนติดอยู่ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สูตรทั่วไปของแอลกอฮอล์ชนิดตติยภูมิ

## การใช้แอลกอฮอล์ทำความสะอาด/ฆ่าเชื้อ

แอลกอฮอล์มีสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ เช่น ไวรัส แบคทีเรีย และเชื้อรา ด้วยคุณสมบัติในการฆ่าและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค จึงเป็นที่นิยมใช้ในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อทั้งบนผิวหนังและอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะแอลกอฮอล์ชนิด เอทานอล (Ethanol หรือ Ethyl Alcohol) ซึ่งเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และระเหยได้ดี เอทานอลสามารถฆ่าเชื้อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่ก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่อผิวหนัง จึงเป็นส่วนผสมหลักในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ เช่น เจลล้างมือและสเปรย์แอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์ล้างมือแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับส่วนผสมและวิธีการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วแอลกอฮอล์ล้างมือที่ใช้ในชีวิตประจำวันจะประกอบด้วยประเภทต่าง ๆ ดังนี้

1). เอทานอล (Ethanol) เป็นแอลกอฮอล์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ล้างมือ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อรา

เอทานอลมักมีความเข้มข้น 60-80% เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการฆ่าเชื้อ สามารถระเหยได้เร็วและมีกลิ่นที่ไม่ฉุนเกินไป

2). ไอโซโพรพานอล (Isopropanol) ไอโซโพรพานอลหรือไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นอีกหนึ่งชนิดที่นิยมใช้ในแอลกอฮอล์ล้างมือ มักใช้ในความเข้มข้น 70-90% มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อสูง โดยเฉพาะไวรัสและแบคทีเรีย และระเหยได้เร็ว มีกลิ่นฉุนกว่าชนิดเอทานอล

3). แอลกอฮอล์เจล (Alcohol Gel) แอลกอฮอล์ล้างมือชนิดเจลเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดและใช้แอลกอฮอล์เข้มข้นเป็นส่วนผสมหลัก โดยมีสารเพิ่มความข้น เช่น คาร์โบพอล (Carbopol) ช่วยให้เป็นเจล ใช้งานง่าย ไม่เหนียวเหนอะหนะ มีความสะดวกในการพกพา และมักมีสารให้ความชุ่มชื้น เช่น กลีเซอรินเพื่อช่วยลดการระคายเคืองผิว

4). แอลกอฮอล์สเปรย์ (Alcohol Spray) เป็นแอลกอฮอล์ล้างมือที่อยู่ในรูปแบบของเหลวและบรรจุในขวดสเปรย์ โดยมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์อยู่ในช่วง 60-80% สะดวกต่อการใช้งานและพกพา สามารถใช้สเปรย์เพื่อทำความสะอาดมือได้รวดเร็ว หรือใช้ในการทำความสะอาดพื้นผิวต่าง ๆ ได้เช่นกัน

5). แอลกอฮอล์ล้างมือแบบโฟม (Alcohol Foam) แอลกอฮอล์ล้างมือในรูปแบบโฟมมีลักษณะเป็นโฟมขาวที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสม โดยมักมีสารเพิ่มความหนืดหรือส่วนผสมที่ช่วยให้เกิดโฟม

6). สำลีแอลกอฮอล์ (Alcohol Swabs) เป็นสำลีหรือผ้าขนาดเล็กที่ถูชุบด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้นสูง (ประมาณ 70-75% เอทานอลหรือไอโซโพรพานอล) เพื่อใช้ในการฆ่าเชื้อโรคหรือทำความสะอาดพื้นผิว โดยส่วนใหญ่สำลีแอลกอฮอล์จะถูกบรรจุเป็นซองเล็ก ๆ ปิดสนิทและบรรจุแบบใช้ครั้งเดียว

7). แอลกอฮอล์ผ้าเช็ด (Alcohol Wipes) เป็นผ้าที่ถูกชุบด้วยแอลกอฮอล์คล้ายกับสำลี แอลกอฮอล์ แต่มีขนาดใหญ่กว่าและมีความหนามากขึ้น มักใช้สำหรับเช็ดทำความสะอาดพื้นผิวที่ใหญ่ขึ้น เช่น โต๊ะ เคาน์เตอร์ หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในทางการแพทย์

#### คุณสมบัติของแอลกอฮอล์ล้างมือ

แอลกอฮอล์ที่เป็นที่นิยมในผลิตภัณฑ์ล้างมือ คือ เอทานอล (Ethanol หรือ Ethyl Alcohol) ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีกลิ่นและสี อีกทั้งยังระเหยได้ง่าย คุณสมบัติหลักของแอลกอฮอล์ชนิดนี้คือสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้หลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย ไวรัส หรือเชื้อรา โดยไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง นอกจากนี้ยังใช้เพื่อฆ่าเชื้อทั้งบนผิวและพื้นผิวอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยทั่วไป แอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70% ถือว่ามีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากมีน้ำในปริมาณที่เหมาะสมพอให้เซลล์ของจุลินทรีย์ดูดซึม ทำให้สามารถออกฤทธิ์ทำลายเชื้อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 95–100% มักระเหยเร็วเกินไป ทำให้น้ำไม่เพียงพอที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์เชื้อโรค จึงลดประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ ขณะเดียวกัน ผลิตภัณฑ์ที่มีแอลกอฮอล์ต่ำกว่า 50% ก็ไม่สามารถทำลายเชื้อโรคได้ดี (ราชกิจจานุเบกษา, 9 มีนาคม 2563)

แอลกอฮอล์ล้างมือที่ไม่ได้ผ่านการรับรองเกรดอาหาร (Food Grade) มักมีส่วนผสมอื่น ๆ ที่ไม่สามารถบริโภคได้ เช่น สารเพิ่มความชุ่มชื้น สี สารแต่งกลิ่น หรือสารปนเปื้อน ซึ่งอาจเป็นพิษหากเผลอรับประทานในปริมาณมาก จึงต้องระมัดระวังการใช้ โดยเฉพาะเมื่อต้องใช้กับบริเวณที่เกี่ยวข้องกับอาหาร

การใช้แอลกอฮอล์ล้างมือเหมาะสำหรับสถานการณ์ที่ต้องการความเร่งด่วน หรือในกรณีที่ไม่สามารถล้างมือด้วยน้ำและสบู่ได้ อย่างไรก็ตาม การใช้แอลกอฮอล์เพียงอย่างเดียวไม่ได้ช่วยขจัดสิ่งสกปรกหรือสิ่งปนเปื้อนที่อาจติดอยู่บนมือ จึงไม่ควรนำมาใช้แทนการล้างมือปกติ และที่สำคัญควรหลีกเลี่ยงไม่ให้แอลกอฮอล์สัมผัสกับอาหาร เนื่องจากอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพ (ธนกร ศิริสมุทร, 2564)

### การทดสอบแอลกอฮอล์

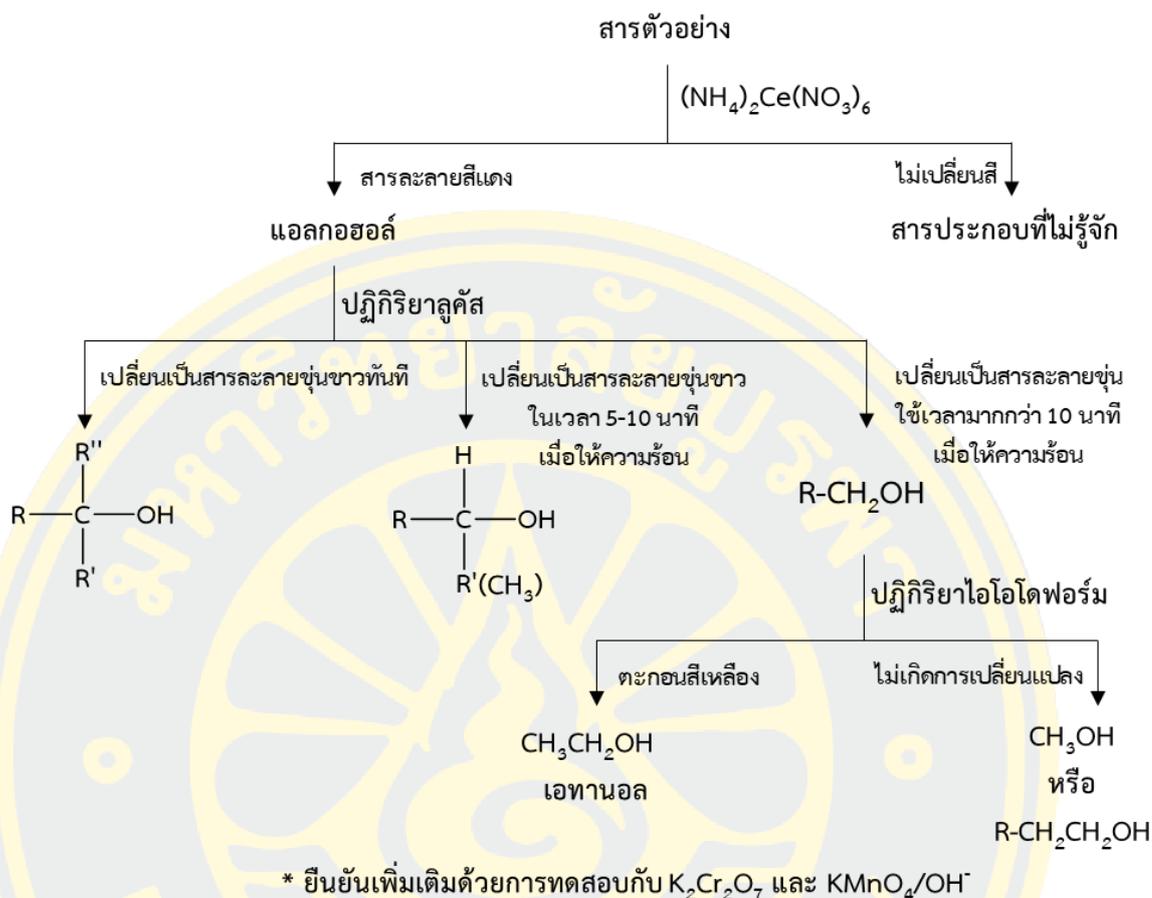
โครงสร้างโมเลกุลของแอลกอฮอล์ทุกชนิดประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) ที่เป็นลักษณะเฉพาะในโมเลกุลของพวกมัน โดยแอลกอฮอล์สามารถจำแนกออกเป็น 3 ชนิดหลักตามโครงสร้างของคาร์บอนที่หมู่ไฮดรอกซิลจับอยู่ ได้แก่

1. แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ (Primary Alcohol) หมู่ไฮดรอกซิลจับอยู่กับคาร์บอนที่ต่อกับหมู่ไฮโดรเจนสองอะตอม
2. แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ (Secondary Alcohol) หมู่ไฮดรอกซิลจับอยู่กับคาร์บอนที่ต่อกับหมู่อัลคิลสองหมู่
3. แอลกอฮอล์ตติยภูมิ (Tertiary Alcohol) หมู่ไฮดรอกซิลจับอยู่กับคาร์บอนที่ต่อกับหมู่อัลคิลสามหมู่

วิธีการทดสอบสารอินทรีย์ประเภทแอลกอฮอล์ สามารถดำเนินการได้หลายวิธีเพื่อจำแนกและยืนยันชนิดของแอลกอฮอล์ ได้แก่

1. การทดสอบลูคัส (Lucas Test) ใช้ในการจำแนกแอลกอฮอล์ ปฐมภูมิ, ทุติยภูมิ, ตติยภูมิ โดยอาศัยความเร็วในการเกิดปฏิกิริยากับสารละลาย HCl/ZnCl<sub>2</sub>
2. การทดสอบด้วยสารละลายกรดโครมิก (Chromic Acid Test) ใช้ทดสอบแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ และ ทุติยภูมิ ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน
3. การทดสอบไอโอดิฟอร์ม (Iodoform Test) ใช้ตรวจสอบแอลกอฮอล์ทุติยภูมิที่มีโครงสร้างเฉพาะ โดยจะเกิดตะกอนสีเหลืองของไอโอดิฟอร์ม (CHI<sub>3</sub>)
4. การทดสอบด้วยสารละลายโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต (KMnO<sub>4</sub> Test) ทดสอบแอลกอฮอล์ปฐมภูมิและทุติยภูมิผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลของแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO<sub>2</sub>)

วิธีการเหล่านี้ช่วยในการแยกประเภทและระบุลักษณะของแอลกอฮอล์ในสารอินทรีย์ได้อย่างแม่นยำ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนผังการทดสอบแอลกอฮอล์

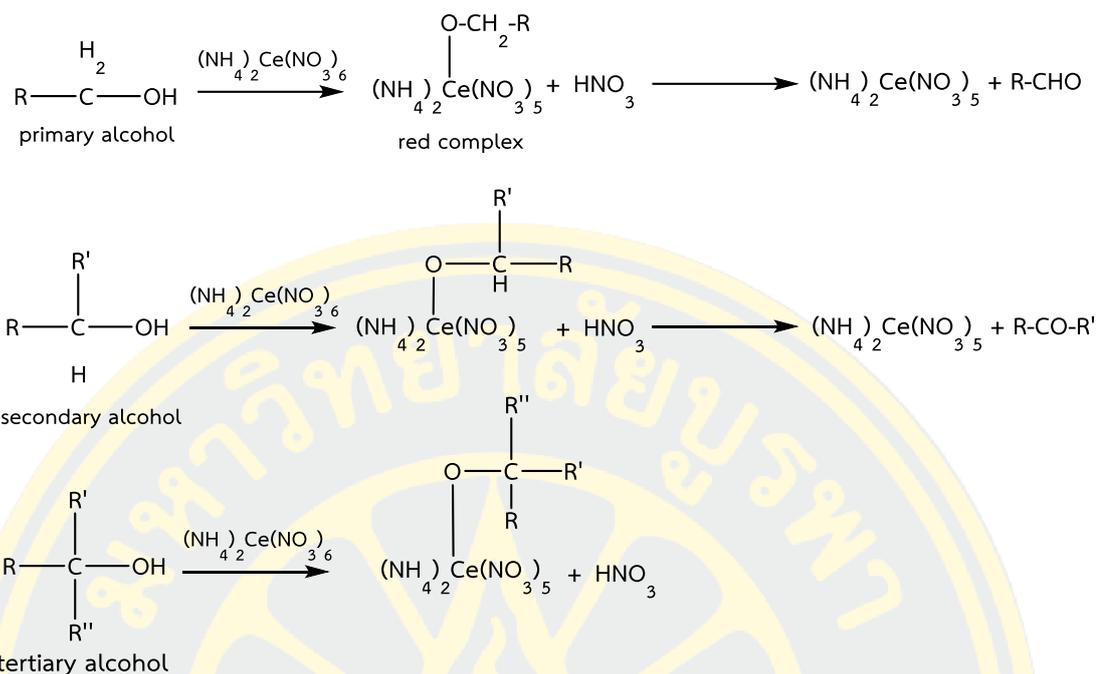
ปฏิกิริยาที่ใช้ทดสอบแอลกอฮอล์ และทำให้แอลกอฮอล์เกิดการเปลี่ยนสีได้ มีดังนี้

1. การทดสอบด้วยสารละลายเซริกแอมโมเนียมไนเตรต

การทดสอบนี้ใช้สำหรับตรวจสอบสารอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลจะทำปฏิกิริยากับสารละลายเซริกแอมโมเนียมไนเตรต  $(NH_4)_2Ce(NO_3)_6$  ที่เป็นสารละลายสีเหลือง เมื่อทำปฏิกิริยากันจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีแดง (Red Complex) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร สารประกอบนี้สามารถสลายตัวต่อไปเป็นแอลดีไฮด์ (Aldehyde) หรือคีโตน (Ketone) พร้อมกับการเกิดเซริก(III) แอมโมเนียมไนเตรต ทำให้สีแดงที่เกิดขึ้นในตอนแรกจางลง

แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะทำความเข้มข้นของสีแดงลดลง เนื่องจากปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลสัมพันธ์กับการเกิดปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดสี ดังนั้น เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของแอลกอฮอล์สูงขึ้น การเกิดสีแดงจะไม่เข้มเท่ากับแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก

การทดสอบนี้เป็นวิธีง่าย ๆ ที่สามารถใช้ระบุการมีอยู่ของหมู่ไฮดรอกซิลในสารประกอบอินทรีย์ โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีจากเหลืองเป็นแดงและการจางของสีหลังเกิดปฏิกิริยา ดังภาพที่ 5 (NCERT, 2018)



ภาพที่ 5 การทดสอบแอลกอฮอล์ด้วยสารละลายเซริกแอมโมเนียมไนเตรด

## 2. การทดสอบลูคัส

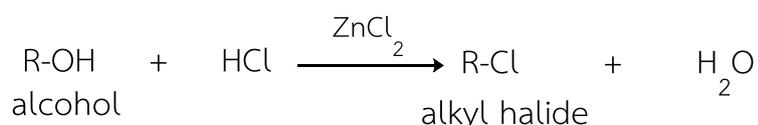
สารละลายการทดสอบลูคัสใช้สารละลายที่ประกอบด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และซิงค์คลอไรด์ (ZnCl<sub>2</sub>) เพื่อแยกแยะประเภทของแอลกอฮอล์ โดยผลการทดสอบจะแสดงความแตกต่างตามประเภทของแอลกอฮอล์ ดังนี้

แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ (Primary Alcohol) จะทำให้สารละลายเกิดการขุ่นที่อุณหภูมิห้อง แต่ใช้เวลามากกว่า 10 นาทีในการเกิดการเปลี่ยนแปลง

แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ (Secondary Alcohol) จะเกิดสารละลายขุ่นขาวภายในเวลาประมาณ 5 นาที

แอลกอฮอล์ตติยภูมิ (Tertiary Alcohol) จะเกิดสารละลายขุ่นขาวทันทีที่ทำการทดสอบ

ผลการทดสอบนี้เกิดจากการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ด้วยไอออนคลอไรด์ (Cl<sup>-</sup>) ทำให้เกิดสารประกอบแอลคิลคลอไรด์ (Alkyl Chloride) ซึ่งไม่ละลายในน้ำ ส่งผลให้สารละลายขุ่น ดังสมการที่ 2.1



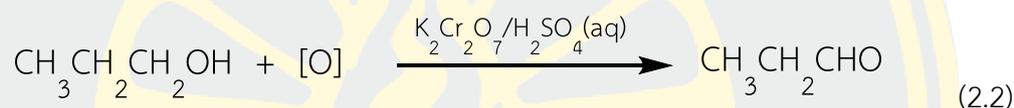
(2.1)

ข้อจำกัดของการทดสอบบลูคัส คือ สามารถใช้ทดสอบได้เฉพาะกับแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเพียงหนึ่งหมู่เท่านั้น แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลหลายหมู่หรือแอลกอฮอล์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนกว่านี้อาจไม่แสดงผลที่ชัดเจนในการทดสอบ (NCERT, 2018)

### 3. การทดสอบด้วยสารละลายโพแทสเซียมโครเมต

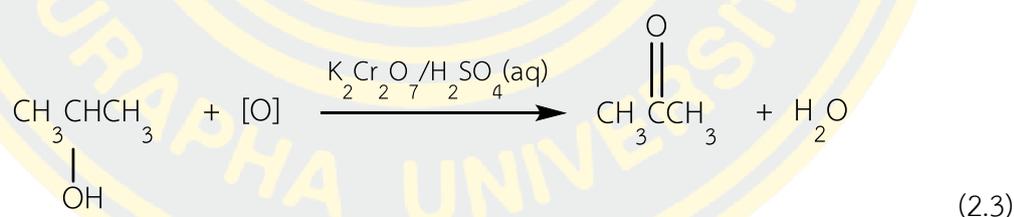
การทดสอบนี้ใช้สำหรับแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ (Primary Alcohol) และแอลกอฮอล์ทุติยภูมิ (Secondary Alcohol) โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลกอฮอล์ ซึ่งทำได้โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เป็นตัวออกซิไดส์ เมื่อทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ สารละลายสีส้มของกรดโครมิก ( $Cr^{6+}$ ) จะเปลี่ยนสีเป็นสารละลายสีเขียวแกมน้ำเงิน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโครเมียมจาก  $Cr^{6+}$  ไปเป็น  $Cr^{3+}$  ซึ่งเกิดขึ้นภายในเวลา 2 วินาที

สำหรับ แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ ผลผลิตที่ได้จากการออกซิเดชันจะเป็นแอลดีไฮด์ (Aldehyde) ยกตัวอย่างตามสมการที่ 2.2



หากมีตัวออกซิไดส์เพียงพอ แอลดีไฮด์จะถูกออกซิเดชันต่อไปจนกลายเป็นกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic Acid)

สำหรับ แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ การออกซิเดชันจะเกิดขึ้นทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นคีโตน (Ketone) ยกตัวอย่างตามสมการที่ 2.3



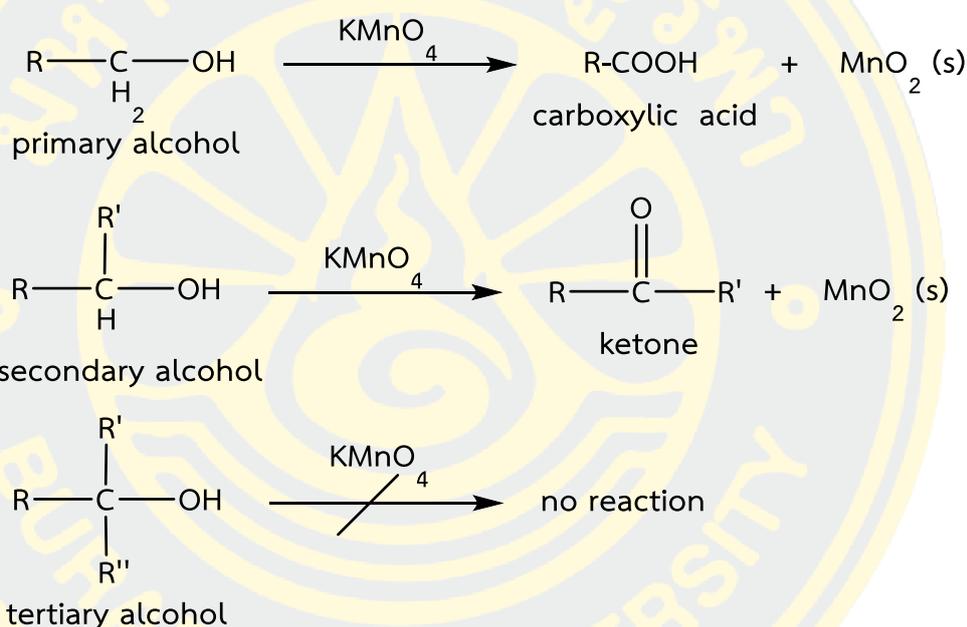
แอลกอฮอล์ตติยภูมิ (Tertiary Alcohol) จะไม่เกิดปฏิกิริยาในการทดสอบนี้ เนื่องจากแอลกอฮอล์ประเภทนี้ไม่มีไฮโดรเจนที่สามารถถูกออกซิไดส์ในตำแหน่งที่เหมาะสม (Lawrie Ryan, 2559)

### 4. การทดสอบด้วยสารละลายโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต

การทดสอบนี้ใช้สารละลายโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) ที่อยู่ในสถานะเบส เพื่อกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันกับแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ (Primary Alcohol) และแอลกอฮอล์ทุติยภูมิ (Secondary Alcohol) คล้ายกับการทดสอบด้วยกรดโครมิก โดยแอลกอฮอล์ตติยภูมิ (Tertiary Alcohol) จะไม่เกิดปฏิกิริยาภายใต้เงื่อนไข

ผลการทดสอบที่เกิดขึ้นเมื่อแอลกอฮอล์ปฐมภูมิและทุติยภูมิเข้าสู่ปฏิกิริยาคือ การเกิดตะกอนสีน้ำตาลของแมงกานีสไดออกไซด์ ( $MnO_2$ ) ซึ่งเป็นผลมาจากการรีดิวซ์โพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนตจาก  $Mn^{7+}$  ไปเป็น  $Mn^{4+}$  ยกตัวอย่างเช่น เมื่อทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ปฐมภูมิผลิตภัณฑ์ที่ได้คือแอลดีไฮด์ (Aldehyde) และสามารถถูกออกซิเดชันต่อไปจนกลายเป็นกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic Acid) ได้ ขณะที่แอลกอฮอล์ทุติยภูมิจะถูกออกซิเดชันให้กลายเป็นคีโตน (Ketone)

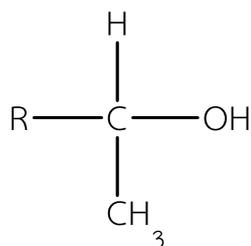
ปฏิกิริยานี้เป็นวิธีที่สามารถแยกแยะแอลกอฮอล์ปฐมภูมิและทุติยภูมิได้อย่างชัดเจน เนื่องจากแอลกอฮอล์ตติยภูมิไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ในสภาวะนี้ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การทดสอบแอลกอฮอล์ด้วยสารละลายโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต

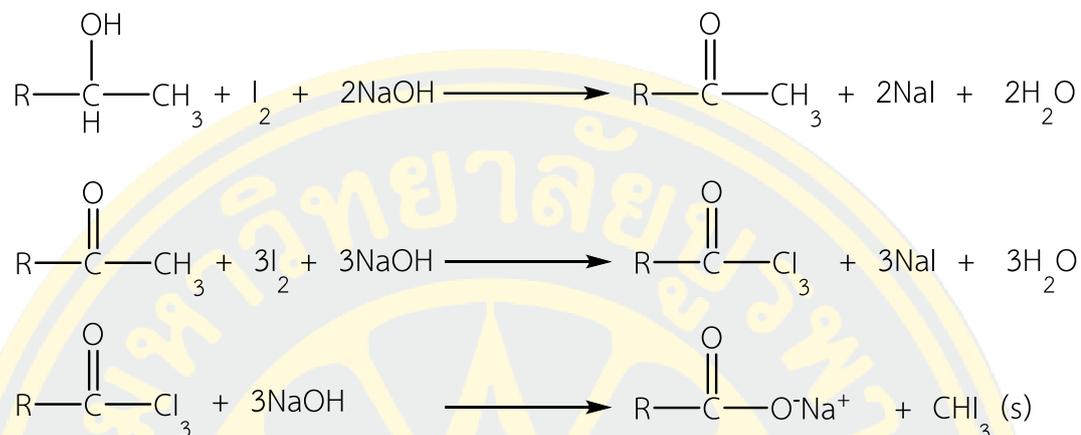
#### 5. ปฏิกิริยาไอโอดิฟอร์ม

ปฏิกิริยาไอโอดิฟอร์ม (Iodoform) ใช้ทดสอบแอลกอฮอล์ทุติยภูมิ (Secondary Alcohol) ที่มีโครงสร้างเฉพาะตามที่แสดงในภาพที่ 7 ซึ่งในโครงสร้างนี้ R อาจเป็นไฮโดรเจน (H), หมู่อัลคิล (Alkyl) หรือ หมู่อะริล (Aryl)



ภาพที่ 7 โครงสร้างของแอลกอฮอล์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาไอโอดิฟอร์ม

แอลกอฮอล์ที่มีโครงสร้างดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับไอโอดีน ( $I_2$ ) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งทำให้เกิดตะกอนสีเหลืองของไอโอดิฟอร์ม ( $CHI_3$ ) ที่มีจุดหลอมเหลวประมาณ  $119^\circ C$  ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การเกิดตะกอนสีเหลืองจากปฏิกิริยาไอโอดิฟอร์ม

ปฏิกิริยานี้สามารถใช้เพื่อยืนยันการมีอยู่ของแอลกอฮอล์ทุติยภูมิที่มีโครงสร้างเฉพาะ เช่น แอลกอฮอล์ที่มีหมู่เมทิลติดกับหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบแอลกอฮอล์ชนิดอื่นได้ด้วยปฏิกิริยาเพิ่มเติม

แอลกอฮอล์ปฐมภูมิและทุติยภูมิ สามารถทดสอบเบื้องต้นได้ด้วยสารละลายเซริกแอมโมเนียมไนเตรต ซึ่งจะให้สารละลายสีแดง

การทดสอบชนิดของแอลกอฮอล์ สามารถทำได้ด้วยสารละลายกรดโครมิก (Chromic Acid) ซึ่งจะเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเขียว หรือสารละลายโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) ที่จะเกิดตะกอนสีน้ำตาล

ปฏิกิริยาไอโอดิฟอร์มเป็นการทดสอบเฉพาะเจาะจงสำหรับแอลกอฮอล์ทุติยภูมิที่มีโครงสร้างเฉพาะ ซึ่งจะแสดงผลโดยการเกิดตะกอนสีเหลือง (NCERT, 2018)

### การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) และ เครื่องมือที่เรียกว่า ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) ซึ่งทำหน้าที่วัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเล็ต (UV) และแสงที่มองเห็นได้ (Visible Light) เครื่องมือนี้ใช้ในการวัดปริมาณแสงและความเข้มแสงที่ถูกดูดกลืน ส่องผ่าน หรือสะท้อนจากตัวอย่างสาร โดยช่วงความยาวคลื่นที่ถูกวัดจะแสดงถึงความสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณของสารในตัวอย่าง

สารที่ตรวจวัดด้วยเทคนิคนี้ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอินทรีย์ที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นของรังสี UV หรือแสงที่มองเห็นได้ ดังนั้น เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) จึงมีประโยชน์ในการระบุชนิดและปริมาณของสารในตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือที่สำคัญในหลายสาขาวิชา เช่น เคมี ชีวเคมี วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และการวิจัยทางเภสัชกรรม

หลักการการทำงานของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์อาศัยหลักการที่ว่าสารแต่ละชนิดจะดูดซับความยาวคลื่นเฉพาะของแสง ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลและการเปลี่ยนแปลงพลังงานของอิเล็กตรอนภายใน เมื่อสารตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วง UV หรือแสงที่มองเห็นได้ มันจะดูดซับความยาวคลื่นบางส่วน ทำให้ความเข้มของแสงที่ผ่านลดลง เครื่องมือจะทำการวัดความเข้มที่ลดลงเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและความเข้มข้นของสารในตัวอย่างนั้น

การประยุกต์ใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์สารหลายประเภทในสาขาวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ ได้แก่

สาขาเคมี : ใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อกำหนดความเข้มข้นของสารละลายตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต

สาขาชีวเคมี : ใช้ในการตรวจวัดโปรตีน กรดนิวคลีอิก และการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา

สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม : ใช้ตรวจวัดคุณภาพน้ำและตรวจจับมลพิษในสิ่งแวดล้อม

สาขาเภสัชกรรม : ใช้ในการศึกษาความคงตัวของยาและการวิเคราะห์สูตรยา

ประโยชน์ของเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) มีข้อดีหลายประการ ได้แก่

- 1) เป็นวิธีการที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ทำให้สามารถเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบซ้ำได้
- 2) เป็นวิธีการที่ รวดเร็ว และ คุ่มค่า เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ
- 3) ใช้ปริมาณสารตัวอย่างน้อย ทำให้สะดวกในการวิเคราะห์
- 4) มีความไวสูงในการตรวจวัดสารแม้ในระดับความเข้มข้นต่ำ

เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ช่วยให้สามารถวัดการดูดกลืนแสงและการส่งผ่านของแสงได้อย่างแม่นยำ ทำให้เป็นเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับนักวิจัยในการวิเคราะห์องค์ประกอบและความเข้มข้นของสารในตัวอย่างอย่างมีประสิทธิภาพ

#### 1. หลักการของเครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทำงานโดยอาศัยหลักการที่สารจะดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่นเฉพาะ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิเล็กตรอนในโมเลกุลของสาร เมื่อ

ตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) หรือแสงที่มองเห็นได้ (Visible Light) แสงบางความยาวคลื่นจะถูกดูดกลืนไป ส่งผลให้ความเข้มของแสงที่ส่องผ่านตัวอย่างลดลง

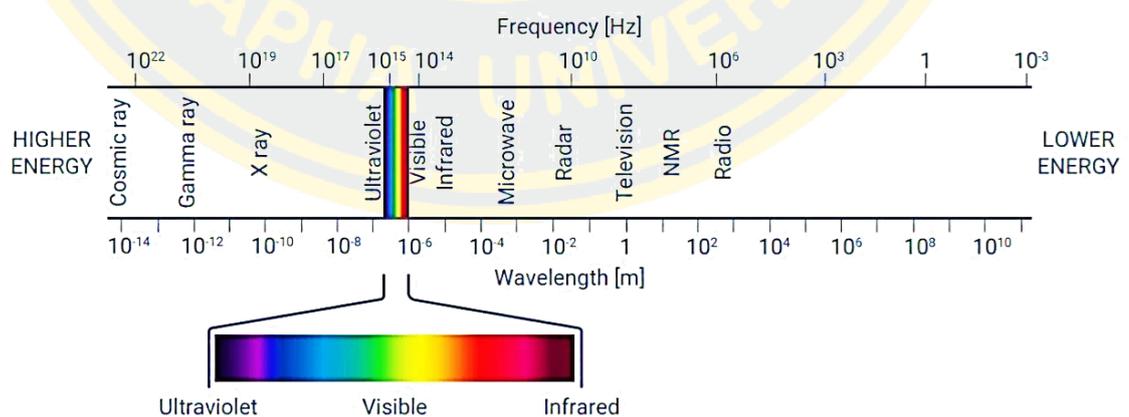
ในกระบวนการนี้ อิเล็กตรอนในโมเลกุลจะถูกกระตุ้นให้เคลื่อนย้ายจากระดับพลังงานที่ต่ำไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการดูดซับพลังงานของโฟตอนในความยาวคลื่นที่เฉพาะเจาะจง ความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนจะสอดคล้องกับโครงสร้างของโมเลกุลที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้

เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์จะทำการวัดความเข้มของแสงที่ผ่านตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบความเข้มของแสงที่ตกกระทบกับความเข้มของแสงที่ส่องผ่าน (transmitted light) และแสดงผลเป็นสเปกตรัม ซึ่งสามารถใช้ในการระบุชนิดของสารและวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารในตัวอย่างได้

### 1) สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum)

สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า คือ การกระจายตัวของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าตามความยาวคลื่นและความถี่ โดยครอบคลุมรังสีหลายรูปแบบ เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV), รังสีอินฟราเรด (IR), รังสีวิทยุ, รังสีคอสมิก และรังสีเอ็กซ์ (X-rays) ทั้งหมดนี้เป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกันในด้านความยาวคลื่นและพลังงาน

รังสีอัลตราไวโอเล็ตและแสงที่มองเห็นได้เป็นส่วนที่สำคัญของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ดังภาพที่ 9 และมีการใช้อย่างกว้างขวางในเทคนิคการวิเคราะห์ เช่น เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) ซึ่งใช้ในการตรวจวัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเล็ตและแสงที่มองเห็นได้



ภาพที่ 9 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา: (The electromagnetic spectrum with the visible light section expanded)

<https://airekasci.com/the-basics-of-uv-vis-spectrophotometry/>

พลังงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าถูกกำหนดโดยสมการที่ 2.4 ต่อไปนี้

$$E = hv \quad (2.4)$$

โดยที่ E คือ พลังงาน (หน่วยเป็นจูล, J)  
 h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ ( $6.62 \times 10^{-34}$  J.s)  
 v คือ ความถี่ของคลื่น (หน่วยเป็นรอบต่อวินาที)

เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ปฏิกิริยาของสารกับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า การดูดกลืนหรือการปล่อยพลังงานของสารที่ต่างกันในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ทำให้เราสามารถระบุลักษณะเฉพาะของสารได้

เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จะใช้ในการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและแสงที่มองเห็นได้ ซึ่งสารจะดูดซับความยาวคลื่นบางช่วงขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของมัน ส่วนเครื่องมืออื่น ๆ ที่ใช้สเปกโทรสโกปี เช่น อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Infrared Spectrophotometer) จะวัดการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรดที่มีพลังงานต่ำกว่า

## 2) ความยาวคลื่นและความถี่ (Wavelength and Frequency)

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ซึ่งสลับกันและเคลื่อนที่ผ่านอวกาศในรูปแบบคลื่น เนื่องจากการแผ่รังสีนี้ทำหน้าที่เป็นคลื่น จึงสามารถอธิบายได้ในแง่ของ ความยาวคลื่น (Wavelength) และ ความถี่ (Frequency) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.5

$$v = \frac{c}{\lambda} \quad (2.5)$$

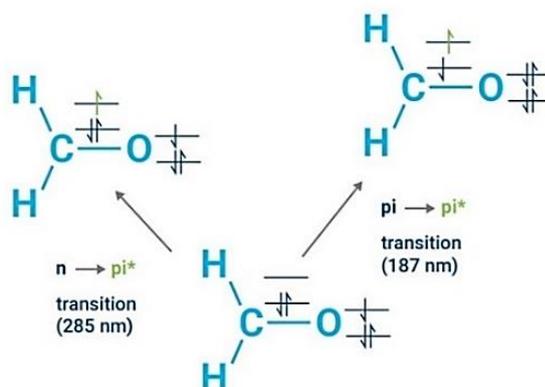
โดยที่ v คือ ความถี่ (รอบต่อวินาที หรือ Hz)  
 c คือ ความเร็วของแสง ( $3 \times 10^8$  m/s)  
 λ คือ ความยาวคลื่น (เมตร)

ในเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) ความยาวคลื่นของแสงมักจะแสดงเป็นหน่วยนาโนเมตร (nm) โดยรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าจะมีพลังงานสูงกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการพลังงาน  $E = hv$  (สมการที่ 2.4) ยิ่งความยาวคลื่นสั้น (เช่น แสง UV) พลังงานก็ยิ่งสูง และในบางกรณี พลังงานที่สูงนี้อาจมากพอที่จะทำให้เกิด ปฏิกิริยาโฟโตเคมี (Photochemical Reactions) ซึ่งอาจส่งผลให้พันธะภายในโมเลกุลของสารแตกตัวได้

สำหรับเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) แสงยูวีที่มีความยาวคลื่นสั้นจะมีพลังงานสูงสุด ซึ่งบางครั้งพลังงานนี้อาจเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างโมเลกุล เช่น การแตกพันธะหรือการดูดซับพลังงานของอิเล็กตรอน ทำให้ตัวอย่างที่ไวต่อแสงอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการวัด

### 3) คลื่นแสง (Waves)

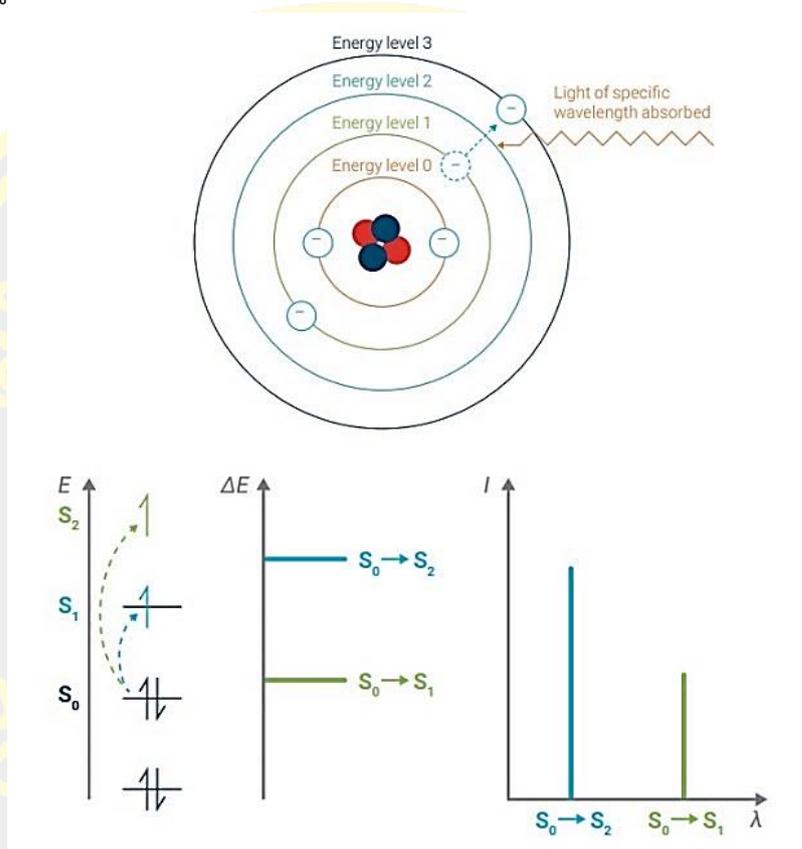
เมื่อรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าทำปฏิกิริยากับสสาร จะเกิดกระบวนการต่าง ๆ เช่น การสะท้อน (Reflection), การกระเจิง (Scattering), การดูดกลืนแสง (Absorption), การเรืองแสง/ฟอสฟอเรสเซนซ์ (Fluorescence/Phosphorescence) ซึ่งเป็นการดูดซับและปล่อยพลังงานซ้ำ และปฏิกิริยาโฟโตเคมี (Photochemical Reactions) ซึ่งเป็นการดูดซับพลังงานและการแตกพันธะของโมเลกุล ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารเป็นสิ่งสำคัญที่สุด เนื่องจากแสงเป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงาน เมื่อโมเลกุลหรืออะตอมในสารดูดกลืนแสง จะทำให้พลังงานศักย์ของโมเลกุลเพิ่มขึ้น พลังงานนี้สามารถแบ่งออกเป็นหลายรูปแบบ เช่น พลังงานทางอิเล็กทรอนิกส์ การสั่น และการหมุน พลังงานที่โมเลกุลสามารถมีในแต่ละรูปแบบนั้นไม่ได้เป็นค่าต่อเนื่อง แต่เป็นชุดของระดับหรือสถานะพลังงานที่ไม่ต่อเนื่องกัน โดยทั่วไป ระดับพลังงานจะแบ่งเป็นลำดับดังนี้ : พลังงานอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Energy) > พลังงานการสั่น (Vibrational Energy) > พลังงานการหมุน (Rotational Energy) ในโมเลกุลหรืออะตอมบางชนิด โฟตอนจากรังสียูวีหรือแสงที่มองเห็นได้มีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงาน การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนย้ายจากระดับพลังงานที่ต่ำกว่าไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้น ความยาวคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืนสอดคล้องกับพลังงานที่จำเป็นในการกระตุ้นอิเล็กตรอนให้อยู่ในระดับพลังงานที่สูงขึ้น ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงทางอิเล็กทรอนิกส์ในฟอร์มัลดีไฮด์  
ที่มา: (Electronic transitions in formaldehyde)

<https://airekasci.com/the-basics-of-uv-vis-spectrophotometry/>

การเปลี่ยนผ่านพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ส่งผลให้เกิดแถบการดูดกลืนแสงที่มีลักษณะเฉพาะในช่วงความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับความแตกต่างของระดับพลังงานในสปีชีส์ (Species) ที่ทำการดูดกลืน พลังงานเหล่านี้มีความแม่นยำและแคบมากในกรณีของอะตอม ซึ่งทำให้เกิดแถบการดูดกลืนที่คมชัดและแยกจากกัน ดังที่แสดงใน ภาพที่ 11

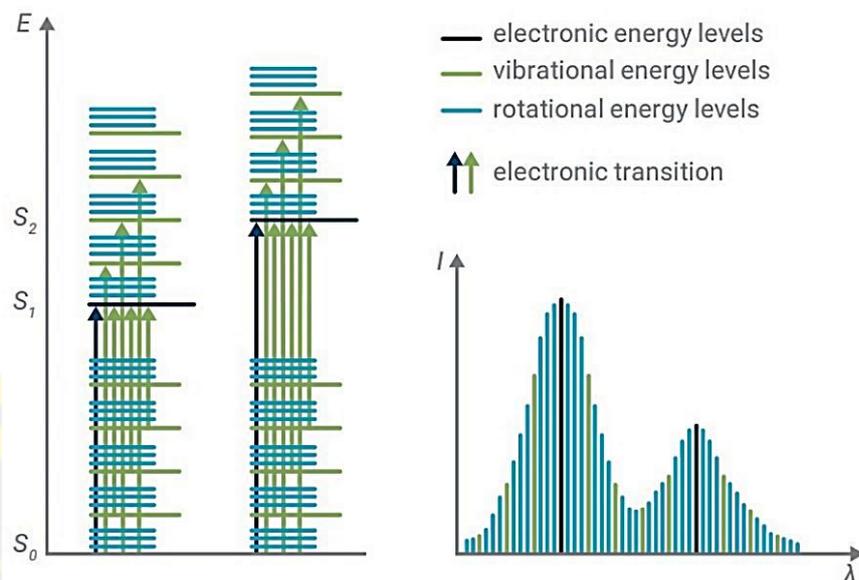


ภาพที่ 11 คลื่นแสงเฉพาะที่ตกกระทบอะตอมทำให้เกิดการกระตุ้นของอิเล็กตรอน

ที่มา: (Incident light of a specific wavelength causes excitation of electrons in an atom)

<https://airekasci.com/the-basics-of-uv-vis-spectrophotometry/>

อย่างไรก็ตาม ในกรณีของโมเลกุล การเปลี่ยนผ่านพลังงานอิเล็กทรอนิกส์จะซ้อนทับกับระดับพลังงานอื่น ๆ เช่น การสั่นและการหมุนของโมเลกุล เนื่องจากพลังงานเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในหลายระดับ การดูดกลืนแสงในโมเลกุลจึงไม่ได้เกิดเป็นแถบแคบเฉพาะเจาะจงเหมือนในอะตอม แต่จะเกิดเป็นแถบกว้างขึ้น ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนผ่านพลังงานหลายระดับในเวลาเดียวกัน ดังที่แสดงใน ภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนผ่านทางอิเล็กทรอนิกส์ในโมเลกุลและสเปกตรัมที่มองเห็นได้ด้วยรังสียูวี  
ที่มา: (Electronic transitions and UV-visible spectra in molecules)

<https://airekasci.com/the-basics-of-uv-vis-spectrophotometry/>

#### 4) การส่งผ่านและการดูดกลืนแสง (Transmission and Absorption)

เมื่อแสงผ่านหรือสะท้อนจากตัวอย่าง ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืน (Absorption) คือ ความแตกต่างระหว่างรังสีที่ตกกระทบตัวอย่าง ( $I_0$ ) และรังสีที่ส่องผ่านตัวอย่าง ( $I$ ) ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนสามารถวัดได้ในรูปของค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ส่วนแสงที่ส่องผ่านหรือส่งผ่านตัวอย่างจะแสดงเป็นค่าการส่งผ่านแสง (Transmittance) ซึ่งมักจะคำนวณเป็นเศษส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.6 ต่อไปนี้

$$T = \frac{I}{I_0} \quad \text{หรือ} \quad \%T = \frac{I}{I_0} \times 100 \quad (2.6)$$

การดูดกลืนแสง (Absorbance, A) สามารถคำนวณได้จากค่าการส่งผ่านแสง (T) โดยสมการที่ 2.7

$$A = -\log T \quad (2.7)$$

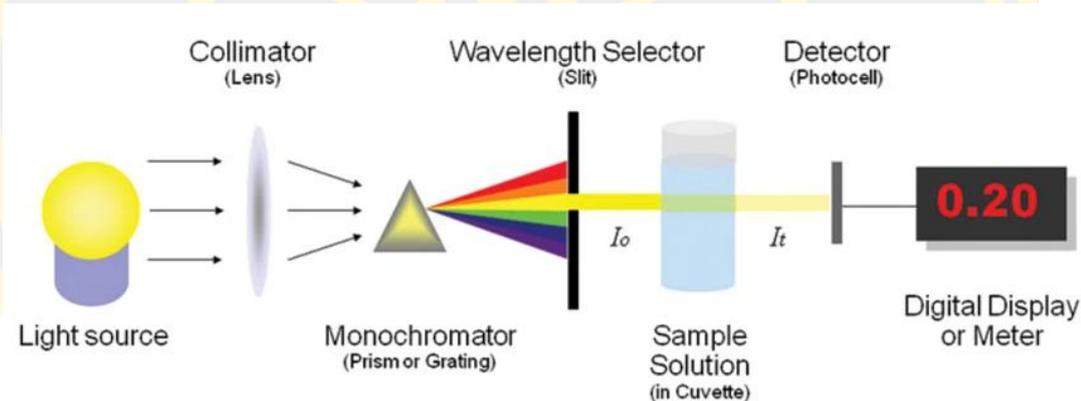
ค่าการดูดกลืนแสง (A) จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารที่วัด ซึ่งสามารถใช้เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต เมื่อเราพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารในสภาวะที่ความหนาของเซลล์ตัวอย่างคงที่ เราจะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งสามารถใช้ในการหาค่าความเข้มข้นของสารในตัวอย่างได้

ในเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) รังสี UV และแสงที่มองเห็นได้เป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ความยาวคลื่นที่ใช้วัดจะแสดงเป็นหน่วยนาโนเมตร (nm) แสงที่ตกกระทบกับสารสามารถสะท้อน กระจาย ส่งผ่าน หรือถูกดูดกลืน ซึ่งบางครั้งพลังงานจากแสงอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีได้ โดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นจะทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลเปลี่ยนระดับพลังงาน

การดูดกลืนแสงในสเปกโทรสโกปีนี้ช่วยให้นักวิจัยสามารถวิเคราะห์และเข้าใจการเปลี่ยนแปลงทางอิเล็กทรอนิกส์และระดับพลังงานการสั่นและการหมุนในโมเลกุล ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงมักถูกคำนวณจากสมการ  $A = -\log T$  โดยที่  $T$  คือค่าการส่งผ่าน

## 2. ส่วนประกอบของเครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักหลายส่วนที่ทำงานร่วมกันเพื่อวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 โครงสร้างพื้นฐานของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ที่มา : (Basic structure of spectrophotometers, 2023, February 13)

<https://chem.libretexts.org/@go/page/1431>

แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) : ปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่นที่กว้าง ซึ่งครอบคลุมช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) และแสงที่มองเห็นได้ (Visible Light) เช่น แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดดิวทีเรียม (สำหรับช่วง UV) และหลอดทังสเตน (สำหรับช่วงแสงที่มองเห็น)

โมนโครมาเตอร์ (Monochromator) : อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแยกความยาวคลื่นของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง โดยการโฟกัสแสงให้ได้ความยาวคลื่นที่ต้องการสำหรับการวิเคราะห์ โมนโครมาเตอร์สามารถเลือกความยาวคลื่นเฉพาะเจาะจงที่สอดคล้องกับการดูดกลืนของสารตัวอย่าง

ตัวจับตัวอย่าง (Sample Holder) : ตำแหน่งที่วางสารตัวอย่างในรูปของเหลวหรือสารละลาย ตัวอย่างจะถูกใส่ในคิวเวต (Cuvette) ซึ่งมักทำจากวัสดุที่โปร่งใสต่อรังสี UV และแสงที่มองเห็นได้ เช่น แก้วควอตซ์ หรือพลาสติกพิเศษ

ตัวตรวจจับ (Detector) : วัดความเข้มของแสงที่ส่องผ่านตัวอย่างและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ตัวตรวจจับนี้จะตรวจจับความเข้มแสงที่เหลืออยู่หลังจากแสงผ่านตัวอย่าง ซึ่งจะถูกแปลงเป็นข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะเจาะจงส่องผ่านตัวอย่างในคิวเวต ตัวตรวจจับจะวัดความเข้มของแสงที่ส่องผ่าน จากนั้นข้อมูลที่ได้จะถูกประมวลผลและแสดงผลในรูปแบบของสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Absorption Spectrum) ซึ่งพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น สเปกตรัมนี้สามารถใช้ในการระบุชนิดของสารและวิเคราะห์ปริมาณของสารในตัวอย่างได้

### 3. การประยุกต์ใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในหลายสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ เนื่องจากสามารถวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของสารในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและแสงที่มองเห็นได้ โดยการใช้งานที่สำคัญในแต่ละสาขามีดังนี้

วิชาเคมี : เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ถูกใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยเฉพาะการกำหนดความเข้มข้นของสารละลายในสารละลายตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer-Lambert law) นอกจากนี้ยังใช้ในการระบุกลุ่มการทำงานของสาร (Functional Groups) และการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเคมีเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาภายใต้สภาวะต่าง ๆ

ชีวเคมี : ในสาขาชีวเคมี เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ใช้ในการวิเคราะห์ โปรตีน และ กรดนิวคลีอิก (DNA/RNA) โดยวัดปริมาณการดูดกลืนแสงของสารที่มีความยาวคลื่นเฉพาะเจาะจง นอกจากนี้ยังนำมาใช้ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของเอนไซม์และกระบวนการค้นพบยาใหม่

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม : นักวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer เพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำ โดยการตรวจหาสารประกอบที่อาจเป็นมลพิษในแหล่งน้ำ รวมถึงการวิเคราะห์กระบวนการต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อม เช่น การเกิดออกซิเดชันหรือการสะสมสารพิษ

เภสัชกรรม : เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer มีบทบาทสำคัญในงานวิจัยด้านเภสัชกรรม ใช้สำหรับการวิเคราะห์สูตรยา เพื่อประเมินปริมาณของสารออกฤทธิ์ในยา

การศึกษาความคงตัวของยาเมื่ออยู่ในสภาวะต่าง ๆ และการตรวจสอบ อัตราการปลดปล่อยยา ใน การพัฒนายาใหม่

ด้วยความสามารถในการวัดการดูดกลืนแสงและวิเคราะห์ปริมาณสารได้อย่าง แม่นยำ เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer จึงเป็นเครื่องมือที่จำเป็นในห้องปฏิบัติการวิจัย หลายสาขา ช่วยให้นักวิจัยสามารถศึกษาและพัฒนานวัตกรรมใหม่ ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 4. ประโยชน์ของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) มีข้อดี หลายประการสำหรับนักวิจัย ดังนี้

- ไม่ทำลายตัวอย่าง : เทคนิคนี้ไม่ทำให้สารตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่าง การวิเคราะห์ ทำให้สามารถเก็บตัวอย่างไว้ใช้ในการวิเคราะห์ซ้ำหรือนำไปทดสอบเพิ่มเติมได้ ซึ่งเป็น ประโยชน์สำหรับการทดลองที่ต้องการความแม่นยำและความต่อเนื่องในการวัดผล

- รวดเร็วและคุ้มค่า : เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้เวลาน้อยและมีค่าใช้จ่ายต่ำเมื่อ เปรียบเทียบกับเทคนิคการวิเคราะห์อื่น ๆ ทำให้สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพในงาน วิเคราะห์ประจำวัน

- การเตรียมตัวอย่างน้อยที่สุด : ตัวอย่างที่ต้องการสำหรับการวิเคราะห์มีปริมาณ น้อย ซึ่งช่วยลดการสิ้นเปลืองและทำให้กระบวนการง่ายและรวดเร็วขึ้น เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ที่ ต้องการข้อมูลเชิงปริมาณและคุณภาพของสารอย่างรวดเร็ว

- ความไวสูง : เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์มีความไวต่อการตรวจวัดสาร ในระดับความเข้มข้นต่ำ ทำให้สามารถตรวจจับและวัดปริมาณของสารประกอบที่มีอยู่ในปริมาณ เล็กน้อยได้อย่างแม่นยำ จึงเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำหรือปริมาณน้อย มาก

- เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) เป็น เครื่องมือวิเคราะห์ที่ทรงพลังและมีบทบาทสำคัญในการพัฒนางานการวิทยาศาสตร์หลายแขนง ความสามารถในการวัดการดูดกลืนแสงและการส่งผ่านแสงช่วยให้นักวิจัยสามารถวิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมีและความเข้มข้นของสารได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว

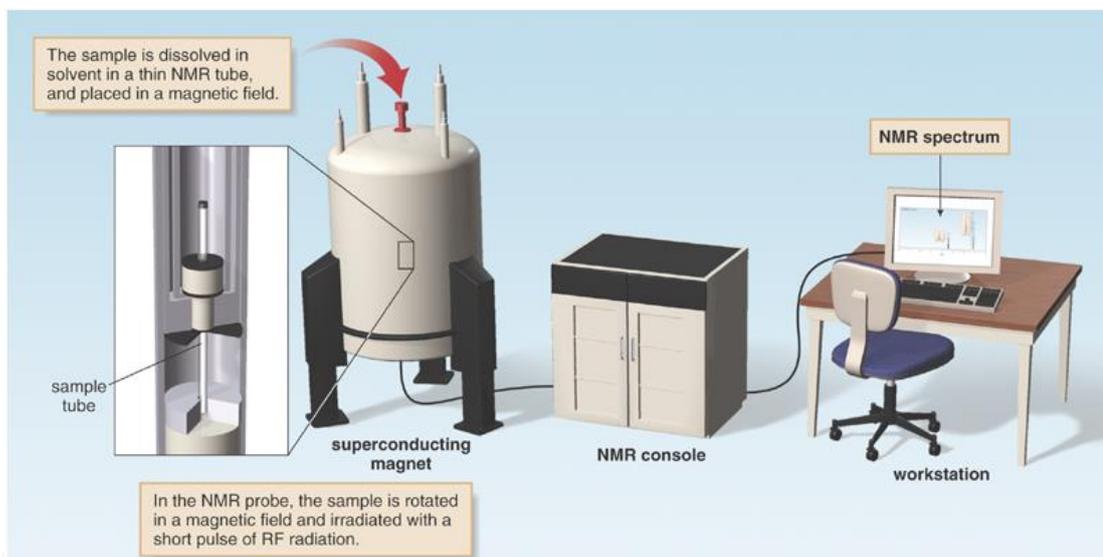
ด้วยความสามารถในการใช้งานที่หลากหลาย ตั้งแต่การวิเคราะห์สารอินทรีย์ การศึกษา ปฏิกริยาเคมี ไปจนถึงการวิเคราะห์ตัวอย่างทางชีวเคมีและสิ่งแวดล้อม เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทร โฟโตมิเตอร์ยังคงเป็นเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับนักวิจัยในหลายสาขา ความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องของ เทคโนโลยีนี้ยังคงช่วยสร้างโอกาสในการค้นพบใหม่ ๆ และขับเคลื่อนการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ใน อนาคต

## การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

Nuclear Magnetic Resonance (NMR) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับพิสูจน์โครงสร้างของสารตัวอย่างทางเคมีอินทรีย์ เคมีอนินทรีย์ ชีวเคมี และผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยทางด้านอื่นๆ ได้เช่น การสังเคราะห์และปรับปรุงโครงสร้างของยา วัสดุศาสตร์และพอลิเมอร์ เป็นต้น โดยอาศัยคุณสมบัติทางแม่เหล็กของนิวเคลียส นิวเคลียสดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่คลื่นวิทยุ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์คือ สเปกตรัม ซึ่งบอกได้ว่านิวเคลียสที่ดูดกลืนพลังงานนั้นมีสภาพแวดล้อมทางเคมีเป็นอย่างไร สามารถระบุได้ว่านิวเคลียสนั้นมีกี่นิวเคลียส และต่ออยู่กับส่วนใดในโมเลกุล (มหาวิทยาลัยศิลปากร, ม.ป.ป.)

เครื่อง NMR ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนคือ

1. เครื่องคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ในการควบคุมการประมวลผลข้อมูล (Computer Control or WorkStation) : ทำหน้าที่สั่งงานเครื่อง NMR ประมวลผล และส่งพิมพ์ผลการทดลอง
2. ส่วนควบคุมปฏิบัติการ (Spectrometer console) : ทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณไปกระตุ้นสารตัวอย่างภายในสนามแม่เหล็กกำลังสูง (magnet) และตรวจจับสัญญาณที่สารตัวอย่างปล่อยออกมาแล้วส่งไปให้ Computer Control
3. แม่เหล็กกำลังสูง (Magnet) : ทำหน้าที่ในการสร้างสถานะที่เหมาะสมในการทดลองโดยให้สนามแม่เหล็กความเข้มสูง ที่คงที่ (Strong and homogenous magnetic field) โดยความเข้มของสนามแม่เหล็กจะสัมพันธ์กับความถี่ของคลื่นวิทยุที่ผ่านเข้าไปยังเครื่อง ดังนั้นจึงนิยมที่จะระบุสมรรถนะหรือ specification ของเครื่อง NMR ในรูปแบบของค่าความถี่ เช่น 60 MHz, 100 MHz, 300 MHz และ 400 MHz เป็นต้น
4. หัวตรวจหรือโพรบ (NMR Probe) : ติดตั้งอยู่ด้านในระหว่างแม่เหล็กทั้ง 2 (magnet gap) และมีหน้าที่คอยช่วยพยุงหรือรักษาระดับ (hold) ของสารตัวอย่าง



ภาพที่ 14 ส่วนประกอบของเครื่อง NMR

ที่มา : (Oswald Cook, 2015) <http://slideplayer.com/slide/6504892>

#### การประยุกต์ใช้งาน

การทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่อง NMR นั้นจะให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับโครงสร้างของสารที่เราต้องการวิเคราะห์ได้ดังนี้

- การระบุตำแหน่งของอะตอมในโมเลกุล (allocating particular atoms in a molecule)
- การระบุโครงสร้างของสาร (structural identification)
- การวัดอัตราส่วนของสารในสารผสม (measuring ratio of components in a mixture)
- การบอกโครงแบบสัมพัทธ์ (defining relative configuration)

จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NMR นั้นมีความสำคัญและเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อนักเคมีและนักวิจัยในการใช้เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ของโมเลกุลที่สนใจ โดยตัวอย่างการนำเทคนิค NMR ไปใช้งาน

#### ระบบสี การวัดสี และ โมเดลสี

สีเป็นคุณสมบัติทางแสงที่สำคัญและเป็นตัวบ่งบอกลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ สีจึงมักถูกใช้เป็นหนึ่งในเกณฑ์มาตรฐานในการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม การควบคุมคุณภาพสีในหลายโรงงานอุตสาหกรรมยังคงพบปัญหา เนื่องจากการวัดสีด้วยการมองเห็นของมนุษย์มีความคลาดเคลื่อนสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น แหล่งกำเนิดแสงและความแตกต่างของการรับรู้สีในแต่ละบุคคล ซึ่งส่งผลต่อการประเมินคุณภาพสี

การมองเห็นสีของมนุษย์ เกิดจากแสงที่ตกกระทบวัตถุ ซึ่งวัตถุจะดูดกลืนแสงบางส่วนและสะท้อนแสงสีเฉพาะออกมา เข้าสู่ดวงตาของเรา แสงนี้จะถูกส่งผ่านเลนส์ตาและไปยังจอตา (Retina)

ซึ่งอยู่ด้านหลังของดวงตา จอตาประกอบด้วยเซลล์รับแสง 2 ชนิด ได้แก่ เซลล์รูปแท่ง (Rod cells) และ เซลล์รูปกรวย (Cone cells)

1) เซลล์รูปแท่ง (Rod cells) มีหน้าที่รับแสงและช่วยให้เรามองเห็นรูปร่างของวัตถุในสภาวะแสงน้อยหรือในเวลากลางคืน แต่ไม่สามารถแยกแยะสีได้

2) เซลล์รูปกรวย (Cone cells) ทำหน้าที่ในการรับรู้สี แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ซึ่งไวต่อแสงสีต่าง ๆ ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เมื่อแสงกระทบเซลล์รูปกรวยในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน สมองจะทำหน้าที่แปลสัญญาณและสร้างการรับรู้สีที่แตกต่างกันตามสีและความเข้มของแสงที่สะท้อนจากวัตถุ

ปัญหาของการตรวจวัดสีด้วยสายตามนุษย์มีปัจจัยดังนี้

แหล่งกำเนิดแสง : แสงจากแหล่งต่าง ๆ เช่น แสงธรรมชาติหรือแสงหลอดไฟ สามารถส่งผลให้วัตถุเป็นสีต่างกันได้

การรับรู้ส่วนบุคคล : บุคคลแต่ละคนอาจรับรู้สีไม่เหมือนกัน เนื่องจากสภาวะสายตาหรือความไวต่อแสงแตกต่างกัน

ด้วยเหตุนี้ การวัดสีที่แม่นยำในกระบวนการควบคุมคุณภาพของอุตสาหกรรมจึงต้องอาศัยเครื่องมือและระบบการวัดสีที่เป็นมาตรฐาน เช่น เครื่อง Colorimeter หรือ Spectrophotometer ที่สามารถวัดและกำหนดค่าความเข้มของสีได้อย่างถูกต้อง ไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ส่งผลต่อการมองเห็นของมนุษย์

### 1. ระบบสี (Color System)

การมองเห็นสีของวัตถุที่รับแสง เกิดจากการสะท้อนแสงจากวัตถุเข้าสู่ดวงตา การรับรู้สีจึงขึ้นอยู่กับสามปัจจัยหลัก ได้แก่ แสง วัตถุ และการทำงานของประสาทตา ปัจจัยเหล่านี้มีความซับซ้อน เช่น ธรรมชาติของแสงที่ตกกระทบวัตถุ การตอบสนองของประสาทตาแต่ละคน และความสามารถในการรับรู้แสงที่มีความยาวคลื่นและระดับความเข้มต่างกัน รวมถึงการตีความข้อมูลที่สมองประมวลผลตามประสบการณ์ที่สะสมไว้ ส่งผลให้บางครั้งคนสองคนมองวัตถุเดียวกันแล้วเห็นสีต่างกัน นอกจากนี้ วัตถุเดียวกันที่มองในสภาพแสงต่างกัน เช่น ภายใต้แสงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟ อาจให้สีที่แตกต่างกันได้ อีกทั้ง การมองวัตถุภายใต้แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาต่างกันของวัน ก็อาจทำให้สีที่เห็นเปลี่ยนไปเช่นกัน

โดยทั่วไป การสื่อสารเกี่ยวกับสีที่มองเห็นให้ผู้อื่นเข้าใจ มักอาศัย 3 องค์ประกอบคือ

- 1) ค่าสี (Hue) หมายถึงสีพื้นฐาน เช่น แดง เขียว ม่วง น้ำเงิน หรือ ส้ม
- 2) ค่าความสว่าง (Brightness) หมายถึงระดับความสว่างหรือความมืดของสีเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุอื่น

3) ค่าความอิ่มตัว (Saturation) แสดงถึงความสดหรือความเข้มข้นของสี หากความอิ่มตัวต่ำ สีจะดูหม่นหมอง

การกำหนดค่าสีโดยอ้างอิงจาก 3 ปัจจัยนี้ ได้ถูกพัฒนาเป็นระบบการจัดสีที่เรียกว่า ระบบสีของมุนเซล (Munsell System) ซึ่งใช้สำหรับการระบุและสื่อสารสีได้อย่างแม่นยำ

องค์กรที่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดมาตรฐานสีและแสงระดับโลกคือ The Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) หรือ คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยการส่องสว่าง โดย CIE ได้พัฒนาระบบสีหลัก ๆ ที่ได้รับการยอมรับและใช้งานอย่างแพร่หลาย 2 ระบบ ได้แก่

1) ระบบ Yxy ถูกนำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1931 โดยอิงจากค่าไตรสติมูลัส (Tristimulus values) XYZ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ CIE กำหนดขึ้น ระบบนี้ช่วยให้สามารถแสดงผลสีในรูปแบบกราฟ 2 มิติ โดยไม่รวมค่าความสว่าง ซึ่งในระบบนี้ Y แทนค่าความสว่าง ในขณะที่ x และ y แทนค่าสัมประสิทธิ์สีที่ได้จากการคำนวณจากค่า XYZ ระบบ Yxy ช่วยทำให้การแสดงผลสีมีความชัดเจน เข้าใจง่าย และได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายในการประยุกต์ใช้ในหลายด้าน

2) ระบบ Lab\* ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1976 โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้การรับรู้ความแตกต่างของสีในปริภูมิสีใกล้เคียงกับการรับรู้ของสายตามนุษย์มากยิ่งขึ้น ระบบนี้สามารถคำนวณความแตกต่างของสีได้อย่างแม่นยำ ทำให้ถูกนำมาใช้ในการประยุกต์ที่ต้องการความละเอียดในการแยกแยะสีสูง และยังคงเป็นมาตรฐานที่ใช้ในระดับสากลจนถึงปัจจุบัน

ค่าไตรสติมูลัส XYZ และปริภูมิสี Yxy ถูกพัฒนาขึ้นโดยอิงจากทฤษฎีการมองเห็นสีแบบ 3 องค์ประกอบ (Three-component theory) ซึ่งระบุว่าตาของมนุษย์มีเซลล์รับแสง 3 ประเภทที่ไวต่อสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน สีทั้งหมดที่มนุษย์มองเห็นนั้นเกิดจากการผสมของสีพื้นฐานทั้งสามนี้

ในปี ค.ศ. 1931 CIE ได้กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการรับรู้สีของมนุษย์ผ่านฟังก์ชันที่เรียกว่า "Color-Matching Function" ซึ่งประกอบด้วย  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ , และ  $z(\lambda)$  ฟังก์ชันเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าไตรสติมูลัส XYZ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการแสดงผลสีที่มีความแม่นยำ

อย่างไรก็ตาม การตีความสีจากค่า XYZ อาจทำได้ยากในบางกรณี ดังนั้น CIE จึงได้พัฒนาระบบปริภูมิสี Yxy ขึ้นมาในปี ค.ศ. 1931 เพื่อช่วยให้การแสดงผลสีในลักษณะกราฟ 2 มิติเป็นเรื่องง่ายขึ้น ทั้งยังคงรักษาความถูกต้องและประสิทธิภาพในการแสดงผลของสีอย่างดี

## 2. การวัดสี (Color Measurement)

การวัดสี คือ กระบวนการแสดงสีในเชิงปริมาณ ซึ่งมีหลายวิธีในการหาปริมาณสี การกำหนดสีด้วยสายตามนุษย์เป็นวิธีที่ธรรมชาติที่สุด แต่เนื่องจากแต่ละคนรับรู้สีแตกต่างกัน บางคนอาจมองเห็นสีได้ชัดเจนกว่า การประเมินสีที่ใช้สายตาดังนั้นไม่แม่นยำพอสำหรับงานวิจัยหรือการผลิต นักวิทยาศาสตร์ด้านสี วิศวกร และผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องใช้ตัวเลขในการระบุและประเมินสี มีเครื่องมือ

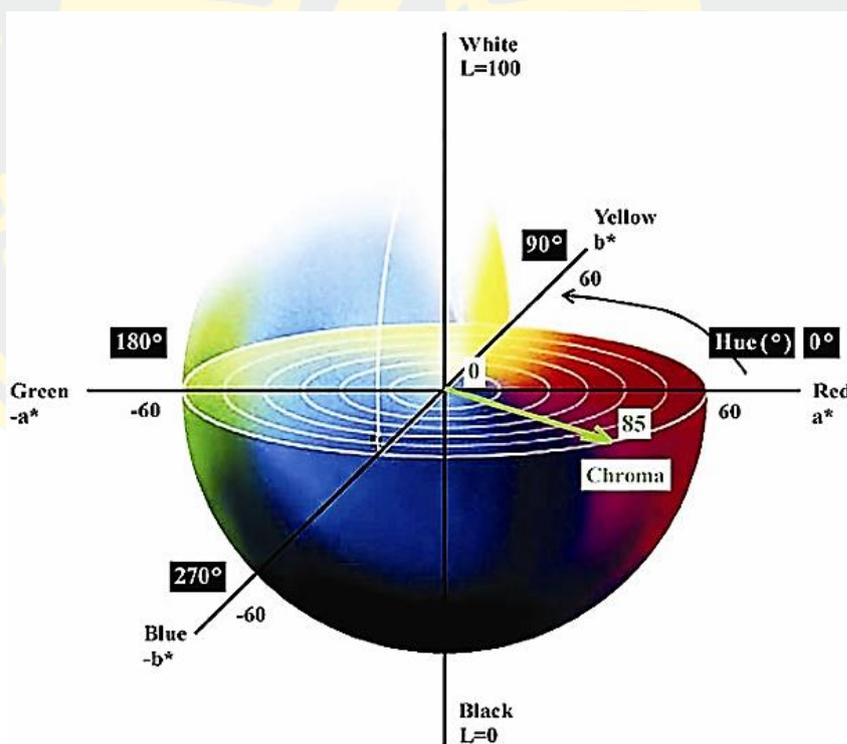
หลากหลายที่พัฒนาขึ้นเพื่อวัดและแยกแยะสีอย่างแม่นยำ เครื่องมือเหล่านี้ช่วยในการจับคู่สี ควบคุมคุณภาพการผลิต และพัฒนาปริภูมิสีใหม่ ๆ นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านสีและนักออกแบบสื่อสารเรื่องสีได้อย่างเข้าใจตรงกันในระดับสากล เทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการวัดและจำแนกสีแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ colorimetry และ spectrophotometry (Doreen Becker, 2016)

การตรวจวัดสีอันเนื่องมาจากความแตกต่างของการรับรู้สีด้วยสายตาและแหล่งกำเนิดแสง เพื่อให้การวัดสีมีมาตรฐานและความแม่นยำสูงขึ้น CIE ได้พัฒนาระบบการวัดสีที่รู้จักกันในชื่อ Lab\* โดยมีรายละเอียดดังนี้

แกน L\* : แทนค่าความสว่าง (Lightness) มีช่วงค่าตั้งแต่ 0–100 โดยที่ 0 หมายถึง สีดำสนิท และ 100 หมายถึง สีขาวสนิท

แกน a\* : แทนค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวก (+a\*) หมายถึง สีแดง และค่าลบ (-a\*) หมายถึง สีเขียว

แกน b\* : แทนค่าความเป็นสีน้ำเงินและสีเหลือง โดยค่าบวก (+b\*) หมายถึง สีเหลือง และค่าลบ (-b\*) หมายถึง สีน้ำเงิน



ภาพที่ 15 พิกัดสีในระบบเชิงปริภูมิ CIE Lab

ที่มา : The color expressed in the picture consists of color coordinates

(Ivan Klement et al., 2019)

การคำนวณค่าความแตกต่างของสี (Color Difference) CIE ได้กำหนดสูตรการคำนวณค่าความแตกต่างของสีเป็นสัญลักษณ์  $\Delta E$  ดังสมการที่ 2.8

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2} \quad (2.8)$$

โดยที่:

$L_1, a_1, b^*_1$  คือ ค่าที่อ่านได้จากตัวอย่างที่ 1

$L_2, a_2, b^*_2$  คือ ค่าที่อ่านได้จากตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่าง:

ตัวอย่างสีที่ 1 อ่านค่าจากเครื่อง Colorimeter ได้  $L = 50, a = 50, b^* = 50^{**}$

ตัวอย่างสีที่ 2 อ่านได้  $L = 52, a = 51, b^* = 52^{**}$

เมื่อนำค่าดังกล่าวเข้าสมการจะได้

$$\Delta E = \sqrt{[(50-52)^2 + (50-51)^2 + (50-52)^2]} = 3$$

แหล่งกำเนิดแสงมีบทบาทสำคัญในการตรวจวัดและการมองเห็นสี เพื่อให้มาตรฐานการวัดแสงสอดคล้องกัน CIE ได้แบ่งประเภทของแหล่งกำเนิดแสงดังนี้

แหล่งกำเนิดแสง A : คล้ายกับแสงจากหลอดไส้ทั้งสแตนด์ มีอุณหภูมิสีอยู่ในช่วง 2,848–2,856 องศาเคลวิน

แหล่งกำเนิดแสง B : เกิดจากหลอดไฟแบบ A ที่ผ่านตัวกรองแสง ให้แสงที่มีอุณหภูมิสี 4,900 องศาเคลวิน

แหล่งกำเนิดแสง C : เกิดจากหลอดไฟแบบ A ที่ผ่านตัวกรองแสง ให้แสงที่มีอุณหภูมิสี 6,700 องศาเคลวิน

แหล่งกำเนิดแสง D : แทนแสงแดดในช่วงกลางวัน แบ่งเป็นหลายประเภท เช่น D65 (อุณหภูมิสี 6,504 องศาเคลวิน) ซึ่งเป็นแสงจากดวงอาทิตย์ตอนเที่ยง และ D75 (อุณหภูมิสี 7,500 องศาเคลวิน) ซึ่งเป็นแสงของดวงอาทิตย์ในสภาวะเมฆครึ้ม

### 3. โมเดลสี (Color Model)

ในทฤษฎีสี โมเดลสีเป็นการอธิบายเชิงคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงวิธีการสร้างสีต่าง ๆ โดยการใช้ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด เพื่อแสดงสีในรูปแบบที่สามารถวัดและใช้งานได้ในทางปฏิบัติ พื้นที่สี (Color Space) เป็นการขยายแนวคิดของโมเดลสี โดยกำหนดขอบเขตที่แน่นอนสำหรับแต่ละสี ซึ่งช่วยให้สามารถระบุลักษณะเฉพาะของสี เช่น ความเข้มของแสง ความอิ่มตัว และเฉดสีได้อย่างชัดเจน

การแสดงทางกายภาพของปริภูมิสีเริ่มต้นด้วยวงล้อสีแบบสองมิติ ซึ่งให้การแสดงเฉดสีที่แตกต่างกัน เช่น สีแดง น้ำเงิน เขียว และระดับความสว่างของสีต่าง ๆ แต่วงล้อสียังมีข้อจำกัดในการแสดงรายละเอียดบางประการ เช่น ระดับความอิ่มตัวของสีที่ต่างกัน ซึ่งแนวคิดของ สีทึบ (Color Solid) ได้พัฒนามาเพื่อแก้ปัญหา

สีทึบคือการแสดงปริภูมิสีในรูปแบบสามมิติ ซึ่งเพิ่มมิติของ "ความอิ่มตัว" เข้ามาพร้อมกับเฉดสีและความสว่าง ทำให้การแสดงผลของสีมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น สีทึบมักถูกแสดงเป็นรูปร่างต่าง ๆ เช่น ทรงกลม ทรงกระบอก หรือรูปทรงที่ซับซ้อนอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับโมเดลสีที่ใช้อ้างอิง เช่น โมเดล HSL (Hue, Saturation, Lightness) หรือ HSV (Hue, Saturation, Value) รูปร่างเหล่านี้ช่วยในการทำความเข้าใจและวิเคราะห์สีในมิติต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน

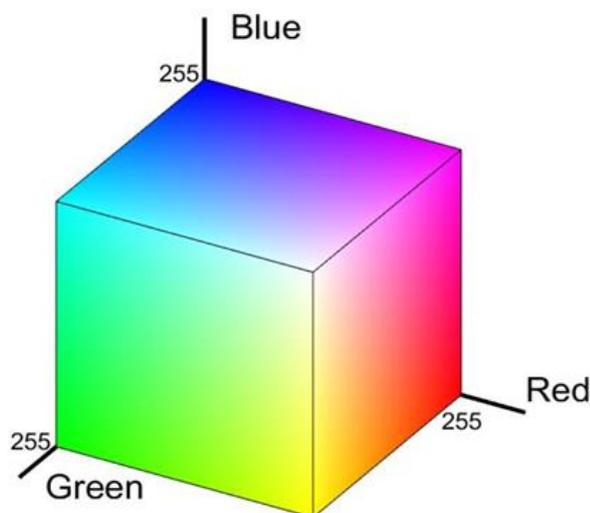
นอกจากการใช้งานด้านการออกแบบกราฟิกและการประมวลผลภาพแล้ว โมเดลสีและปริภูมิสียังมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมหลายแขนง เช่น การผลิตสินค้า การควบคุมคุณภาพสี ในกระบวนการพิมพ์ และการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งการกำหนดมาตรฐานสีที่ชัดเจนเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ

ด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีการแสดงผล การใช้โมเดลสีดิจิทัล เช่น RGB, CMYK และ LAB มีความสำคัญมากขึ้น RGB เป็นโมเดลสีที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และการแสดงผลดิจิทัล ส่วน CMYK ถูกใช้ในงานพิมพ์ที่ต้องการการผสมสีจากหมึก และ LAB ซึ่งใช้ในการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัล เพื่อให้ได้สีที่ใกล้เคียงกับการมองเห็นของมนุษย์มากที่สุด

โมเดลสีจึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการสื่อสารเรื่องสี การออกแบบ การพิมพ์ และการแสดงผลทางดิจิทัล โดยช่วยให้มนุษย์สามารถสื่อสารและประยุกต์ใช้สีได้อย่างแม่นยำและเป็นมาตรฐาน

#### 4. ระบบสี RGB

ในช่วงกลางศตวรรษที่ 19 Thomas Young และ Hermann Helmholtz ได้เสนอทฤษฎีการมองเห็นสีแบบ 3 สี ซึ่งกลายเป็นพื้นฐานสำหรับแบบจำลองสี RGB (แดง-เขียว-น้ำเงิน) ทฤษฎีนี้เป็นพื้นฐานของ แบบจำลองสีแบบเติมแต่ง (Additive Color Model) ซึ่งแสงสามสี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน ถูกนำมาผสมกันเพื่อสร้างสีต่าง ๆ ในแบบจำลองนี้ หากแสงทั้งสามสีถูกผสมในความเข้มที่แตกต่างกัน จะสามารถสร้างสีใหม่ ๆ ได้หลากหลาย รวมถึงสีขาวที่เกิดจากการรวมกันของแสงทั้งสามสีในความเข้มสูงสุด



ภาพที่ 16 การแสดงเชิงปริภูมิสีแบบ RGB  
ที่มา : (Neelamraju และ Pothapragada, 2022)

ความเข้มของแสง เป็นปัจจัยที่กำหนดสีที่เรามองเห็น เมื่อความเข้มของแสงเป็นศูนย์ (ไม่มีแสง) จะปรากฏเป็นสีดำ ในทางกลับกัน เมื่อแสงทั้งสามสีมีความเข้มสูงสุด สีที่เห็นจะเป็นสีขาว ความเข้มของแสงในระดับต่าง ๆ จะสร้างเฉดสีที่แตกต่างกัน ในขณะที่ความแตกต่างของค่าความเข้มระหว่างสีสูงสุดและต่ำสุดจะส่งผลต่อระดับความอิ่มตัวของสี ทำให้สีดูสดใสหรือจางลง

การใช้ RGB ในจอแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ จอแสดงผลเช่น CRT, LCD, และพลาสมา ใช้โมเดลสี RGB ในการแสดงสี โดยสีที่แสดงผลนั้นอาจแตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากการตั้งค่าของอุปกรณ์และความไวต่อแสงของแต่ละเครื่อง โมเดลสี RGB 24 บิต ใช้ในการเข้ารหัสสีในคอมพิวเตอร์ และการออกแบบเว็บไซต์ สีแต่ละสีในโมเดลนี้จะแสดงด้วยค่า 8 บิตต่อสี (แดง เขียว และน้ำเงิน) ซึ่งสามารถแสดงสีได้สูงสุด 16.7 ล้านสี ซึ่งมาตรฐานการเขียนโปรแกรม HTML ใช้ค่าสีแบบฐานสิบหก (Hexadecimal) ซึ่งยังคงเป็นที่นิยมในการออกแบบเว็บไซต์ เนื่องจากระบบนี้สามารถแสดงสีที่ตาเห็นได้เกือบสมบูรณ์แบบบนหน้าจอ

ระบบสี RGB เป็นระบบสีของแสงที่ใช้หลักการผสมแสงสีแดง สีน้ำเงิน และสีเขียว ซึ่งเมื่อแสงทั้งสามสีผสมกันในสัดส่วนที่แตกต่างกัน จะได้สีใหม่ ๆ โดยในธรรมชาติ สีที่สายตามนุษย์มองเห็นได้นั้นเกิดจากการหักเหของแสงที่ผ่านแท่งแก้วปริซึม ทำให้เกิดแถบสีที่เรียกว่า สเปกตรัม (Spectrum) ซึ่งประกอบด้วยสี แดง แสด เหลือง เขียว น้ำเงิน คราม ม่วง แสงสีม่วงมีความถี่คลื่นสูงที่สุด ขณะที่แสงสีแดงมีความถี่คลื่นต่ำที่สุด คลื่นแสงที่อยู่ต่ำกว่าสีแดงคือ อินฟราเรด และที่สูงกว่าสีม่วงคือ อัลตราไวโอเล็ต ซึ่งสายตามนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้

การผสมแสงแบบ Additive คือการรวมแสงสีแดง เขียว และน้ำเงินเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดสีใหม่ เช่น สีแดงมาเจน้ำตาล สีฟ้าไซแอน และสีเหลือง ซึ่งเป็นสีทุติยภูมิ และการผสมสีทั้งหมดจะทำให้เกิดสีขาว รูปแบบการผสมนี้ใช้ในการสร้างภาพบนจอคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ และการถ่ายภาพ ซึ่งให้ความสว่างของสีมากกว่าที่เห็นในความเป็นจริง



ภาพที่ 17 วงล้อสี

ที่มา : (V. Laxmanan, 2014)

### แสง สี และการดูดกลืนแสงของสาร

สมบัติการดูดแสงของสารถูกกำหนดจากลักษณะโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลสารนั้น ๆ โครงสร้างโมเลกุลที่มีพันธะคู่สลับเดี่ยว (conjugated double bond) ไม่มากนัก ทั้งที่เป็นสารประกอบ แอโรแมติกและเฮเทอโรไซคลิก สารประเภทนี้สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ดี โครงสร้างโมเลกุลมี พันธะคู่สลับเดี่ยวกันมากขึ้น หรือโมเลกุลที่มีไอออนของธาตุแทรนซิชันรวมอยู่ด้วย โมเลกุลเหล่านี้จะมีขนาดใหญ่และโครงสร้างที่ซับซ้อน จึงมักจะดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นได้ดีและเป็นสารที่มีสี ซึ่งโดยปกติคลื่นแสงที่ตามองเห็นประกอบด้วยแถบของแสงสีต่างๆ กัน ซึ่งในสายตาของคนเราจะมองเห็นเป็นแสงสีขาว เมื่อแสงแม่สีที่เป็นสีเหลือง สีแดงและสีน้ำเงินผสมกัน แสงที่เดินทางกระทบสารเหล่านั้นจะมีการดูดกลืนแถบแสงสีที่มีระดับพลังงานเหมาะสมไว้ สีของสาร เหล่านั้นที่ตาเรามองเห็นจึงเป็นแสงสีที่ไม่ถูกดูดกลืน แถบแสงสีที่สารดูดกลืนไว้จะทำให้เรามองเห็นสารนั้น คือสีตรงกันข้าม (complementary color) ดังสรุปไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงสีและสีตรงกันข้ามของสเปกตรัมช่วงคลื่นที่ตามองเห็น

| ความยาวคลื่น *<br>(นาโนเมตร) | สีที่ถูกดูดกลืน | สีตรงกันข้าม (complementary color)<br>หรือสีของสารที่ตาเรามองเห็น |
|------------------------------|-----------------|---|
| 350 - 430                    | ม่วง            | เหลือง  |
| 430 - 475                    | น้ำเงิน         | ส้ม   |
| 475 - 495                    | เขียวแกมน้ำเงิน | ส้มแกมแดง   |
| 495 - 505                    | เขียวแกมน้ำเงิน | แดงแกมส้ม   |
| 505 - 555                    | เขียว           | แดง   |
| 555 - 575                    | เขียวแกมเหลือง  | ม่วงแดง   |
| 575 - 600                    | เหลือง          | ม่วง  |
| 600 - 650                    | ส้ม             | น้ำเงิน   |
| 670 - 700                    | แดง             | เขียว   |

\* ช่วงความยาวคลื่นที่ระบุเป็นค่าประมาณของแสงแถบสีต่าง ๆ  
ที่มา : (Pesce A J et al., 1996)

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และเทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยก่อนหน้า โดยรวบรวมและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อสนับสนุนและเสริมสร้างความเข้าใจในหัวข้อที่ศึกษา การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะช่วยให้เข้าใจถึงวิธีการและผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ รวมถึงการพัฒนาหรือการนำเทคนิคใหม่ ๆ มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยปัจจุบัน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง และมีความแม่นยำสูงขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการวิจัยกับงานวิจัยที่ผ่านมา ทั้งนี้เพื่อสร้างความสมบูรณ์ให้กับการศึกษาในงานวิจัยนี้

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความเข้มข้นโดยใช้โทรศัพท์มือถือ

ณัฐกร อินทวิชะ, (2563) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยโปรแกรม shoebox spectrophotometer ที่ทำงานบนสมาร์ตโฟน หรือที่เรียกว่า เครื่องสเปกโตรโฟมิเตอร์อย่างง่าย กับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มาตรฐาน ในการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0–1.0 mg/L โดยวิธีการทำให้เกิดสีด้วยโมลิบดีนัมบลู และวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟมิเตอร์อย่างง่าย เปรียบเทียบกับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มาตรฐาน พบว่า ค่าสหสัมพันธ์จากการวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยเครื่องสเปกโตรโฟมิเตอร์อย่างง่าย (x) ให้ค่าต่ำกว่าการวัดโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มาตรฐาน (y) โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงใน

ทางบวก มีค่าสัมประสิทธิ์  $R^2$  เท่ากับ 0.998 และให้สมการเส้นตรง  $y = 2.48x - 0.006$  เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโตรโฟมิเตอร์อย่างง่าย ในการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างดิน โดยวิธีการทำให้เกิดสีด้วยโมลิบดีนัมบลู เปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟมิเตอร์อย่างง่าย กับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มาตรฐาน พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทางบวก ค่าสัมประสิทธิ์  $R^2$  เท่ากับ 0.997 และให้สมการเส้นตรง  $y = 0.649x - 3.787$

นันทน์ภัส ธิติศักดิ์สกุล และคณะ, (2561) ได้ศึกษาอุปกรณ์อย่างง่ายที่ใช้กล้องสมาร์ทโฟนสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซาลิไซลิกในอาหาร ยา และ เครื่องสำอาง โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาของกรดซาลิไซลิกกับสารละลายไอออน(III)คลอไรด์ เกิดผลิตภัณฑ์เป็นสารละลายสีม่วง แล้วทำการวิเคราะห์ค่าสีโดยใช้ระบบค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ด้วยแอปพลิเคชันวิเคราะห์ค่าสีทั่วไป พบว่าค่าความเข้มสีเขียวมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรงกับความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกมากที่สุด โดยภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณกรดซาลิไซลิกในตัวอย่าง 13 ตัวอย่าง โดยใช้สมาร์ทโฟน 3 รุ่น ที่มีความละเอียดกล้องต่างกัน พบว่าสมาร์ทโฟนที่มีความละเอียดกล้อง 12–13 ล้านพิกเซล ให้ผลค่าความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) และมีความแม่นยำที่ดี ด้วยค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 5 ซึ่งแสดงว่าอุปกรณ์อย่างง่ายที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกในตัวอย่างต่าง ๆ ได้

Eric Kehoe and R Lee Penn, (2013) ศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารตัวอย่างโดยใช้กฎของเบียร์ โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารที่ต้องวิเคราะห์ที่ดูดซับในสารละลายได้ ผลการทดลองโดยใช้สารละลายสีผสมอาหารสีน้ำเงิน เครื่องดื่มเกลือแร่ เลมอนมะนาว และสารละลาย Iron (III) chloride วางไว้หน้าแหล่งกำเนิดแสง เช่น หลอดไฟ หรือหน้าจอกอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการถ่ายภาพตัวอย่างของสารตัวอย่าง สารละลายมาตรฐาน และ blanks โดยใช้กล้องดิจิทัล และกล้องโทรศัพท์มือถือ ทำการรวบรวมข้อมูลภาพแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้น พบว่าค่าการดูดกลืนแสง เทียบกับความเข้มข้นเชิงเส้น สำหรับข้อมูลที่รวบรวมโดยใช้กล้องดิจิทัล และกล้องโทรศัพท์มือถือ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และมีค่า  $R^2$  ที่มากกว่า 0.973 นั้น แสดงว่าการวิเคราะห์สีด้วยกล้องดิจิทัล และกล้องโทรศัพท์มือถือ เป็นวิธีที่ง่าย สามารถนำไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับห้องปฏิบัติการได้หลากหลายทั้งในการวิจัย และการศึกษา

Edgar P. Moraes et al., (2015) ศึกษาวิธีการในการประเมินอัตราการกัดกร่อนของตะปูเหล็กในน้ำทะเลจำลองแทนการตรวจวัดโดยตรงของน้ำหนักที่ลดลงของชิ้นงานที่ทดสอบเมื่อเวลาผ่านไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นกิจกรรมสำหรับการเรียนเคมีไฟฟ้า และวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาอัตราการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำทะเลจำลอง อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องใช้เครื่องชั่งที่มีความแม่นยำสูง ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวอาจหาได้ยาก แต่สำหรับโทรศัพท์มือถือในปัจจุบันเป็นอุปกรณ์ที่กล้องที่ดี และได้

กลายเป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่ในชีวิตประจำวันของนักเรียนและนักศึกษา นักเรียนจึงสามารถติดตามและถ่ายภาพการเกิดสีจากปฏิกิริยาระหว่างไอออนของเหล็กที่ปล่อยออกมาด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ จากนั้นนำภาพมาวิเคราะห์หาค่า RGB ที่แปลงเป็นค่าการดูดกลืนแสง จากผลการทดลองพบว่า กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสีภาพในน้ำทะเลจำลองกับความเข้มข้นของ  $Fe^{2+}$  มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และมีค่า  $R^2 = 0.9993$  และมีค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ  $0.26 \text{ mg/dm}^3$  แสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากกล้องโทรศัพท์มือถือค่อนข้างใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี นอกจากนี้จำนวน  $Fe^{2+}$  ที่ปล่อยออกมาในพื้นที่ และเวลาที่กำหนดด้วยโทรศัพท์มือถือ วิธีนี้ทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นที่มี  $R^2 = 0.9821$  และให้อัตราการกักต่อนเท่ากับ  $0.169 \text{ } \mu\text{mol } Fe^{2+}/(\text{cm}^2\text{h})$  ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี ที่ให้อัตราการกักต่อนของเหล็กในน้ำทะเลจำลอง เท่ากับ  $0.173 \text{ } \mu\text{mol } Fe^{2+}/(\text{cm}^2\text{h})$  และมี  $R^2 = 0.9986$  ผู้สอนสามารถใช้วิธีการนี้กับปัญหาซึ่งจะให้นักเรียนสามารถพัฒนาขั้นตอนตอนการทดลองได้เอง ทำให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการคิด สุดท้ายการนำโทรศัพท์มือถือมาใช้ในการสอนวิทยาศาสตร์มีประโยชน์มาก เนื่องจากทำให้การเรียนรู้สนุกสนาน และมีความหมายมากขึ้น

Joel F. Destino and Katie Cunningham, (2020) ได้พัฒนาการเรียนรู้ในท้องปฏิบัติการณ์ที่เน้นการใช้แบบสอบถามแบบเรียบง่าย และหลากหลาย ซึ่งในการงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้นักเรียนวิเคราะห์สารละลายในน้ำ โดยให้นักเรียนเลือกเองจากผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน จากนั้นใช้กล้องสมาร์ตโฟนถ่ายภาพ และวิเคราะห์สี (RGB) จากภาพถ่ายที่นักเรียนได้ สำหรับวิธีการเตรียมสารละลายได้ทำการเตรียมจากสีผสมอาหารสีเขียว และสีน้ำเงิน โดยใช้อุปกรณ์ทั่วไปในครัว ได้แก่ แก้วน้ำ ทำหน้าที่สำหรับบรรจุสารตัวอย่างแทนการใช้คิวเวต ผลการวิเคราะห์สีจากภาพของสารตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด และค่าการดูดกลืนแสง พบว่าหนึ่งในการวิเคราะห์ปริมาณสีผสมอาหารสีเขียว โดยใช้โปรแกรม ImageJ ของนักเรียนได้ค่า G/R กับความเข้มข้นสัมพันธ์ของสีผสมอาหารสีเขียว มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง มีค่า  $R^2 = 0.998$  และความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสัมพันธ์ของสีผสมอาหารสีเขียว มีค่า  $R^2$  ใกล้เคียงกับ 1 แสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้นักเรียนบรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณต่าง ๆ รวมถึงแนวคิดและเทคนิคพื้นฐาน ในการเตรียมสารละลาย วิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร การเปลี่ยนหน่วย เลขนัยสำคัญ การวิเคราะห์ทางสถิติ นอกจากนี้การนำวิชาเคมีเข้ามาใช้ในบ้านทำให้นักเรียนมีความท้าทาย ส่งผลให้ผู้เรียนมีความคิดสร้างสรรค์ และทักษะการแก้ปัญหาอีกด้วย

Priya Yadav et al., (2022) ศึกษากระบวนการปฏิบัติการบนสมาร์ตโฟนที่นำมาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาปริมาณฟลูออไรด์ไอออนในน้ำดื่ม สำหรับจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องปฏิบัติการของนักศึกษาระดับปริญญาตรี โดยกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาภาควิชาเคมีได้ทำการสังเคราะห์ chemosenser (E)-2-(16-nitro-2-oxo-2H-chromen-3-yl)-N-phenyldrazine-1-carbothioamide (CT) และโปรโตคอลสีเขียวด้วยไมโครเวฟ จากนั้นทำการทดสอบ chemosenser CT กับสารละลายไอออนต่าง ๆ พบว่า chemosenser CT มีคุณสมบัติเลือกเกิดสารเชิงซ้อนกับฟลูออไรด์ไอออน โดยจะเปลี่ยนจากสารละลายสีเหลืองเป็นสารละลายสีชมพู จากนั้นวัดความเข้มสีของ chemosenser CT ที่ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน 0-10 ppm ด้วยแอปพลิเคชัน Color Picker Android พบว่า ค่า R/G กับความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน มีค่าความเป็นเส้นตรงที่ดี ( $R^2 > 0.95$ ) และจากผลการวิเคราะห์ปริมาณของฟลูออไรด์ไอออนในสารตัวอย่างด้วยวิธีการถ่ายภาพโดยใช้สมาร์ตโฟน มีผลที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี ดังนั้นเครื่องมือการวิเคราะห์แบบใหม่โดยใช้สมาร์ตโฟนสามารถนำมาใช้ในวิเคราะห์หาปริมาณฟลูออไรด์ไอออนได้ อีกทั้งยังมีราคาถูก และสามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างได้รวดเร็ว

Schubert et al., (2022) ได้ศึกษาความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างซึ่งพบว่าเป็นตัวแปรสำคัญในการป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อโรค โดยได้ทำการศึกษาแผ่นทดสอบเปลี่ยนสีแบบใช้แล้วทิ้งสำหรับตรวจวัดคลอรีนน้ำประปาที่มีจำหน่ายทั่วไป ซึ่งการเปลี่ยนสีนั้นยากต่อการอ่านด้วยตา และอาจจะมีการบันทึกข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงได้พัฒนาเครื่องมืออัตโนมัติที่ออกแบบมาเพื่อประมวลผลภาพดิจิทัลของแถบทดสอบคลอรีนที่ตกค้าง ซึ่งถ่ายภาพด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ 3 รุ่นภายในได้สภาพแสงที่แตกต่างกัน 3 แบบ โดยใช้พื้นหลังมาตรฐานเดียวกัน จากนั้นครอบตัดรูปภาพโดยใช้โปรแกรมการประมวลผลภาพเพื่อแยกพื้นที่ที่เกี่ยวข้องสำหรับการวิเคราะห์ค่าสีเฉลี่ยของสีแดง เขียว และน้ำเงิน (RGB) ของรูปภาพ และปรับสมดุลสีของภาพโดยอัตโนมัติเพื่อให้สามารถใช้กับโทรศัพท์มือถือ และสภาพแสงที่แตกต่างกันได้ นำค่าสีเฉลี่ย RGB มาวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของคลอรีน โดยแบ่งความเข้มข้นของคลอรีนออกเป็น 3 ระดับความเข้มข้น ( $<0.2$  mg/L,  $0.2-0.5$ mg/L,  $>0.5$ mg/L) แล้วรายงานให้ผู้ใช้น้ำได้ทราบและสามารถบันทึกการใช้น้ำได้ วิธีการนี้สามารถบอกความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นที่  $<0.2$  mg/L,  $0.2-0.5$ mg/L, หรือ  $>0.5$ mg/L ด้วยความแม่นยำ 79% ถึง 94% ดังนั้นวิธีการนี้จึงสามารถนำไปใช้เพื่อปรับปรุงความน่าเชื่อถือ และเป็นวิธีการจัดเก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดสูงเกี่ยวกับคุณภาพน้ำดื่ม

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล

นันท์นภัส ธิตีศักดิ์สกุล และคณะ, (2564) ได้มีการตรวจวัดปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งเก็บตัวอย่างจากจังหวัดขอนแก่น โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ผลการวิเคราะห์พบว่า ความสัมพันธ์เชิงเส้นของเอทานอลมีความเข้มข้นระหว่าง 50–100% (v/v) โดยมีสมการเชิงเส้นที่ได้คือ  $y = 0.0141x - 0.1023$  ( $R^2 = 0.9994$ ,  $n = 3$ ) สำหรับสารมาตรฐานไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl Alcohol) ได้แสดงกราฟเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 40–100% (v/v) โดยสมการเชิงเส้นคือ  $y = 0.0137x - 0.0607$  ( $R^2 = 0.9995$ ,  $n = 3$ ) ผลการตรวจวัดพบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ที่ 73.8% ( $\pm 4.9\%$ ) โดยปริมาตร ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของปริมาณแอลกอฮอล์ในสารตั้งต้นทั้ง 21 ตัวอย่างอยู่ที่ 83.0% ( $\pm 11.5\%$ ) โดยปริมาตร อย่างไรก็ตามพบว่ามีเพียง 1 ตัวอย่างเท่านั้นที่มีปริมาณเอทานอลต่ำกว่า 50% ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานในการฆ่าเชื้อโรค ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือที่มีปริมาณแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมสำหรับการฆ่าเชื้อและยังยืนยันถึงความสำคัญของการใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ในการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบ เพื่อให้มั่นใจในคุณภาพและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์

Narong Kotchabhakdi, (2019) ศึกษาการใช้กล้องโทรศัพท์มือถือ เป็นเครื่องตรวจวัดสีสำหรับการวิเคราะห์การประมาณค่าเอทานอลตามเวลา ในเครื่องดื่มผสมแอลกอฮอล์ ซึ่งวิธีนี้ได้พัฒนาจากปฏิกิริยารีดอกซ์ของโครเมียม โดยใช้สมาร์ตโฟนเป็นเครื่องตรวจจับสี การวิเคราะห์ตามเวลา (TMB) ใช้สำหรับประเมินสัญญาณสี โดยใช้ระบบสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน (RGB), CMY และ ค่าความอิ่มตัวของสี (HSV) เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนสีจากสีส้มของ  $Cr^{6+}$  เป็นสีเขียวแกมน้ำเงินของ  $Cr^{3+}$  ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่า เวลาในการทำปฏิกิริยาของเอทานอล และ ไทโครเมตไอออน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเอทานอล ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกและบันทึกช่วงเวลา เพื่อใช้ในการอ่านค่าสีแต่ละระบบสี และใช้สำหรับประมวลผลการทดสอบ ซึ่งผลการวิจัยแสดงให้เห็นช่วงเชิงเส้นของเอทานอล 1.0 – 5.0%w/v มีค่า  $R^2 = 0.991 - 0.998\%$  ร้อยละการคืนกลับ (% Recovery) เท่ากับ 82 – 118% และ %RSD น้อยกว่า 10% ดังนั้นการทดสอบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ตัวอย่างเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ผสมด้วยวิธีการนี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดเอทานอลในสารตัวอย่างจริงได้อย่างประสบความสำเร็จ นอกจากนี้วิธีการวิเคราะห์นี้มีความซับซ้อนน้อย รวดเร็ว ต้นทุนต่ำ และสามารถพกพาได้

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

##### 1. สารเคมี

- 1) Ethanol:  $C_2H_5OH$ , Mw 46.07 g mol<sup>-1</sup> (AR.Grade)
- 2) Methanol:  $CH_3OH$ , 32.04 g mol<sup>-1</sup> (AR.Grade)
- 3) Potassium iodide: KI, Mw 166.003 g mol<sup>-1</sup> (AR.Grade)
- 4) Iodine: I, Mw 126.90 g mol<sup>-1</sup> (AR.Grade)
- 5) Sodium Hydroxide: NaOH, Mw 40.00 g mol<sup>-1</sup> (AR.Grade)
- 6) Ceric ammonium nitrate:  $(NH_4)_2Ce(NO_3)_6$ , Mw 548.23 g mol<sup>-1</sup> (AR.Grade)
- 7) Potassium dichromate:  $K_2Cr_2O_7$ , Mw 294.19 g mol<sup>-1</sup> (AR.Grade)
- 8) Potassium permanganate:  $KMnO_4$ , Mw 158.03 g mol<sup>-1</sup> (AR.Grade)
- 9) Nitric acid:  $HNO_3$ , Mw 63.01 g mol<sup>-1</sup> (AR.Grade)
- 10) Acetic acid:  $CH_3COOH$ , Mw 60.05 g mol<sup>-1</sup> (AR.Grade)
- 11) Sulfuric acid:  $H_2SO_4$ , Mw 98.08 g mol<sup>-1</sup> (AR.Grade)
- 12) Hydrochloric acid: HCl, Mw 36.46 g mol<sup>-1</sup> (AR.Grade)
- 13) Zinc chloride:  $ZnCl_2$ , Mw 136.28 g mol<sup>-1</sup> (AR.Grade)
- 14) น้ำกลั่น (Distill water)

##### 2. อุปกรณ์

- 1) ไมโครปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร
- 2) ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร
- 3) ขวดวัดปริมาตร ขนาด 10, 25, 50, 100 มิลลิลิตร
- 4) ปีกเกอร์ ขนาด 50, 100, 250 มิลลิลิตร
- 5) กระบอกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร
- 6) แท่งแก้วคนสาร/ช้อนตักสาร
- 7) หลอดทดลองขนาดเล็ก
- 8) จานสี/แพนสี
- 9) คิวเวทพลาสติก ขนาด 3.5 มิลลิลิตร
- 10) แลปหลอดไฟ LED ขนาด 10W
- 11) แลปหลอดไฟ LED ขนาด 50W

12) พิวเจอร์บอร์ดสีดำ/กระดาษแข็งสีขาว

3. เครื่องมือ

- 1) เครื่องวัดค่าการดูดกลืน UV-Vis Spectrophotometer รุ่น Specord 210
- 2) เครื่องซังไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น ME204 บริษัท
- 3) กล้องโทรศัพท์มือถือ รุ่น iPhone SE ความละเอียด 12 ล้านพิกเซล
- 4) แอปพลิเคชัน PANTONE
- 5) กล่องไฟถ่ายภาพ (Studio Box)

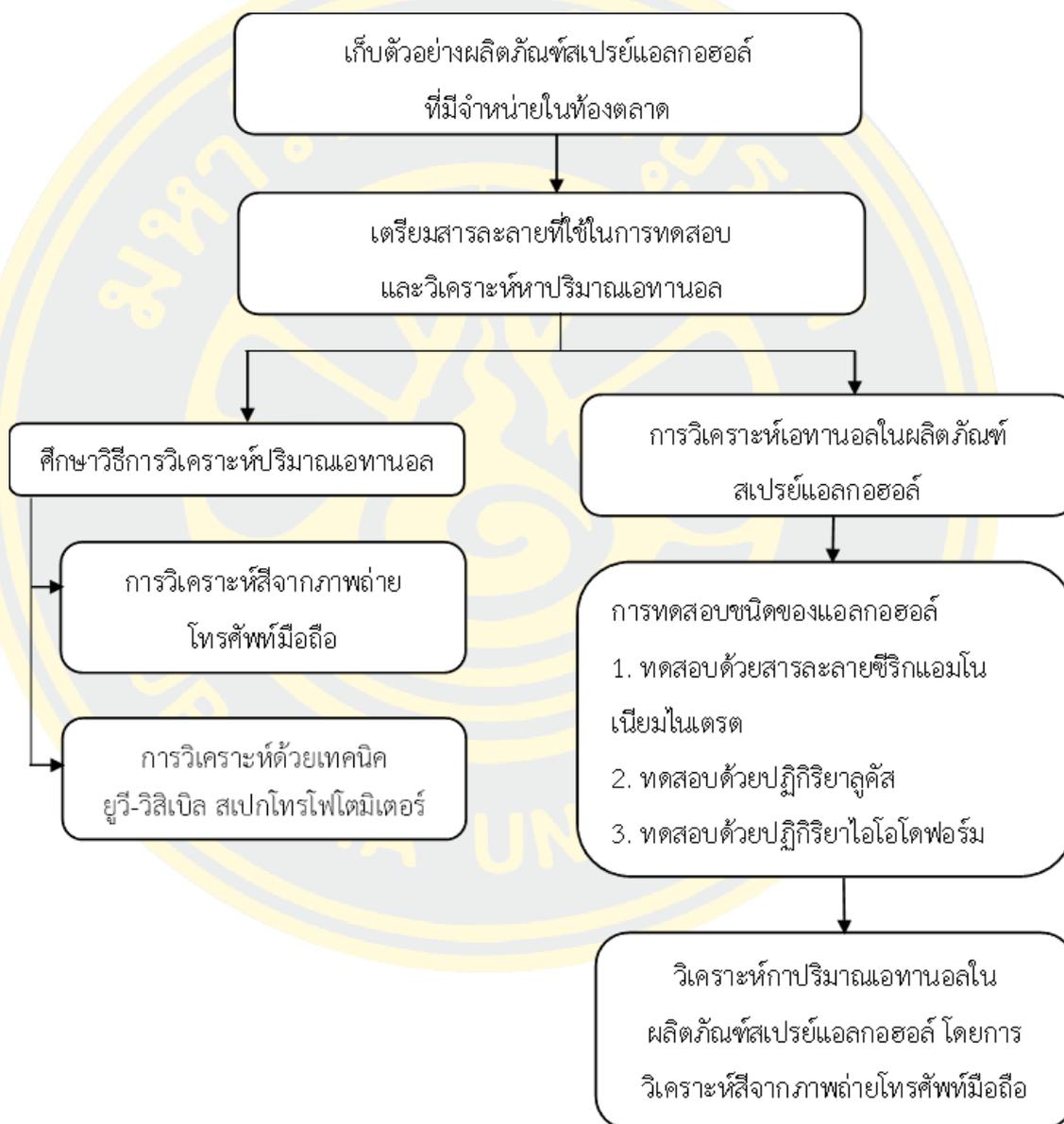
4. สเปรย์แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทดลอง

สเปรย์แอลกอฮอล์ล้างมือ ไม่ระบุยี่ห้อ รวมทั้งหมด 5 ตัวอย่าง



### แผนการดำเนินการวิจัย

แผนการดำเนินการวิจัยนี้ถูกออกแบบเพื่อให้ครอบคลุมกระบวนการต่าง ๆ ตั้งแต่การเก็บตัวอย่าง การเตรียมสารละลาย การทดสอบ และการวิเคราะห์ผล เพื่อตรวจสอบชนิดและปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ โดยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 18 แผนผังขั้นตอนการทำวิจัย

## การเตรียมสารละลาย

ในการวิจัยนี้ ขั้นตอนการเตรียมสารละลายมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากความแม่นยำในการเตรียมสารละลายจะส่งผลโดยตรงต่อผลการวิเคราะห์และความเชื่อถือได้ของผลลัพธ์ โดยสารละลายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ครอบคลุมถึงการเตรียมสารละลายสำหรับการตรวจสอบชนิดของแอลกอฮอล์และการตรวจสอบปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ โดยมีรายละเอียดการเตรียมดังนี้

### 1. การเตรียมสารละลายสำหรับการตรวจสอบชนิดของแอลกอฮอล์

การตรวจสอบชนิดของแอลกอฮอล์ในตัวอย่างต้องใช้สารละลายที่สามารถทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ได้ เพื่อระบุชนิดของแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์ดังนี้

#### 1.1 การเตรียมสารละลายไอโอดีน ( $I_2/KI$ )

ชั่งสารโพแทสเซียมไอโอไดด์ ( $KI$ ) 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 30.0 มิลลิลิตร คนให้สารละลายจนหมด จากนั้น ชั่งไอโอดีน 2.5 กรัม ใส่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ( $KI$ ) แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

#### 1.2 การเตรียมสารละลาย Ceric Ammonium Nitrate

เตรียมกรดไนตริกเข้มข้น ( $conc.HNO_3$ ) 1 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 14.0 มิลลิลิตร จากนั้นละลาย ceric ammonium nitrate 3.2 กรัม คนให้เข้ากัน แล้วเก็บในขวดสีชา เมื่อต้องการนำมาใช้ให้ผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 2

#### 1.3 การเตรียมสารละลาย Lucas ( $HCl/ZnCl_2$ )

เตรียมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ( $conc.HCl$ ) 10.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำเย็น จากนั้นชั่งสารซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) 14.67 กรัม แล้วเติมลงในกรดให้เร็วที่สุด คนจนสารละลายหมด

### 2. การเตรียมสารละลายสำหรับการตรวจสอบปริมาณเอทานอล

ในการตรวจสอบปริมาณเอทานอลในตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์จำเป็นต้องมีการเตรียมสารละลายที่สามารถทำปฏิกิริยากับเอทานอลได้อย่างเหมาะสม โดยรายละเอียดการเตรียมสารละลายมีดังนี้

#### 2.1 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ชั่งสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) 0.25 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เข้มข้น 1%w/v จากนั้นปิเปตสารละลาย Potassium permanganate เข้มข้น 1%w/v ปริมาตร 0.03 มิลลิลิตร ใส่ในกรดแอสติค เข้มข้น 5%v/v ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

## 2.2 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต

ชั่งสารโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) 2.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริก (conc. $H_2SO_4$ ) 2.50 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน

สารละลายนี้จะใช้ในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายเอทานอล เพื่อตรวจสอบปริมาณเอทานอลผ่านการวัดการเปลี่ยนแปลงสี (Narong Kotchabhakdi, 2019)

## 2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอล

ปีเปตสารละลายเอทานอลเข้มข้น 99.9% ปริมาตร 4.50, 4.00, 3.50, 3.00 และ 2.50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานเอทานอลเข้มข้น 90%, 80%, 70%, 60%, และ 50% ตามลำดับ

## ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วยทั้งหมด 6 ตอน ดังนี้

### ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล โดยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ

การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ด้วยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ เป็นวิธีที่สะดวกและทันสมัยที่ช่วยให้การตรวจวัดปริมาณเอทานอลทำได้ง่ายและรวดเร็วโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อน วิธีนี้อาศัยการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างเอทานอลและสารออกซิแดนซ์ในสารละลาย แล้วถ่ายภาพเพื่อวิเคราะห์ค่าความเข้มสีในระบบ RGB ซึ่งสามารถนำไปคำนวณปริมาณเอทานอลในตัวอย่างได้

#### 1.1 วิธีการสร้างกล่องไฟถ่ายภาพ (Studio Box)

การสร้างกล่องไฟถ่ายภาพในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเงาและการรบกวนจากแสงภายนอก รวมถึงควบคุมทิศทางและความสม่ำเสมอของแสงที่ใช้ในการถ่ายภาพสารละลาย ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำของการวิเคราะห์สี โดยวิธีการสร้างกล่องไฟอ้างอิงจาก (Narong Kotchabhakdi, 2019) และ (Nuntaporn Moonrunsee et al., 2015) ดังนี้

1) ใช้กล่องกระดาษแข็งขนาด 28 x 46 x 30 เซนติเมตร ห่อด้วยกระดาษสีดำด้านนอก และกระดาษสีขาวด้านใน

2) เจาะช่องขนาด 5 x 5 เซนติเมตร บริเวณด้านบนของกล่องสำหรับวางเลนส์กล้องโทรศัพท์

3) ติดตั้งหลอดไฟ LED ขนาด 10 W และ 50 W บนเพดานและฐานของกล่อง เพื่อให้แสงสม่ำเสมอในการถ่ายภาพสารตัวอย่าง



ภาพที่ 19 กล้องไฟถ่ายภาพ (Studio Box)

## 1.2 การศึกษาชนิดของ Oxidizing Agent ที่เหมาะสม

- 1) ปิเปตสารละลายเอทานอลเข้มข้น 90%, 70%, 50% และ 0% ความเข้มข้นละ 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก
- 2) เติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน
- 3) ตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นไปจัดวางในกล่องไฟถ่ายภาพ โดยจัดวางอุปกรณ์ดังแสดงในภาพที่ 19 ถ่ายภาพบันทึกสีของสารละลาย
- 4) นำรูปภาพที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความเข้มสี RGB โดยใช้แอปพลิเคชัน PANTONE
- 5) คำนวณหาค่าเฉลี่ยของความเข้มสี RGB และคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้สมการที่ 3.1

$$A = -\log \frac{I}{I_0} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $A$  = ค่าการดูดกลืนแสงจากความเข้มสี  
 $I$  = ค่าความเข้มสีของสารละลายตัวอย่าง  
 $I_0$  = ค่าความเข้มสีของสารละลายแบล็ค

- 6) นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ มาสร้างกราฟมาตรฐาน
- 7) ทำซ้ำตั้งแต่ ข้อ 1-6 โดยเปลี่ยนมาใช้ สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) เข้มข้น 0.300 M

8) เลือก oxidizing agent ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลด้วยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ

### 1.3 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอล

- 1) ปิเปตสารละลายเอทานอลเข้มข้น 90%, 70%, 50% และ 0% ความเข้มข้นละ 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก
- 2) เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เข้มข้น 0.300 M ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน
- 3) เริ่มจับเวลาทันทีหลังจากเขย่าสารละลายให้เข้ากัน โดยนำไปจัดวางในกล่องไฟถ่ายภาพ ดังแสดงในภาพที่ 18 ถ่ายภาพบันทึกสีของสารละลาย ทุกๆ 30 วินาที
- 4) นำรูปภาพที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความเข้มสี RGB โดยใช้แอปพลิเคชัน PANTONE
- 5) คำนวณหาค่าเฉลี่ยของความเข้มสี RGB มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสี RGB ของสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเวลา
- 6) คำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงจากค่าความเข้มสี RGB ที่ได้ โดยใช้สมการที่ 3.1 และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน
- 7) เลือกเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน สำหรับใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลด้วยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ

### 1.4 การศึกษาระยะห่างในการถ่ายภาพด้วยโทรศัพท์มือถือที่เหมาะสม

- 1) ปิเปตสารละลายเอทานอลเข้มข้น 90%, 70%, 50% และ 0% ความเข้มข้นละ 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก
- 2) เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เข้มข้น 0.300 M ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน
- 3) หลังจากเขย่าสารละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 300 วินาที โดยนำไปจัดวางในกล่องไฟถ่ายภาพ ดังแสดงในภาพที่ 18 ถ่ายภาพบันทึกสีของสารละลาย ที่ระยะห่างจากช่องถ่ายภาพจนถึงฐานรองสำหรับวางสารตัวอย่าง เท่ากับ 11 เซนติเมตร, 15 เซนติเมตร, 19 เซนติเมตร, และ 23 เซนติเมตร ตามลำดับ
- 4) นำรูปภาพที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความเข้มสี RGB โดยใช้แอปพลิเคชัน PANTONE
- 5) คำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มสี RGB และคำนวณค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้สมการที่ 3.1
- 6) นำค่าการดูดกลืนแสง มาสร้างกราฟมาตรฐาน
- 7) เลือกระยะห่างในการถ่ายภาพที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลด้วยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ

### 1.5 การศึกษาภาชนะที่ใช้บรรจุสารตัวอย่างที่เหมาะสม

- 1) ปิเปตสารละลายเอทานอลเข้มข้น 90%, 70%, 50% และ 0% ความเข้มข้นละ 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก, จานสี, และ แพนสี ตามลำดับ
- 2) เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เข้มข้น 0.300 M ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน
- 3) หลังจากเขย่าสารละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 300 วินาที โดยนำไปจัดวางในกล่องไฟถ่ายภาพ ถ่ายภาพบันทึกสีของสารละลาย ที่ระยะห่างจากช่องถ่ายภาพจนถึงฐานรองสำหรับวางสารตัวอย่าง เท่ากับ 15 เซนติเมตร
- 4) นำรูปภาพที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความเข้มสี RGB โดยใช้แอปพลิเคชัน PANTONE
- 5) นำค่าความเข้มสี RGB มาคำนวณค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้สมการที่ 3.1
- 6) นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ มาสร้างกราฟมาตรฐาน
- 7) เลือกภาชนะบรรจุสารตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเอ

ทานอลด้วยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ

### ตอนที่ 2 การสร้างกราฟมาตรฐานวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลด้วยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ

1. ปิเปตสารละลายเอทานอลเข้มข้น 90%, 80%, 70%, 60%, 50% และ 0% ความเข้มข้นละ 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในแพนสี
2. เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เข้มข้น 0.300 M ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน
3. หลังจากเขย่าสารละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 300 วินาที โดยนำไปจัดวางในกล่องไฟถ่ายภาพ ดังแสดงในภาพที่ 18 ถ่ายภาพบันทึกสีของสารละลาย ที่ระยะห่างจากช่องถ่ายภาพจนถึงฐานรองสำหรับวางสารตัวอย่าง เท่ากับ 15 เซนติเมตร
4. นำรูปภาพที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความเข้มสี RGB โดยใช้แอปพลิเคชัน PANTONE และหาค่าเฉลี่ยของความเข้มสี R G และ B ตามลำดับ
5. นำค่าเฉลี่ยของความเข้มสี R G และ B มาใช้ในการคำนวณค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้สมการที่ 3.1
6. นำค่าการดูดกลืนแสง มาสร้างกราฟมาตรฐาน ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของค่าสี R G และ B กับค่าความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล

7. เลือกกราฟของค่าการดูดกลืนแสงจากความเข้มข้นสี RGB ซึ่งเป็นกราฟที่มีค่าความชันมากที่สุด และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ  $R^2$  เข้าใกล้ 1 มากที่สุด เพื่อใช้เป็นกราฟมาตรฐานสำหรับการตรวจวัดปริมาณเอทานอล

### ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี

1. ปิเปตสารละลายเอทานอลเข้มข้น 90%, 80%, 70%, 60%, 50% และ 0% ความเข้มข้นละ 2.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในคิวเวต
2. เติมน้ำสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เข้มข้น 0.300 M ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน
3. หลังจากเขย่าสารละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 300 วินาที โดยค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 585 nm แต่ละความเข้มข้นทำการวัดซ้ำ 2 ครั้ง
4. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 585 nm ของแต่ละความเข้มข้นทั้ง 3 ครั้ง มาเฉลี่ย และสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 585 nm กับค่าความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล

### ตอนที่ 4 การวิเคราะห์ชนิดของแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยจะใช้เทคนิคต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและเชื่อถือได้ ขั้นตอนการวิเคราะห์แบ่งออกเป็นหลายส่วน ดังนี้

#### 4.1 การทดสอบด้วยสารละลาย Ceric Ammonium Nitrate

- 1) เตรียมสารตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาดเล็ก รวมทั้งหมด 5 ตัวอย่าง
- 2) ปิเปตสารละลาย Ceric Ammonium Nitrate ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในสารตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ทั้ง 5 ตัวอย่าง จากนั้นเขย่าสารละลายให้เข้ากันและทิ้งไว้ 5 นาที สังเกตสีของสารละลายที่เกิดขึ้น และบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสี ซึ่งจะบ่งบอกถึงชนิดของแอลกอฮอล์ที่มีอยู่ในตัวอย่าง

#### 4.2 การทดสอบลูคัส (Lucas Test)

- 1) เตรียมสารตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาดเล็ก รวมทั้งหมด 5 ตัวอย่าง
- 2) ปิเปตสารละลาย Lucas ( $HCl/ZnCl_2$ ) ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ลงในสารตัวอย่างทั้ง 5 ตัวอย่าง จากนั้นเขย่าสารละลายให้เข้ากันและทิ้งไว้ 5 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีและบันทึกผล ซึ่งจะใช้ในการแยกแอลกอฮอล์ตามประเภท (ปฐมภูมิ, ทติภูมิ, และ ตติภูมิ)

### 4.3 การทดสอบด้วย Iodoform Reaction

- 1) ปิเปตสารตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก รวมทั้งหมด 5 ตัวอย่าง
- 2) เติมสารละลายไอโอดีน ( $I_2$ ) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% w/v ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นทิ้งไว้ 5 นาที สังเกตการเกิดตะกอนสีเหลือง ซึ่งบ่งบอกถึงการมีเอทานอลในตัวอย่าง

### 4.4 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NMR

นำผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด จำนวน 5 ตัวอย่าง นำมาวิเคราะห์โครงสร้างของแอลกอฮอล์ที่เป็นส่วนผสมในสเปรย์แอลกอฮอล์ ด้วยเครื่องมือ Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR) ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้สำหรับยืนยันโครงสร้างของสารตัวอย่าง

## ตอนที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์

### 5.1 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ ด้วยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ

- 1) ปิเปตสารตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ใส่ลงในแบนสี ตัวอย่างละ 1.00 มิลลิลิตร
- 2) เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เข้มข้น 0.300 M ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน
- 3) ตั้งสารละลายไว้เป็นเวลา 300 วินาที จากนั้นถ่ายภาพสารละลายที่ระยะห่างจากช่องถ่ายภาพจนถึงฐานรองสำหรับวางสารตัวอย่างเท่ากับ 15 เซนติเมตร
- 4) วิเคราะห์ค่าความเข้มสี RGB จากภาพถ่ายโดยใช้แอปพลิเคชัน PANTONE และคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความเข้มสี
- 5) นำค่าเฉลี่ยความเข้มสีมาคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้สมการที่ 3.1
- 6) นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน
- 7) คำนวณปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง โดยใช้กราฟมาตรฐานและสมการ 3.2

$$\text{ปริมาณเอทานอลทั้งหมด (\%v/v)} = [ (A - B) / M ] \quad (3.2)$$

- เมื่อ
- A คือ ค่าการดูดกลืนแสงจากความเข้มสี
  - B คือ จุดตัดแกน Y ของกราฟมาตรฐานเอทานอล
  - M คือ ค่าความชันของกราฟมาตรฐานเอทานอล

โดยผลจะแสดงในหน่วยความเข้มข้น %v/v ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ ซึ่งจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และคิดเป็นค่าเฉลี่ย ( $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

## 5.2 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี

1) เตรียมสารตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง รวมทั้งหมด 5 ตัวอย่าง

2) เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เข้มข้น 0.300 M ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน

3) หลังจากเขย่าสารละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 300 วินาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 585 nm ทำซ้ำ 2 ครั้งเพื่อเพิ่มความแม่นยำ

4) นำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 585 nm มาคำนวณหาปริมาณเอทานอลในตัวอย่าง โดยใช้สมการที่ 3.3

$$\text{ปริมาณเอทานอลทั้งหมด (\%v/v)} = [ (A_{585} - B) / M ] \quad (3.3)$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 585 nm

B คือ จุดตัดแกน Y ของกราฟมาตรฐานเอทานอล

M คือ ค่าความชันของกราฟมาตรฐานเอทานอล

## 5.3 การเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในสเปรย์แอลกอฮอล์ตัวอย่าง

หลังจากการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลด้วยวิธีการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือและยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) นำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบเพื่อหาความแตกต่างหรือความสอดคล้องกันของผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธี

## การศึกษาค่าทางการวิเคราะห์

ในการศึกษาค่าทางการวิเคราะห์ จะมีการวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความแม่นยำของการทดสอบ รวมถึงขีดจำกัดการตรวจวัด โดยทำการศึกษาด้วยสองวิธีหลัก ได้แก่ การศึกษาความสามารถในการทำซ้ำ และการศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัด โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 1. ศึกษาความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility)

การทดสอบความสามารถในการทำซ้ำ จะประเมินความแม่นยำของผลการทดลองในการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลจากกราฟมาตรฐานที่สร้างขึ้น โดยการทดสอบนี้จะทำการคำนวณร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Percentage of Relative Standard Deviation, %RSD) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง หากค่า %RSD ต่ำ แสดงถึงความแม่นยำและความสามารถในการทำซ้ำที่สูง ขั้นตอนการคำนวณ %RSD ใช้สูตรสมการที่ 3.4

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100\% \quad (3.4)$$

|       |           |     |                                       |
|-------|-----------|-----|---------------------------------------|
| เมื่อ | %RSD      | คือ | ค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ |
|       | SD        | คือ | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน                  |
|       | $\bar{X}$ | คือ | ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง                |

### 2. ศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of Detection)

การศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) เป็นการประเมินความสามารถของการทดสอบในการตรวจวัดปริมาณเอทานอลในระดับต่ำที่สุดที่สามารถตรวจวัดได้อย่างแม่นยำ ขีดจำกัดการตรวจวัดจะถูกคำนวณโดยใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) ของการวิเคราะห์สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ

ใช้สูตร  $LOD=3SD$  ในการคำนวณ จากนั้น นำค่า LOD ที่คำนวณได้ไปแทนค่าในสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณหาขีดจำกัดการตรวจวัดที่สอดคล้องกับสมการมาตรฐาน (D A Armbruster et al., 1994)

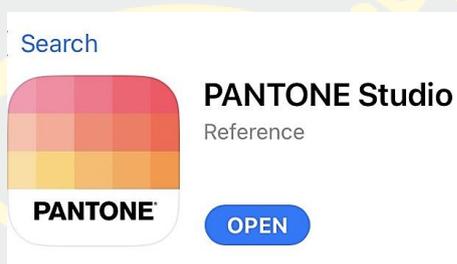
การศึกษาค่าทางการวิเคราะห์เหล่านี้เป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินความสามารถของวิธีการทดสอบ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปร์รี่ แอลกอฮอล์มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ

## การวิเคราะห์ความเข้มสีด้วยแอปพลิเคชัน PANTONE

การวิเคราะห์ความเข้มสีของสารละลายโดยใช้แอปพลิเคชัน PANTONE เป็นวิธีการที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณเอทานอลจากภาพถ่าย ซึ่งค่าความเข้มสีในระบบ RGB ที่วิเคราะห์ได้นี้จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย และต่อมาใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

### 1. การติดตั้งแอปพลิเคชัน PANTONE

ดาวน์โหลดและติดตั้งแอปพลิเคชัน PANTONE จาก App Store ลงบนอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ 20 แอปพลิเคชัน PANTONE



ภาพที่ 21 หน้าแรกของแอปพลิเคชัน PANTONE

## 2. การเลือกภาพเพื่อวิเคราะห์ความเข้มสี

เปิดแอปพลิเคชัน PANTONE และเลือกไปที่หน้าหลักของแอปพลิเคชัน จากนั้นปิดหน้าจอไปทางซ้ายเพื่อเลือกภาพถ่ายจากคลังรูปภาพ (ภาพที่ถ่ายในขั้นตอนการทดลอง)



ภาพที่ 22 การกดเลือกรูปภาพจากคลังรูปภาพ

## 3. การซูมเลือกจุดในภาพถ่าย

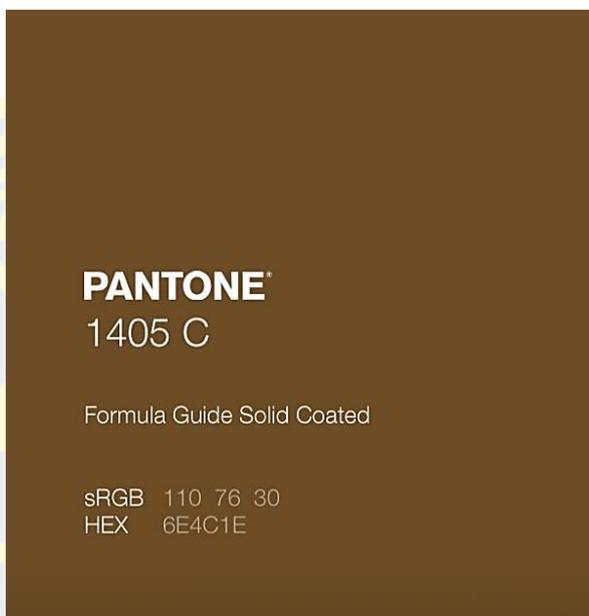
กดเลือกภาพถ่ายที่ต้องการวิเคราะห์ความเข้มสี จากนั้นซูมเลือกจุดในภาพถ่ายทั้งหมด 5 จุด เพื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มสีของสารละลาย



ภาพที่ 23 การซูมจุดบนรูปภาพในการวัดความเข้มสี

#### 4. การวัดค่าความเข้มสี RGB

จุดที่สุ่มเลือกจากภาพถ่าย จะถูกวัดค่าความเข้มสีในระบบ RGB (Red, Green, Blue) โดยแอปพลิเคชัน PANTONE จะอ่านค่าความเข้มสีที่ได้และแสดงเป็นตัวเลขสำหรับแต่ละจุด



ภาพที่ 24 ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มสีของภาพด้วยแอปพลิเคชัน PANTONE

#### 5. การคำนวณค่าการดูดกลืนแสง

นำค่าความเข้มสีที่ได้จากการวัดทั้ง 5 จุดมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย จากนั้นใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้คำนวณค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) โดยใช้สมการที่ 3.1

#### 6. การนำค่าการดูดกลืนแสงมาสร้างกราฟมาตรฐาน

นำค่าการดูดกลืนแสงที่คำนวณได้จากค่าความเข้มสีในระบบ RGB มาสร้างกราฟมาตรฐาน เพื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่วัดได้

#### 7. การวิเคราะห์ผลและการเปรียบเทียบ

คำนวณหาปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างโดยใช้กราฟมาตรฐานที่สร้างขึ้น และเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีการอื่น ๆ เช่น เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) เพื่อหาความแม่นยำและความสอดคล้องของวิธีการ

ขั้นตอนเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์โดยใช้การวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายผ่านแอปพลิเคชัน PANTONE ซึ่งสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว

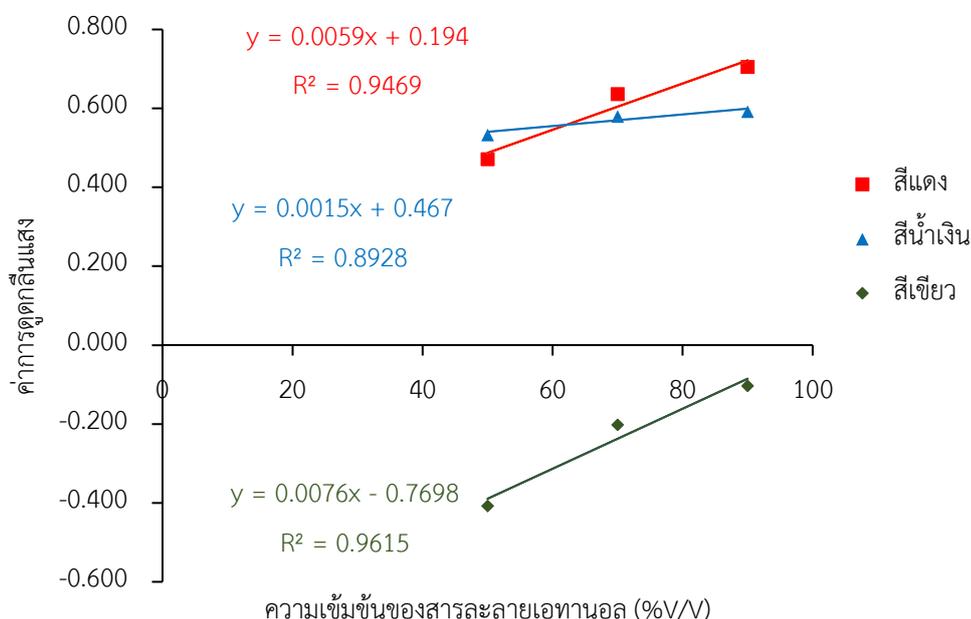
## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปราย

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล โดยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ

#### 1.1 การศึกษาชนิดของ Oxidizing agent ที่เหมาะสม

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบสารออกซิไดส์ (Oxidizing agent) 2 ชนิด ได้แก่ สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) และ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) เพื่อศึกษาสารที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 90%, 70%, และ 50% โดยวิเคราะห์ผลจากการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายที่เกิดขึ้น และคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงจากความเข้มสี ในระบบสี RGB เพื่อนำมาสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการคำนวณปริมาณเอทานอลในตัวอย่าง เมื่อนำสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) ซึ่งเป็นสารละลายที่มีสีม่วง ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานเอทานอล ที่ความเข้มข้น 90%, 70%, และ 50% ตามลำดับ โดยตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปถ่ายภาพในกล่องไฟถ่ายภาพ นำรูปภาพที่ได้มาวิเคราะห์ความเข้มสี RGB โดยใช้แอปพลิเคชัน PANTONE และคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้สมการที่ 3.1 ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 24

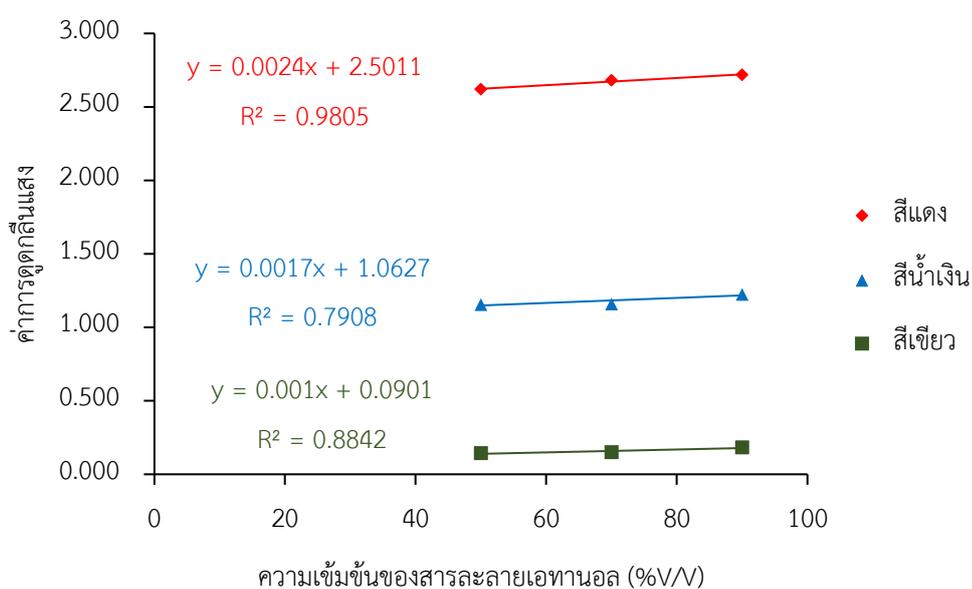


ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลขณะทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ )

จากภาพที่ 25 จะเห็นได้ว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอล กับค่าการดูดกลืนแสงของสีเขียว และสีแดง มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่มากกว่า

ค่าการดูดกลืนแสงของสีน้ำเงิน ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงของสีเขียวมีค่าความชันมากที่สุด และมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.9615 เนื่องจากเมื่อนำสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างกัน ทำปฏิกิริยากับ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) พบว่าความเข้มของสีม่วงจะจางลง สีม่วงของ สารละลายจะสามารถดูดกลืนแสงสีเขียวได้ดีที่สุด ดังข้อมูลในตารางที่ 1 และในปฏิกริยานี้จะเกิด ตะกอนสีน้ำตาลของ  $\text{MnO}_2$  อีกด้วย ซึ่งการวิเคราะห์สีจะทำได้ยากขึ้นเนื่องจากภาพถ่ายที่ได้มาจะมี ทั้งสีม่วงของสารละลายและสีน้ำตาลที่เกิดจากตะกอน ดังนั้นการคำนวณค่าการดูดกลืนแสงจากความ เข้มสีจึงมีคลาดเคลื่อนได้

เมื่อนำสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) เข้มข้น 0.300 M ซึ่งสารละลายมีสี ส้มของ  $\text{Cr}^{6+}$  ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่ความเข้มข้น 90%, 70%, และ 50% ตามลำดับ จากนั้นตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที สารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอมเขียวของ  $\text{Cr}^{3+}$  จากนั้นถ่ายภาพสีของสารละลายในกล่องไฟถ่ายภาพ นำรูปภาพ ที่ได้มาวิเคราะห์ความเข้มสีในระบบสี RGB โดยใช้แอปพลิเคชันPANTONE และคำนวณหาค่าการ ดูดกลืนแสง โดยใช้สมการที่ 3.1 ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอล ขณะทำปฏิกิริยาสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )

จากภาพที่ 26 จะเห็นว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอล กับค่าการดูดกลืนแสงของสีแดง มีค่าความชัน และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่มากกว่า ค่าการดูดกลืนแสงของสีเขียวและสีน้ำเงิน โดยค่าการดูดกลืนแสงของสีแดง มีค่า  $r^2$  เท่ากับ

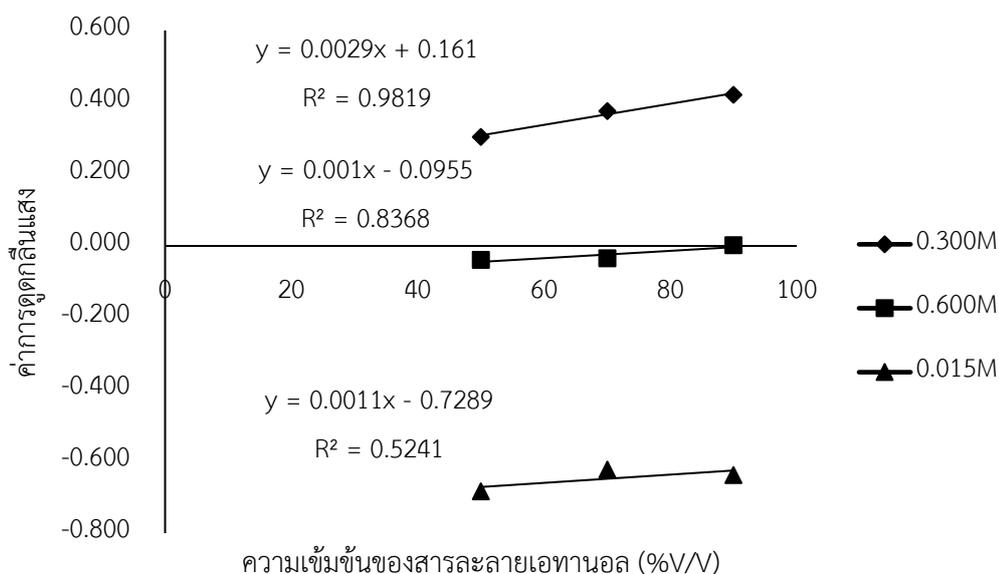
0.9805 เนื่องจากสีเขียวแกมน้ำเงินของสารละลายจะสามารถดูดกลืนแสงสีแดงได้ดีที่สุด ดังข้อมูลในตารางที่ 1

จากการศึกษาชนิดของสารออกซิไดส์ (Oxidizing agent) ที่เหมาะสมในการทดสอบความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอล พบว่าเมื่อนำสารละลายสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานเอทานอล จะได้สารละลายที่มีสีน้ำเงินอมเขียว ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้ความเข้มสี RGB พบว่าความเข้มข้นของเอทานอลและค่าการดูดกลืนแสงของสีแดงมีค่าความชัน และความสัมพันธ์เชิงเส้นดีที่สุด ได้สมการเส้นตรง  $y = 0.0024x + 2.5011$  โดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.9805 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) มาศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายมาตรฐานเอทานอล โดยปรับความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0.150 M, 0.300 M และ 0.600 M ตามลำดับ แล้วนำสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานเอทานอล จากนั้นทำการถ่ายภาพและวิเคราะห์ความเข้มสี RGB แล้วนำไปคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้สมการที่ 3.1 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอล

| ความเข้มข้น<br>ของ<br>$K_2Cr_2O_7$ (M) | เอทานอล<br>(%v/v) | $I_R$ | $I_G$ | $I_B$ | Absorbance<br>ของ<br>ความเข้มสีแดง<br>(R) |
|--|-------------------|-------|-------|-------|---|
| 0.015 M                                | blank             | 193.8 | 96.8  | 27.2  |   |
|  | 50                | 131.4 | 86.4  | 28.4  | -0.638                                    |
|  | 70                | 114.2 | 77.8  | 33.8  | -0.623                                    |
|  | 90                | 118.2 | 81    | 30.4  | -0.684                                    |
| 0.300 M                                | blank             | 193.4 | 102.4 | 25.6  |   |
|  | 50                | 96.2  | 68.6  | 44.6  | 0.303                                     |
|  | 70                | 81.4  | 63.4  | 40.6  | 0.376                                     |
|  | 90                | 73.4  | 58.6  | 39.6  | 0.421                                     |
| 0.600 M                                | blank             | 193.6 | 99.6  | 26.4  |   |
|  | 50                | 109   | 75.4  | 32.6  | 0.002                                     |
|  | 70                | 107.8 | 74.4  | 34.2  | -0.034                                    |
|  | 90                | 99.2  | 68.8  | 41.4  | -0.039                                    |

เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงของสีแดง (R) ของสารละลายที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายมาตรฐานเอทานอล กับสารละลายสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ที่ความเข้มข้น 0.150 M, 0.300 M และ 0.600 M ตามลำดับ มาสร้างกราฟหาความสัมพันธ์เชิงเส้น ได้ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงจากความเข้มสีแดง (R) และความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ขณะทำปฏิกิริยาสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต

จากภาพที่ 27 พบว่ากราฟของสารละลายสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ที่ความเข้มข้น 0.300 M มีความสัมพันธ์เชิงเส้นดีที่สุด โดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.9819 จากผลการศึกษาพบว่าในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) กับสารละลายเอทานอล จะเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารละลายสีส้มของ  $Cr^{6+}$  จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอมเขียวของ  $Cr^{3+}$  ซึ่งจะต้องใช้สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ที่มีความเข้มข้นมากเกินไป จึงจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายเอทานอล 90% ได้พอดี ดังนั้นสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ที่ความเข้มข้น 0.150 M, ซึ่งมีความเข้มข้นที่น้อยเกินไป จึงไม่เหมาะสมในการนำมาทดสอบกับสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูง ในขณะที่สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ที่ความเข้มข้น 0.300 M และ 0.600 M มีความเข้มข้นมากเกินไป ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ที่ความเข้มข้น 0.300 M สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานเอทานอล ได้เหมาะสม เนื่องจากให้ผลการเปลี่ยนแปลงสีและค่าการดูดกลืนแสงที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเข้มข้นของเอทานอล

## 1.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอล

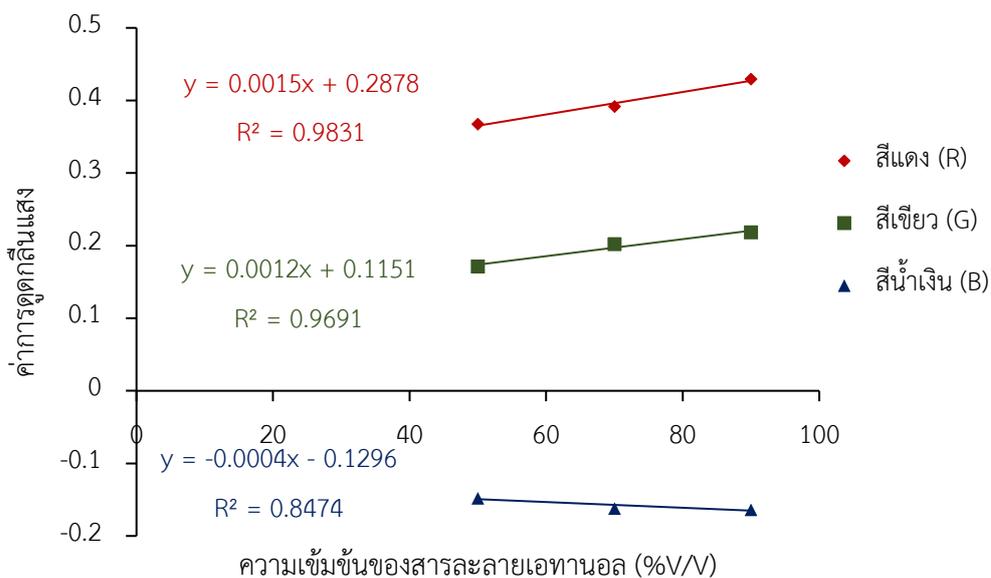
การศึกษานี้ทำเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเอทานอลกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลที่แม่นยำที่สุด การเกิดปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย ซึ่งสามารถวัดได้จากการดูดกลืนแสงที่สอดคล้องกับค่าความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลาย

ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้ทำการถ่ายภาพสารละลายของเอทานอลที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ 50%, 70%, และ 90% ขณะทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ทุก ๆ 30 วินาที ตั้งแต่ 30 วินาทีจนถึง 360 วินาที จากนั้นนำภาพถ่ายไปวิเคราะห์สี RGB โดยใช้แอปพลิเคชัน PANTONE และคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาต่าง ๆ เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอล

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาในเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลเวลาที่ 30 – 360 วินาที

| ความเข้มข้น ethanol | วินาที<br>ค่า Abs. | 30    | 60      | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270   | 300   | 330   | 360   |
|---------------------|--------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                     |                    | 50 %  | Abs (R) | 0.678 | 0.563 | 0.539 | 0.512 | 0.510 | 0.500 | 0.478 | 0.472 | 0.473 | 0.439 |
|                     | Abs (G)            | 0.893 | 0.757   | 0.757 | 0.691 | 0.713 | 0.719 | 0.687 | 0.645 | 0.653 | 0.674 | 0.670 | 0.602 |
|                     | Abs (B)            | 1.044 | 1.235   | 1.485 | 1.568 | 1.545 | 1.659 | 1.523 | 1.680 | 1.742 | 1.404 | 1.742 | 1.758 |
| 70 %                | Abs (R)            | 0.589 | 0.557   | 0.529 | 0.512 | 0.494 | 0.441 | 0.427 | 0.430 | 0.432 | 0.405 | 0.426 | 0.426 |
|                     | Abs (G)            | 0.804 | 0.747   | 0.737 | 0.691 | 0.667 | 0.707 | 0.596 | 0.623 | 0.631 | 0.628 | 0.619 | 0.649 |
|                     | Abs (B)            | 1.243 | 1.295   | 1.402 | 1.568 | 1.712 | 1.492 | 1.773 | 1.484 | 1.553 | 1.449 | 1.586 | 1.742 |
| 90 %                | Abs (R)            | 0.610 | 0.512   | 0.512 | 0.471 | 0.471 | 0.454 | 0.467 | 0.468 | 0.406 | 0.372 | 0.372 | 0.372 |
|                     | Abs (G)            | 0.837 | 0.691   | 0.691 | 0.663 | 0.663 | 0.657 | 0.659 | 0.670 | 0.641 | 0.605 | 0.572 | 0.588 |
|                     | Abs (B)            | 1.118 | 1.568   | 1.568 | 1.629 | 1.629 | 1.576 | 1.727 | 1.672 | 1.386 | 1.456 | 1.547 | 1.500 |

จากตารางที่ 3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เข้มข้น 0.300 M ที่เวลาต่าง ๆ พบว่าที่เวลา 300 วินาที สีของสารละลายเอทานอล ที่ความเข้มข้นต่างกัน มีความเข้มสีของสารละลายแตกต่างกัน เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 300 วินาที ของสารละลายมาตรฐานเอทานอลมาสร้างกราฟมาตรฐาน ดังภาพที่ 28



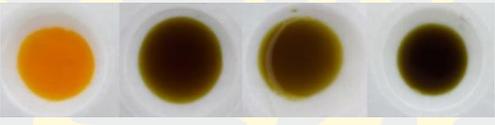
ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ของค่าดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล  
ในการศึกษาที่เวลา 300 วินาที

จากภาพที่ 28 แสดงกราฟของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเอทานอล ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เข้มข้น 0.300 M เมื่อเวลา 300 วินาที พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสีแดงและสีเขียว กับความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นดีที่สุด จากกราฟจะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงของสีแดงและสีเขียวมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.9831 และ 0.9691 ตามลำดับ

### 1.3 การศึกษาภาชนะที่ใช้บรรจุสารละลายที่เหมาะสม

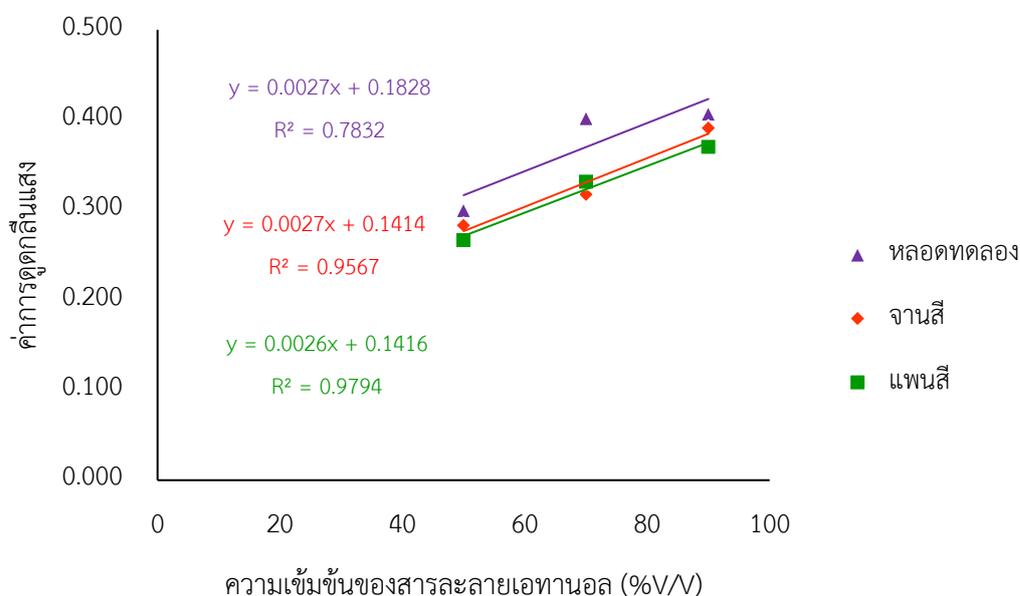
การศึกษาภาชนะที่ใช้บรรจุสารละลายมีผลโดยตรงต่อการวัดค่าความเข้มของสีจากภาพถ่าย เนื่องจากลักษณะของภาชนะที่แตกต่างกันอาจมีผลต่อการสะท้อนหรือดูดกลืนแสง ซึ่งส่งผลกระทบต่อวิเคราะห์สีของสารละลาย เพื่อหาภาชนะที่เหมาะสมที่สุดในการถ่ายภาพและวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ทำการศึกษาภาชนะ 3 ชนิด ได้แก่ หลอดทดลอง (Test Tube), จานสี (Palette), และ แพนสี (Pan) เมื่อสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 50%, 70%, และ 90% ถูกนำมาทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ในภาชนะทั้ง 3 ชนิด แล้วทำการถ่ายภาพ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ความเข้มสี RGB โดยใช้แอปพลิเคชัน PANTONE และคำนวณค่าการดูดกลืนแสงจากสีแดง (R) โดยใช้สมการที่ 3.1 ผลที่ได้จากการถ่ายภาพภายหลังจากปฏิกิริยาเคมีที่ 300 วินาที พบว่าการวัดค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลในภาชนะชนิดต่างๆ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และมีค่า  $r^2$  ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาภาชนะที่ใช้ในการบรรจุสารละลายที่เหมาะสม

| ภาชนะที่ใช้<br>บรรจุ<br>สารละลาย | ภาพถ่าย   | ค่า Abs(R) |       |       | r <sup>2</sup> |
|----------------------------------|---|------------|-------|-------|----------------|
|                                  |   | 50%        | 70%   | 90%   |                |
| หลอด<br>ทดลอง                    |    | 0.300      | 0.402 | 0.407 | 0.7832         |
| จานสี                            |   | 0.283      | 0.317 | 0.391 | 0.9567         |
| แพนสี                            |  | 0.267      | 0.332 | 0.370 | 0.9794         |

จากการทดลองพบว่า ที่ภาชนะหลอดทดลองซึ่งเป็นวัสดุที่ทำจากแก้ว รูปทรงและขนาดของหลอดทดลองมีลักษณะที่เล็ก และยาว เมื่อผสมสารละลายลงไปจะต้องทำการเขย่าเพื่อให้สารผสมกันอย่างทั่วถึง จึงจะทำให้สีของสารละลายสม่ำเสมอ นอกจากนี้ขนาดของหลอดทดลองที่เล็กทำให้ไม่สามารถถ่ายภาพสีของสารละลายได้จากมุมบน จึงต้องถ่ายภาพจากมุมด้านข้างของหลอดทดลอง ซึ่งมีส่วนโค้งบริเวณปลายหลอด ทำให้การตกกระทบของแสงเกิดเงาบนภาพ ในส่วนของภาชนะจานสีซึ่งทำมาจากพลาสติกสีขาวขุ่น หลุมของจานสีเป็นลักษณะครึ่งทรงกลม มีความลึกเล็กน้อย ด้วยลักษณะของภาชนะจานสีทำให้สามารถตั้งกล้องถ่ายภาพสีของสารละลายได้โดยตรงจากมุมด้านบน ภาพที่ได้จะมีแสงสะท้อนจากไฟที่ใช้ในการถ่ายภาพ เนื่องจากบริเวณด้านล่างของภาชนะจานสีมีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลม ไม่ได้แบนราบจึงอาจทำให้เกิดการตกกระทบของแสงที่ไม่สม่ำเสมอได้ ในขณะที่ภาชนะแพนสีมีรูปทรงสี่เหลี่ยม ก้นภาชนะแบนราบ ทำจากพลาสติกสีที่มีความขุ่นเล็กน้อย สามารถมองเห็นสีของสารละลายได้ชัดเจน สามารถถ่ายภาพสีของสารละลายได้จากมุมด้านบน และภาพที่ได้มีความเข้มสีสม่ำเสมอ ไม่เกิดเงาหรือแสงสะท้อนดังภาพในตารางที่ 4

เมื่อเปรียบเทียบกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสีแดง (R) กับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่ ในภาชนะที่บรรจุสารละลายต่างกัน ได้แก่ หลอดทดลอง จานสี และ แพนสี ตามลำดับ จะได้ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ของค่าดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลในการศึกษา ภาชนะที่ใช้ในการบรรจุสารละลายที่เหมาะสม ที่ระยะถ่ายภาพ 15 เซนติเมตร

จากภาพที่ 29 จะเห็นว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอล กับค่าการดูดกลืนแสงของสีแดงจากภาพถ่ายสารละลายในภาชนะแพนสีมีค่าความชัน และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ดีที่สุด โดยมี  $r^2$  เท่ากับ 0.9794

#### 1.4 การศึกษาระยะห่างในการถ่ายภาพด้วยโทรศัพท์มือถือที่เหมาะสม

จากการศึกษาปฏิกิริยาระหว่างสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) กับสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 50%, 70%, และ 90% ตามลำดับ โดยทำการกำหนดระยะห่างจากตำแหน่งที่วางกล้องโทรศัพท์มือถือ จนถึงฐานวางภาชนะที่บรรจุสารละลาย กำหนดระยะห่างในการถ่ายภาพทั้งหมด 4 ระยะ ได้แก่ 11 เซนติเมตร, 15 เซนติเมตร, 19 เซนติเมตร และ 23 เซนติเมตร ตามลำดับ พบว่าค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอล มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยมีค่า  $r^2$  แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาระยะห่างที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยโทรศัพท์มือถือ

| ระยะห่างในการถ่ายภาพ (cm) | ภาพถ่าย   | ค่า Abs(R) |       |       | r <sup>2</sup> |
|---------------------------|---|------------|-------|-------|----------------|
|                           |   | 50%        | 70%   | 90%   |                |
| 11                        |  | 0.259      | 0.344 | 0.360 | 0.8676         |
| 15                        |  | 0.259      | 0.316 | 0.360 | 0.9946         |
| 19                        |  | 0.267      | 0.306 | 0.370 | 0.9806         |
| 23                        |  | 0.259      | 0.322 | 0.360 | 0.9792         |

จากตารางที่ 5 พบว่า ที่ระยะห่างจากตำแหน่งที่วางกล้องโทรศัพท์มือถือ จนถึงฐานวางภาชนะที่บรรจุสารละลาย 15 เซนติเมตร พบว่าภาพถ่ายได้มีความคมชัด และเมื่อนำภาพถ่ายไปวิเคราะห์ความเข้มสีในระบบสี RGB ด้วยแอปพลิเคชัน PANTONE เพื่อคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงและสร้างกราฟมาตรฐาน จะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงของสีแดง (R) ในระบบ RGB ของสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เข้มข้น 0.300 M ที่เวลา 300 วินาที ในภาชนะที่บรรจุสารละลายแพลนสี ที่ระยะ 15 เซนติเมตร มีความสัมพันธ์เชิงเส้น และมีค่า  $r^2$  เข้าใกล้ 1 มากที่สุด โดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.9946

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าระยะ 15 เซนติเมตร ให้ค่าความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดระหว่างการดูดกลืนแสงของสีแดงและความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล ผลที่ได้จากการทดลองนี้ยืนยันว่าระยะห่างดังกล่าวให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุด และถูกเลือกเป็นระยะมาตรฐานสำหรับการถ่ายภาพในงานวิจัยนี้

ข้อดีของการถ่ายภาพที่ระยะ 15 เซนติเมตร

- 1) ความแม่นยำสูง: ระยะห่าง 15 เซนติเมตร ให้ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ดีที่สุดระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลและค่าการดูดกลืนแสง
- 2) ภาพที่คมชัด: การถ่ายภาพในระยะนี้ทำให้ได้ภาพที่คมชัด ไม่มีการกระจายแสงหรือเงาที่อาจรบกวนการวิเคราะห์ความเข้มสี

จากการศึกษาชนิดของสารออกซิไดส์ที่เหมาะสม สรุปได้ว่าสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายเอทานอลได้สารละลายสีน้ำเงิน

อมเขียว ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ 0.300 M และเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ 300 วินาที และจากการศึกษาวิธีการถ่ายภาพสีของสารละลายที่เหมาะสมในวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล ควรเลือกใช้กล้องโทรศัพท์มือถือที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 12 ล้านพิกเซล ภาพถ่ายที่ได้จะมีความคมชัดและมีความละเอียดที่สูง สามารถนำไปวิเคราะห์หาปริมาณได้อย่างแม่นยำ (นันทพร มูลรังษี, 2561) ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการถ่ายภาพโดยใช้กล้องหลังของโทรศัพท์มือถือรุ่น iPhone SE ที่มีความละเอียด 12 ล้านพิกเซล (MP) พร้อมรูรับแสง f/1.8 และมีความละเอียดในการบันทึกภาพวิดีโอสูงสุด 4K ที่ 24, 30 หรือ 60 เฟรมต่อวินาที และถ่ายภาพในกล้องไฟถ่ายภาพที่ติดตั้งหลอดไฟ LED 2 ตำแหน่ง กำลังไฟ 10W และ 50W เพื่อควบคุมแสงที่ใช้ในการถ่ายภาพให้มีความส่องสว่างมากเพียงพอ (Narong Kotchabhakdi, 2019) นอกจากนี้ยังพบว่าภาชนะที่ใช้บรรจุสารละลาย และระยะโฟกัสของภาพมีผลต่อความคมชัดของภาพ (Joel F. Destino and Katie Cunningham, 2020) จากการศึกษาภาชนะและระยะห่างที่เหมาะสมสามารถสรุปได้ว่า ภาชนะแบนสีมีความเหมาะสมในการนำมาใช้บรรจุสารละลายมากที่สุด และที่ระยะห่างในการถ่ายภาพ 15 เซนติเมตร เป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดในการถ่ายภาพสารละลายเอทานอลเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่าง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ

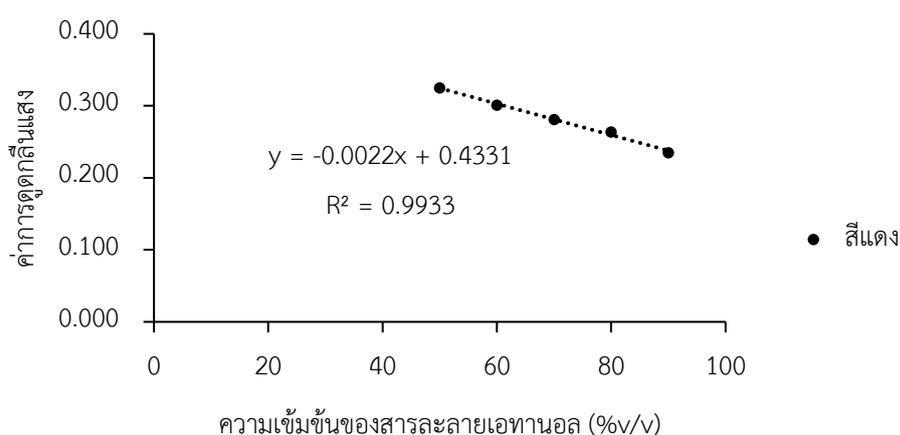
## ตอนที่ 2 การสร้างกราฟมาตรฐานวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล ด้วยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ

การศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล ในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความเข้มสีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ โดยการนำสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับมาทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เข้มข้น 0.300 M ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เปลี่ยน  $Cr^{6+}$  ที่มีสีเหลือง เป็น  $Cr^{3+}$  ที่มีสีเขียว จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 300 วินาที ทำการถ่ายภาพสารละลายที่ได้ด้วยโทรศัพท์มือถือ และทดสอบวิธีการถ่ายภาพโดยการนำสารละลายบรรจุในภาชนะแบนสี ที่ทำมาจากพลาสติก มีลักษณะใสมองเห็นสารละลายด้านในได้ชัดเจน มีรูปทรงสี่เหลี่ยม จากนั้นนำไปวางในกล้องไฟถ่ายภาพ จัดระยะห่างจากเลนส์กล้องถึงภาชนะที่บรรจุสารละลายให้เหมาะสมอยู่ที่ระยะห่างประมาณ 15 เซนติเมตร จากนั้นนำภาพถ่ายไปวิเคราะห์ค่าความเข้มสี RGB โดยผ่านแอปพลิเคชัน PANTONE บนโทรศัพท์มือถือ นำค่าความเข้มสีที่ได้ไปคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้สมการที่ 3.1 ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 6

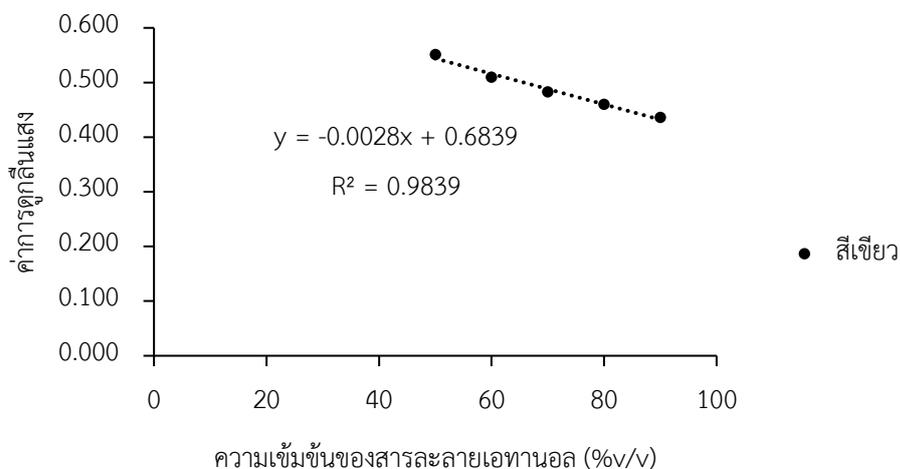
ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลด้วยวิธีการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ โดยใช้แอปพลิเคชัน PANTONE ในการวิเคราะห์ข้อมูล

| ความเข้มข้นของ<br>เอทานอล (%v/v) | ค่าความเข้มสี RGB |                |                | ค่าการดูดกลืนแสง(Abs) |            |              |
|----------------------------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------------|------------|--------------|
|                                  | I <sub>R</sub>    | I <sub>G</sub> | I <sub>B</sub> | สีแดง(R)              | สีเขียว(G) | สีน้ำเงิน(B) |
| 50                               | 63.4              | 51.8           | 96             | 0.325                 | 0.551      | 3.200        |
| 60                               | 58.7              | 47.9           | 68.5           | 0.301                 | 0.510      | 2.284        |
| 70                               | 54.8              | 45.4           | 83.5           | 0.281                 | 0.483      | 2.782        |
| 80                               | 51.5              | 43.2           | 47.8           | 0.264                 | 0.460      | 1.593        |
| 90                               | 45.8              | 41.0           | 38.0           | 0.235                 | 0.436      | 1.267        |

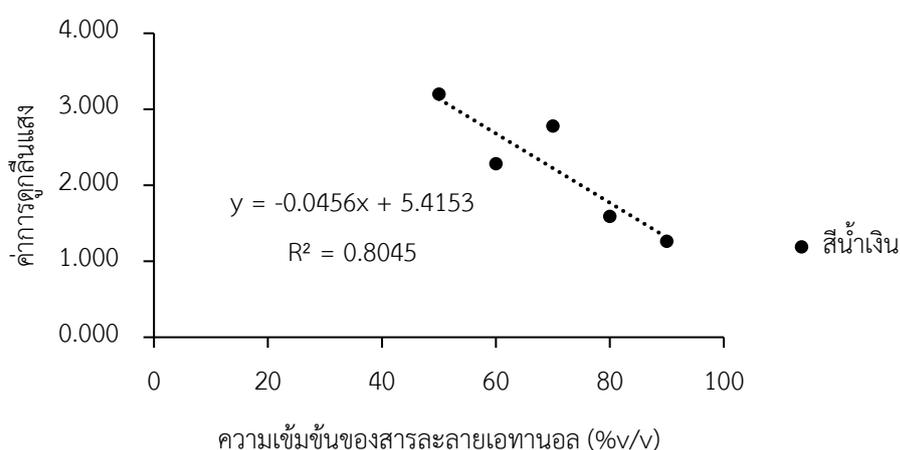
จากข้อมูลใน ตารางที่ 6 เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่วิเคราะห์ได้ ไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอล จะพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสีแดง (R) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลมากที่สุด โดยมีค่า  $r^2$  ใกล้เคียง 1 ซึ่งบ่งบอกถึงความถูกต้องของการวิเคราะห์กราฟมาตรฐานดังกล่าว จะได้กราฟมาตรฐานดังต่อไปนี้



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ของค่าดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของเอทานอลในการศึกษาสีแดง (R)



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ของค่าดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของเอทานอลในการศึกษาสีเขียว (G)



ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ของค่าดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของเอทานอลในการศึกษาสีน้ำเงิน (B)

จากภาพที่ 30, 31 และ 32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลและค่าการดูดกลืนแสงของค่าความเข้มสีในระบบ RGB (สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน) โดยผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละค่าสีและความเข้มข้นของเอทานอล ดังนี้:

ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงจากค่าสีแดง (R) กับความเข้มข้นของเอทานอล พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสูงที่สุด ค่าความชันของกราฟ ( $r^2$ ) เข้าใกล้ 1 มากที่สุด คือ 0.9933 ซึ่งบ่งบอกถึงความแม่นยำในการวิเคราะห์โดยใช้ค่าสีแดง

ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงจากค่าสีเขียว (G) กับความเข้มข้นของเอทานอล พบว่ามีค่าความชันของกราฟต่ำกว่าสีแดง ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ( $r^2$ ) เท่ากับ 0.9839

ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงจากค่าสีน้ำเงิน (B) กับความเข้มข้นของเอทานอล ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสีแดงและสีเขียว โดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.8045 เนื่องจากสีของสารละลายเป็นสีน้ำเงินอมเขียว สีที่ถูกดูดกลืนจึงเป็นสีแดง ดังข้อมูลในตารางที่ 1

จากการศึกษานี้พบว่า ค่าสีแดง (R) เป็นสีที่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเข้มข้นของเอทานอลได้ดีที่สุด จึงถูกเลือกใช้เป็นกราฟมาตรฐานสำหรับการคำนวณหาความเข้มข้นของเอทานอลในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ ซึ่งนำสมการเชิงเส้นตรงของกราฟที่ได้จากค่าสีแดงมาใช้ในการคำนวณ

### ตอนที่ 3 การวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี

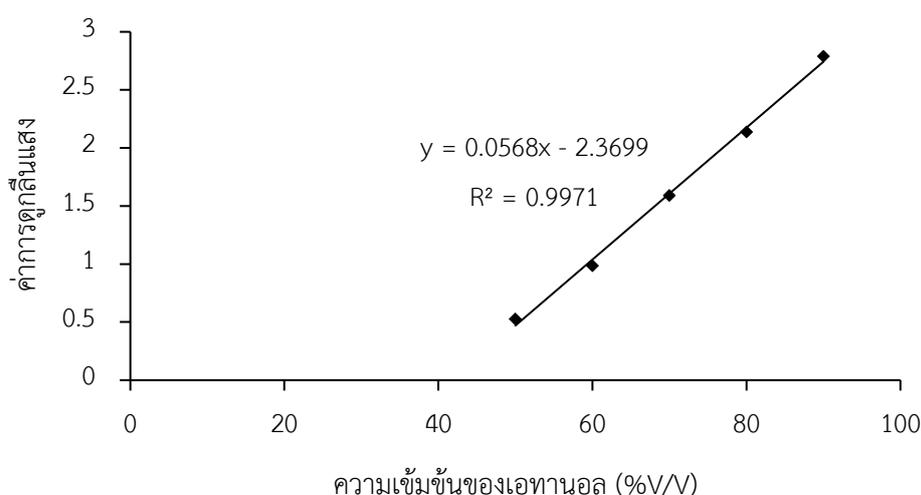
การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ด้วยเทคนิค ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) เป็นวิธีการที่อาศัยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่นเฉพาะเพื่อประเมินความเข้มข้นของเอทานอล โดยกระบวนการนี้เริ่มจากการเตรียมตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตรในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ความเข้มข้น 0.300 M ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเอทานอล หลังจากนั้น เขย่าสารละลายให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 300 วินาทีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

เมื่อปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้ว สารละลายจะถูกนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 585 นาโนเมตร โดยใช้ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่สร้างขึ้นจากสารละลายเอทานอลมาตรฐาน ซึ่งมีความเข้มข้นของเอทานอลในช่วง 50 ถึง 90 (%v/v) ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี

| ความเข้มข้นเอทานอล (%v/v) | ค่าการดูดกลืนแสงที่ 585 nm |
|---------------------------|----------------------------|
| 50                        | 0.52568                    |
| 60                        | 0.98653                    |
| 70                        | 1.58970                    |
| 80                        | 2.13869                    |
| 90                        | 2.78954                    |

จากข้อมูลในตารางที่ 7 เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่วิเคราะห์ได้ ไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอล ได้ดังภาพที่ 32 จากกราฟมาตรฐานที่สร้างขึ้น แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลาย ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ( $r^2$ ) ใกล้เคียงกับ 1 แสดงถึงความแม่นยำสูงของการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี ซึ่งสามารถใช้ในการประเมินปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ได้อย่างเชื่อถือได้



ภาพที่ 33 กราฟมาตรฐานในการหาปริมาณเอทานอลในตัวอย่าง ด้วยวิธีการวิเคราะห์สีด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี

จากภาพที่ 33 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 585 นาโนเมตร กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอล จากกราฟจะพบว่า สัญญาณการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลเพิ่มขึ้น กราฟที่ได้แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ซึ่งค่าความเป็นเชิงเส้นตรงนี้แสดงด้วยค่า  $r^2 = 0.9971$  ซึ่งบ่งชี้ถึงความแม่นยำและความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่งระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกับค่าการดูดกลืนแสง สมการเชิงเส้นตรงที่ได้จากกราฟ คือ  $y=0.0568x-2.3699$  ซึ่งสมการนี้สามารถนำมาใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของเอทานอลในตัวอย่างผลิตภัณฑ์จริงจากค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

#### ตอนที่ 4 การวิเคราะห์ชนิดของแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์

การวิเคราะห์ชนิดของแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์เป็นขั้นตอนสำคัญในการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นการยืนยันว่าตัวอย่างมีแอลกอฮอล์ชนิดใด และมีสารประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องหรือไม่ โดยทำการทดสอบด้วยสารละลาย Ceric Ammonium Nitrate ( $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$ ) การทดสอบด้วยสารละลาย  $\text{HCl}/\text{ZnCl}_2$  (Lucas Test)

และการทดสอบด้วยปฏิกิริยาไอโอดิฟอร์ม (Iodoform Reaction) เพื่อระบุชนิดของแอลกอฮอล์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ได้ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบชนิดของแอลกอฮอล์ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์

| ตัวอย่าง<br>ชนิดของสาร                    | ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ |                       |                       |                       |                       |
|---|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|   | ตัวอย่างที่1  | ตัวอย่างที่2          | ตัวอย่างที่3          | ตัวอย่างที่4          | ตัวอย่างที่5          |
| $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$ | สีแดงเข้ม   | สีส้ม                 | สีแดงเข้ม             | สีน้ำตาลแดง           | สีน้ำตาลแดง           |
| $\text{HCl}/\text{ZnCl}_2$                | ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง                               | ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง | ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง | ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง | ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง |
| ไอโอดีน                                   | ตะกอนสีเหลือง                                       | ตะกอนสีเหลือง         | ตะกอนสีเหลือง         | ตะกอนสีเหลือง         | ตะกอนสีเหลือง         |

จากการวิเคราะห์ชนิดของแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ พบว่าแอลกอฮอล์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ทั้งหมดเป็น เอทานอล ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ชนิดปฐมภูมิ โดยจากผลการทดสอบจะพบว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ทั้ง 5 ชนิดทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$  มีการเปลี่ยนแปลงได้สารละลายที่มีสีส้ม สีแดงเข้ม และสีน้ำตาลอมแดง ซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลจะทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$  ซึ่งเป็นสารละลายสีเหลือง เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีแดง (red complex) จากการทดสอบลูคัส สามารถยืนยันได้ว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ทั้ง 5 ชนิด เป็นแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ เนื่องจากไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังทำปฏิกิริยากับ  $\text{HCl}/\text{ZnCl}_2$  นอกจากนี้ผลการทดสอบปฏิกิริยาไอโอดิฟอร์ม โดยใช้สารละลาย  $\text{I}_2/\text{NaOH}$  พบว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ทั้ง 5 ชนิด เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยมีตะกอนสีเหลืองเกิดขึ้น แสดงว่าในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์มีเอทานอลเป็นส่วนประกอบ

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NMR สามารถยืนยันได้ว่าโครงสร้างของสารที่พบในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ทุกตัวอย่าง คือ เอทานอล และในตัวอย่างที่ 3 และ 5 มีไอโซโพรพานอลผสมอยู่ในปริมาณที่น้อยกว่า 1%

#### ตอนที่ 5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์

จากการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล ในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความเข้มข้นสีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ และเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) ได้ข้อมูลดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์

| ตัวอย่าง | โทรศัพท์มือถือ  |      | เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี |      |
|----------|-----------------|------|--------------------------------------|------|
|          | ค่าเฉลี่ย       | %RSD | ค่าเฉลี่ย                            | %RSD |
|          | สารละลายเอทานอล |      | สารละลายเอทานอล                      |      |
| 1        | 73.38 ± 1.10    | 1.50 | 73.06 ± 1.07                         | 1.47 |
| 2        | 68.06 ± 1.51    | 2.22 | 67.03 ± 1.20                         | 1.80 |
| 3        | 65.53 ± 2.71    | 4.15 | 65.70 ± 2.02                         | 3.07 |
| 4        | 71.58 ± 1.50    | 2.10 | 72.90 ± 1.65                         | 2.27 |
| 5        | 71.60 ± 1.21    | 1.69 | 72.98 ± 1.18                         | 1.63 |

จากการศึกษาผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสเปรย์แอลกอฮอล์ด้วยการใช้ วิธีวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี แสดงความสอดคล้องกันในระดับสูง โดยค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้จากทั้งสองวิธีมีความใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง แต่พบว่าตัวอย่างที่ 2 และ 3 มีค่าความเข้มข้นของเอทานอลต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ เนื่องจากเอทานอลมีคุณสมบัติที่ระเหยได้ง่าย เมื่อตัวอย่างผลิตภัณฑ์มีการเปิดใช้งานหรือสภาพของบรรจุภัณฑ์ไม่สมบูรณ์ ทำให้เอทานอลสามารถระเหยออกได้ หรือในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์อาจจะมีปริมาณความเข้มข้นของเอทานอลต่ำกว่า 70% รวมทั้งอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนของการทดลองเนื่องจาก %RSD ของตัวอย่างที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองในตัวอย่างทั้งหมด จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความเข้มข้นของเอทานอลที่ต่ำกว่า 70% ซึ่งเป็นความเข้มข้นของเอทานอลที่ไม่สามารถนำไปใช้ในการฆ่าเชื้อได้

จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้งสองวิธีแสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์ด้วยโทรศัพท์มือถือสามารถให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรีแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่วัดได้จากทั้งสองวิธีมีความใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำและประสิทธิภาพของการใช้โทรศัพท์มือถือในการวิเคราะห์สารละลายเบื้องต้นสอดคล้องกับการศึกษาของ (Priya Yadav et al., 2022)

### ผลการศึกษาค่าทหาการวิเคราะห์

จากการศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลในสเปร์ย์แอลกอฮอล์ โดยการวิเคราะห์ความเข้มข้นจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ ซึ่งได้ทำการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง ในช่วงความเข้มข้นของเอทานอล 50 – 90 %v/v การหาค่าขีดจำกัดในตรวจวัด (LOD) และศึกษาความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) ด้วยการคำนวณหาร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) พบว่า ช่วงความเป็นเส้นตรงจากค่าการดูดกลืนแสงของสีแดง (R) ได้สมการแนวเส้นกราฟมาตรฐานคือ  $y = -0.0022x + 0.43331$  มีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.9933 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.0083 มีค่าขีดจำกัดในการตรวจวัดเพื่อหาความเข้มข้นต่ำที่สุด (LOD) เท่ากับ 39.58 %v/v และมีร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) น้อยกว่า 10% แสดงว่าการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลด้วยวิธีการวิเคราะห์ความเข้มข้นจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ สามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดเอทานอลในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปร์ย์แอลกอฮอล์ได้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในสเปรย์แอลกอฮอล์โดยการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายกล้องโทรศัพท์มือถือ” มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการที่สะดวกและสามารถใช้ได้จริงในการวัดปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ที่มีจำหน่ายทั่วไป โดยใช้เทคโนโลยีที่ง่ายต่อการเข้าถึงอย่างสมาร์ทโฟนร่วมกับการวิเคราะห์ค่าสีผ่านแอปพลิเคชัน PANTONE

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์สเปรย์แอลกอฮอล์ 5 ตัวอย่าง โดยใช้การวิเคราะห์ความเข้มสีจากภาพถ่ายที่ได้จากกล้องโทรศัพท์มือถือ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลด้วยวิธีการนี้ให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometry) โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสีแดง ในระบบสี RGB และความเข้มข้นของเอทานอล โดยมีค่า  $r^2 = 0.9933$  ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำของวิธีการนี้ ระบบสี RGB ถูกเลือกใช้เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์ดิจิทัล เช่น กล้องสมาร์ทโฟน ซึ่งสามารถจับค่าสีได้อย่างแม่นยำ การเลือกใช้สีแดง (R) สำหรับการวิเคราะห์เกิดจากการที่สีแดงแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเข้มข้นของเอทานอลได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสีอื่น ๆ ทำให้กราฟมาตรฐานมีความเสถียรและแม่นยำมากขึ้น การทดลองยังได้ศึกษาและเปรียบเทียบชนิดของสารออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) และพบว่าโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เป็นสารที่เหมาะสมในการใช้วิเคราะห์ปริมาณเอทานอล เนื่องจากให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ชัดเจนและมีความแม่นยำสูงในการวิเคราะห์ ส่วนการใช้ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) พบว่าผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำน้อยกว่าเนื่องจากเกิดการฟอกจางสีเร็วกว่า และพบว่าตะกอนสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นมีผลต่อการวิเคราะห์สีจากภาพถ่าย ในการศึกษาภาชนะที่ใช้บรรจุสารละลายและระยะเวลาในการถ่ายภาพที่เหมาะสม พบว่าภาชนะประเภท แพนสี และการถ่ายภาพในระยะ 15 เซนติเมตร ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์ความเข้มของสี นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลอยู่ที่ 300 วินาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ปฏิกิริยาเกิดการเปลี่ยนแปลงสีได้ชัดเจน สำหรับค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด (LOD) ของวิธีนี้อยู่ที่ 39.58 %v/v ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการตรวจจับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเอทานอลต่ำกว่ามาตรฐานขั้นต่ำ 70 %v/v ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลด้วยโทรศัพท์มือถือมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ความสะดวกและความประหยัด โทรศัพท์มือถือเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้งานอยู่ทั่วไป ทำให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลได้ในสถานที่ต่าง ๆ โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ราคาแพง เช่น สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ อีกทั้งวิธีนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์และปรับใช้ในการเรียนการสอนในห้องเรียน โดยเฉพาะในโรงเรียนที่มีข้อจำกัด

ด้านอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ แม้ว่าวิธีการวิเคราะห์นี้จะมีข้อดีหลายประการ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น การถ่ายภาพภายใต้สภาวะที่แสงไม่คงที่อาจทำให้ค่าความเข้มสีแตกต่างกันไป วิธีนี้ยังคงต้องพึ่งพาสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ เช่น กล้องไฟที่ควบคุมการถ่ายภาพ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เที่ยงตรงมากที่สุด นอกจากนี้ ระยะห่างระหว่างกล้องและสารละลายยังส่งผลต่อค่าการวัด ทำให้จำเป็นต้องศึกษาค่ามาตรฐานระยะที่เหมาะสมในการถ่ายภาพอีกครั้ง

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยใช้โทรศัพท์มือถือนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาได้อย่างง่ายดาย เนื่องจากเป็นวิธีที่เข้าถึงง่ายและไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อนหรือมีราคาแพง ทำให้นักเรียนสามารถเรียนรู้กระบวนการวิเคราะห์ทางเคมีได้โดยใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ยังช่วยให้นักเรียนได้ฝึกการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการวัดสีด้วยกล้องโทรศัพท์ ซึ่งเป็นการบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับการเรียนการสอน นักเรียนสามารถฝึกการสร้างกราฟมาตรฐานและคำนวณหาค่าความเข้มข้นของเอทานอลในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำให้เกิดความเข้าใจในหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น

นอกจากนี้ การนำวิธีการนี้ไปใช้ในห้องปฏิบัติการยังช่วยลดต้นทุนในการซื้ออุปกรณ์วิเคราะห์ราคาแพง เช่น เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งอาจไม่สามารถใช้ได้ในทุกโรงเรียน โดยวิธีการนี้ยังสามารถออกแบบให้เป็นกิจกรรมในชั้นเรียนเพื่อเสริมสร้างการเรียนรู้เชิงปฏิบัติได้ นักเรียนสามารถทดลองทำซ้ำภายใต้สภาวะแสงต่าง ๆ และวิเคราะห์ข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น ทำให้พวกเขาได้ฝึกทักษะทางวิทยาศาสตร์ที่สำคัญ เช่น การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ผล และการวิจารณ์เชิงวิทยาศาสตร์

#### ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดสอบกับโทรศัพท์มือถือรุ่นต่าง ๆ เพื่อประเมินความแม่นยำและใช้ manual focus หรือเลนส์มาโครเพื่อเพิ่มความคมชัด การควบคุมแสงด้วยฟังก์ชัน exposure จะช่วยลดความคลาดเคลื่อน ควรกำหนดโปรโตคอลมาตรฐานในการถ่ายภาพเพื่อความสม่ำเสมอ และใช้แอปพลิเคชันเฉพาะสำหรับวิเคราะห์สีเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณ
2. การทดลองอาจขยายขอบเขตเพื่อทดสอบความแม่นยำของวิธีการนี้กับสารประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์
3. การควบคุมสภาพแวดล้อมในการถ่ายภาพควรมีการปรับปรุงเพิ่มเติม เช่น การใช้กล่องควบคุมแสงเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่เสถียรมากขึ้น
4. ส่งเสริมการนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนในโรงเรียนและมหาวิทยาลัย เพื่อให้นักเรียนได้ทดลองวิธีการวิเคราะห์ที่ง่ายและสามารถใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ทั่วไป

## บรรณานุกรม

Basic structure of spectrophotometers. (2023, February 13). *Spectrophotometry*.

<https://chem.libretexts.org/@go/page/1431>

D A Armbruster, M D Tillman, and L M Hubbs. (1994). Limit Of Detection (Lqd)/Limit Of Quantitation (Loq): Comparison Of The Empirical And The Statistical Methods Exemplified With Gc-Ms Assays Of Abused Drugs *Clinical Chemistry*, 40(7), 1233-1238. <https://doi.org/10.1093/clinchem/40.7.1233>

Do Minh-Huy, Le-Thi Anh-Dao, Nguyen Thanh-Nho, Le Nhon-Duc, and Nguyen Cong-Hau. (2023). Smartphone-based digital images as a low-cost and simple colorimetric approach for the assessment of total phenolic contents in several specific Vietnamese dried tea products and their liquors. *Food Chemistry* 401. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134147>

Doreen Becker. (2016). Color Measurement. In *Color Trends And Selection For Product Design* (pp. 179-182). William Andrew. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-04227-X>

Edgar P. Moraes, Mario R. Confessor, and Luiz H. S. Gasparotto. (2015). Integrating Mobile Phones into Science Teaching to Help Students Develop a Procedure to Evaluate the Corrosion Rate of Iron in Simulated Seawater. *Journal of Chemical Education*, 92(10), 1696-1699. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00274>

Electronic transitions and UV-visible spectra in molecules. *The Basics of UV-Vis Spectrophotometry*. <https://airekasci.com/the-basics-of-uv-vis-spectrophotometry/>

Electronic transitions in formaldehyde. <https://airekasci.com/the-basics-of-uv-vis-spectrophotometry/>

Eric Kehoe, and R Lee Penn. (2013). Introducing Colorimetric Analysis With Camera Phones And Digital Cameras: An Activity For High School Or General Chemistry. *Journal Of Chemical Education* 90(9), 1191-1195.

<https://doi.org/10.1021/ed300567p>

Incident light of a specific wavelength causes excitation of electrons in an atom.

<https://airekasci.com/the-basics-of-uv-vis-spectrophotometry/>

Ivan Klement, Tatiana Vilkovská, Miroslav Uhrin, Jacek Baranski, and Aleksandra Konopka. (2019). Impact Of High Temperature Drying Process On Beech Woodcontaining Tension Wood. *The Journal Open Engineering*, 9, 428-433.

<https://doi.org/10.1515/eng-2019-0047>

Joel F. Destino, and Katie Cunningham. (2020). At-Home Colorimetric and Absorbance-Based Analyses: An Opportunity for Inquiry-Based, Laboratory-Style Learning. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 2960-2966.

<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00604>

Lawrie Ryan. (2559). Advanced Chemistry For You [เคมีขั้นสูง] (ดร.เรวัต ตันตยานนท์, ศุภวัลย์ ตันวรรณรักษ์, & อรณัฐ โชคชัยเจริญพร, ผู้แปล.; พิมพ์ครั้งที่ 1.). นานมีบุ๊คส์.

Narong Kotchabhakdi. (2019). Using A Smart Phone Camera As A Color Detector For Ethanol Estimation Based On Time Analysis In Mixed Alcoholic Drinks. *Science Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal*, 11(14), 77-86.

NCERT. (2018). Tests for Functional Groups in Organic Compounds. In Language of book for class 12 (Ed.), *Chemistry Lab Manual* (pp. 86-90). NCERT Lab.

Neelamraju, P. M., and Pothapragada, P. (2022). Image Processing and Clustering Algorithms for Forest Cover Quantification. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH IN ENGINEERING & TECHNOLOGY*, 13(6), 12-20.

Nuntaporn Moonrungsee, Somkid Pencharee, and Jaron Jakmune. (2015). Colorimetric Analyzer Based On Mobile Phone Camera For Determination Of Available Phosphorus In Soil. *Talanta*, 136, 204-209.

<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.01.024>

Oswald Cook. (2015). Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy Structure Determination. <http://slideplayer.com/slide/6504892>

Pesce A J, Frings C S, and Gauldie J. (1996). Spectral Techniques. In *A Journal Author Clinical chemistry: Theory, analysis, and correlation* (Third edition ed., pp. 83-105).

Priya Yadav, Harshita Laddha, Madhu Agarwal, and Ragini Gupta. (2022). Fun With Smartphones: Handy Solution For Quantification Of Debilitating Fluoride Ions In Drinking Water. *Journal of Chemical Education*, 99(7), 2677-2683.  
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00216>

Schubert, A., Pifer, L., Cheng, J., Mcelmurry, S., Kerkez, B., and Love, N. (2022). An Automated Toolchain for Camera-Enabled Sensing of Drinking Water Chlorine Residual. *ACS ES&T Engineering*, 2(9), 1697-1708.  
<https://doi.org/10.1021/acsestengg.2c00073>

The electromagnetic spectrum with the visible light section expanded.  
<https://airekasci.com/the-basics-of-uv-vis-spectrophotometry/>

V. Laxmanan. (2014). LIGHT QUANTA AND THE FREQUENCY OF LIGHT.  
[https://www.researchgate.net/publication/260989124\\_LIGHT\\_QUANTA\\_AND\\_THE\\_FREQUENY\\_OF\\_LIGHT](https://www.researchgate.net/publication/260989124_LIGHT_QUANTA_AND_THE_FREQUENY_OF_LIGHT)

ชนิษฐา ศรีบุรินทร์, และ อภิญญา นวคุณ. (2562). การศึกษาการเตรียมตัวอย่างสำหรับหาปริมาณเอทานอลด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี [เอกสารนำเสนอ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

ณัฐกร อินทรวิชะ. (2563). ประสิทธิภาพการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยโปรแกรม Shoebox Spectrophotometer ที่ทำงานบนสมาร์ตโฟนในการวัดปริมาณฟอสฟอรัสในดินโดยวิธีทำให้เกิดสีด้วยโมลิบดีนัมบลู. *วารสารวิชาการเกษตร*, 38(2), 150-160.

ชนกร ศิริสมุทร. (2564). พิษวิทยาของเอซิลแอลกอฮอล์และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์. *วารสารเภสัชกรรมโรงพยาบาล*, 31(1), 14-23.

นันทน์ภัส ธิติศักดิ์สกุล, ไชยวัฒน์ ปาเชนทร์, ชาคร บำรุงกิจ, และ นิภัทร เปี่ยมอรุณ. (2561). อุปกรณ์อย่างง่ายที่ใช้กล้องสมาร์ตโฟนสำหรับการหาปริมาณกรดซาลิไซลิกในอาหาร ยา และเครื่องสำอาง. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 28(3), 639-648.

<https://doi.org/10.14416/j.kmutnb.2018.03.001>

นันทน์ภัส ชาติศักดิ์สกุล, สุโรจน์ แพงมา, อิศริย์ พลละสินธุ์เดชา, ภูวนาท หมั่นไธสง, รพี จรุงศิริวัฒน์, สุภาวดี ดาวดี, และ เทศศิริ, ธ. (2564). การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบจากจังหวัดขอนแก่น. วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน, 17(3), 59-73.

ประภาพรรณ เตชะเสาวภาคย์, และ สรวงสุดา สุประภากร. (2539). การวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์โดยเทคนิคเฮตสเปส. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 4(2), 19-29.

เมณะกา วิวน, และ วงเดือน นาคนิยม. (2563). การทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์ที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบ เพื่อสุขอนามัยสำหรับมือด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 62(3), 268-280.

ประกาศ สธ. เรื่อง กำหนดลักษณะของเครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์เพื่อสุขอนามัยสำหรับมือ ที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือขาย. (9 มีนาคม 2563). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 137 ตอนพิเศษ 54 ง, หน้า 6



## ประวัติย่อของผู้วิจัย

|                           |  |
|---------------------------|--|
| ชื่อ-สกุล                 | นางสาวเมทินี เมฆทนต์   |
| วัน เดือน ปี เกิด         | 1 เมษายน 2536  |
| สถานที่เกิด               | จังหวัดชุมพร   |
| สถานที่อยู่ปัจจุบัน       | 392 หมู่2 ต.พลวงทอง อ.บ่อทอง จ.ชลบุรี 20270  |
| ตำแหน่งและประวัติการทำงาน | ข้าราชการครู โรงเรียนสวนป่าเขาชะอางค์ ตำบลพลวงทอง อำเภอบ่อทอง จังหวัดชลบุรี                                |
| ประวัติการศึกษา           | วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี วิชาเอกวิทยาศาสตร์-เคมี คณะวิทยาศาสตร์ (กศ.บ.วิทยาศาสตร์เคมี) มหาวิทยาลัยทักษิณ |

