Thai Science and Technology Journal
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Journal Homepage : http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj



การพัฒนาเครื่องตรวจวัดค่าสีราคาประหยัดสำหรับการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในตัวอย่างน้ำ

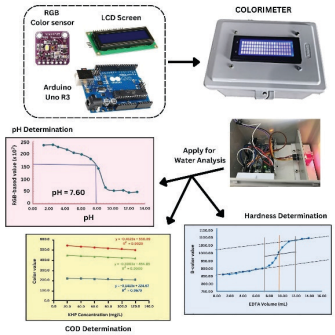
The Development of Economic Colorimeter for the Analysis of Parameters in Water Samples

สราวุฒิ สมนาม, มิกิ กัณณะ*
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180

Sarawut Somnam, Miki Kanna*
Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50180

Received 20 September 2024; Received in revised 12 December 2024; Accepted 19 December 2024

GRAPHICAL ABSTRACT



ABSTRACT

An economical colorimeter was developed to monitor water quality. The color measurement was performed using a TCS34725 color sensor, which was controlled by an Arduino UNO R3 microcontroller. The sensor provided red, green, and blue (RGB) color intensity values, which could be displayed on both the colorimeter's LCD screen and a computer monitor. The device was compact in size (10.0 x 15.0 x 10.3 cm) and could be powered either by AC electricity or via a USB port connected to a computer. The developed colorimeter was employed to assess water quality parameters, i.e., pH, hardness, and chemical oxygen demand (COD), based on colorimetric methods. The analytical results for each parameter corresponded to the standard method when compared by a paired t-test at a 95% confidence level. The colorimeter demonstrated high precision in color detection, with a relative standard deviation (%RSD) of less than 5.0% by consuming the solution 3.0 ml per detection.

คำสำคัญ

เครื่องวัดสี;
ไมโครคอนโทรลเลอร์;
เซ็นเซอร์วัดสี;
ระบบสี RGB;
ตัวอย่างน้ำ

Keywords

Colorimeter;
Microcontroller;
Color sensor;
RGB color system;
Water sample

บทคัดย่อ

เครื่องวัดสีราคาประหยัดได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยมีจุดประสงค์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำ การวัดสีดำเนินการด้วยเซ็นเซอร์วัดสี TCS34725 ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 เซ็นเซอร์รายงานค่าน้ำหนักสีแดง เขียว และน้ำเงิน ในระบบสี RGB ซึ่งแสดงค่าตัวเลขได้ทั้งบนหน้าจอ LCD ของเครื่องวัดสีและหน้าจอคอมพิวเตอร์ เครื่องวัดสีมีขนาดกะทัดรัด (10.0 x 15.0 x 10.3 cm) และใช้พลังงานได้ทั้งจากไฟฟ้ากระแสสลับ และจากคอมพิวเตอร์ผ่านทางสาย USB เครื่องวัดสีที่พัฒนาขึ้นถูกนำไปใช้ประเมินบางพารามิเตอร์ในตัวอย่างน้ำ ได้แก่ pH ความกระด้าง และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) โดยอาศัยวิธีการทำให้เกิดสี ผลการวิเคราะห์ที่ได้ของแต่ละพารามิเตอร์สอดคล้องกับวิธีมาตรฐานเมื่อเปรียบเทียบด้วย paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เครื่องวัดสีแสดงความเที่ยงตรงสูงในการวัดค่าสี (%RSD น้อยกว่า 5.0) โดยใช้สารละลาย 3.0 ml ต่อการวัด 1 ครั้ง

***ผู้รับผิดชอบบทความ:** miki_kan@cmru.ac.th

DOI: 10.14456/tstj.2025.19

1. บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทั้งมวล น้ำมีประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ทั้งในด้านการอุปโภคบริโภค ด้านเกษตรกรรม น้ำที่มนุษย์ใช้ดื่มต้องบริสุทธิ์ สะอาด ปราศจากเชื้อโรคและสารพิษเจือปน อย่างไรก็ตาม ปัญหาการเกิดมลพิษทางน้ำยิ่งทวีคูณความรุนแรงขึ้นทุกขณะ ซึ่งสาเหตุหลัก ๆ ที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการเน่าเสียได้เองเมื่ออยู่ในภาวะที่ขาดออกซิเจน การเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของแพลงค์ตอน [1] น้ำทิ้งและสิ่งปฏิกูลจากแหล่งชุมชน การเกษตร ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม [2] ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพน้ำตามแหล่งน้ำต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอจึงช่วยให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดกับแหล่งน้ำแต่เนิ่น ๆ และสามารถแก้ปัญหาได้อย่างทันท่วงที

การตรวจวัดค่า pH เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่นิยมใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น เนื่องจากตรวจวัดได้ง่าย การวัดค่า pH สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การเทียบสีโดยใช้อินดิเคเตอร์หรือกระดาษวัดค่า pH แม้วิธีดังกล่าว สะดวกรวดเร็ว แต่ค่าที่วัดได้เป็นค่าตัวเลขไม่ละเอียดเหมือนการใช้เครื่องวัด pH (pH meter) ซึ่งอาศัยการวัดความต่างศักย์ (Potential) ที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference electrode) กับอิเล็กโทรดตรวจวัด (Sensing electrode) โดยแปรผันตามปริมาณของไฮโดรเจนอิออน (H^+) อย่างไรก็ตามผู้ใช้งานจำเป็นต้องสอบเทียบเครื่องก่อน และต้องคำนึงถึงการเก็บรักษาอิเล็กโทรดหลังใช้งานอย่างถูกต้อง [3]

ความกระด้าง (Hardness) เป็นอีกพารามิเตอร์ที่บ่งชี้คุณภาพน้ำได้ การวิเคราะห์ความกระด้างของน้ำทำได้โดยวิธีการไทเทรตแบบเกิดสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ค่อนข้างใส ไม่มีสี และตะกอน โดยจะมีการปรับสภาวะ pH ของตัวอย่างน้ำให้มีค่า 10 ± 0.1 ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ จากนั้นเติมอินดิเคเตอร์ Eriochrome black T หรือ Calmagite และไทเทรตด้วย Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) อย่างไรก็ตามเทคนิคการไทเทรตมักใช้สารในปริมาณมาก และอาจเกิดความคลาดเคลื่อนในการสังเกตสีที่จุดยุติด้วยตาเปล่าได้ [4]

ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical oxygen demand ; COD) เป็นพารามิเตอร์ทางเคมีที่สำคัญที่ใช้วัดคุณภาพของน้ำ สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำได้ทุกชนิด ในการวิเคราะห์ค่า COD ในปฏิกิริยาการออกซิเดชันสารอินทรีย์จะต้องใช้ตัวออกซิไดซ์ที่แรงพอซึ่งมีสารหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้คือการออกซิไดซ์ด้วยโพแทสเซียมไดโครเมต [5] เนื่องจากเป็นสารเคมีที่มีราคาไม่แพงมากนัก สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ได้หลายชนิดจนเกือบสมบูรณ์ อีกทั้งวิธีการวัดปริมาณไดโครเมตที่เกินพอสามารถทำได้ง่ายและให้ผลที่แน่นอน โดยอาศัยหลักการว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดสามารถที่จะถูกออกซิไดซ์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด วิธีการวิเคราะห์ที่เป็นวิธีมาตรฐานมี 3 วิธีคือ วิธีการรีฟลักซ์แบบเปิดโดยการไทเทรต (Open reflux, Titrimetric method) วิธีการรีฟลักซ์แบบปิดโดยการไทเทรต (Close reflux, Titrimetric method) และวิธีการรีฟลักซ์แบบปิดโดยการวัดสี (Close reflux, Colorimetric method) แม้ว่าการวัดสีของสารละลายโดยใช้เครื่องสเปคโทรโฟโตมิเตอร์ หลังกระบวนการรีฟลักซ์จะให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำและใช้สารเคมีน้อยกว่าไทเทรต แต่เครื่องมือดังกล่าวมีราคาแพงและมีขนาดใหญ่ไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย รวมถึงมีฟังก์ชันและขั้นตอนการใช้งานซับซ้อนเกินความจำเป็น

จะเห็นได้ว่าการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับการบ่งชี้คุณภาพน้ำ ใช้เทคนิควิธีการหรือเครื่องมือที่ต่างกันไป ในงานวิจัยนี้ จึงได้นำเสนอการพัฒนาเครื่องวัดสี (Colorimeter) ที่ประหยัดและใช้งานง่ายสำหรับการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการบ่งชี้คุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่า pH ความกระด้าง และค่า COD โดยอาศัยการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายขณะตรวจวัดแต่ละพารามิเตอร์

Science33-N3.indd 29 7/7/2568 BE 10:24

เครื่องวัดสีดังกล่าวอาศัยเซ็นเซอร์วัดสี TCS34725 ในการตรวจวัดค่าสีแดง เขียว และน้ำเงิน ในระบบสี RGB แต่ละค่าสีมีน้ำหนักสี 2^8 บิต หรือ 256 ค่า ดังนั้นจึงสามารถผสมสีได้เท่ากับ $2^8 \times 2^8 \times 2^8$ = 16,777,216 สี ซึ่งทำให้ได้ความละเอียดของสีที่สูงมาก และเหมาะสมต่อการตรวจวัด โดยในงานวิจัยนี้จะนิยามค่าผลคูณค่าสี RGB ว่าค่า RGB-based value [6] เซ็นเซอร์วัดสีถูกควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 ซึ่งรับค่าสีและส่งไปแสดงผลได้บนจอ LCD ของตัวเครื่อง ผู้ใช้งานสามารถนำค่าสีที่ได้มาประมวลผลเพื่อวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์ต่อไป จึงเป็นความสะดวกต่อการใช้งานในการใช้เครื่องวัดสีเพียงเครื่องเดียวสำหรับการตรวจสอบพารามิเตอร์ได้หลายชนิด โดยใช้สารเคมีเล็กน้อย และเครื่องมีน้ำหนักเบาสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบและประกอบเครื่องวัดสี

เครื่องวัดสีถูกประกอบขึ้นโดยใช้กล่องกันน้ำพลาสติกขนาด 10.0×15.0×10.3 cm ซึ่งใช้สำหรับใส่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาดัดแปลง โดยบรรจุไมโครคอลโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 เซ็นเซอร์วัดสี TCS34725 และคิวเวตต์พลาสติกสำหรับบรรจุสารละลาย ดัง Figure 1 ชุดคำสั่งถูกป้อนแก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม Arduino IDE โดยใช้ภาษา C เครื่องวัดสีใช้พลังงานได้ทั้งจากไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการเสียบอะแดปเตอร์ หรือผ่านทางสาย USB ที่ต่อจากคอมพิวเตอร์

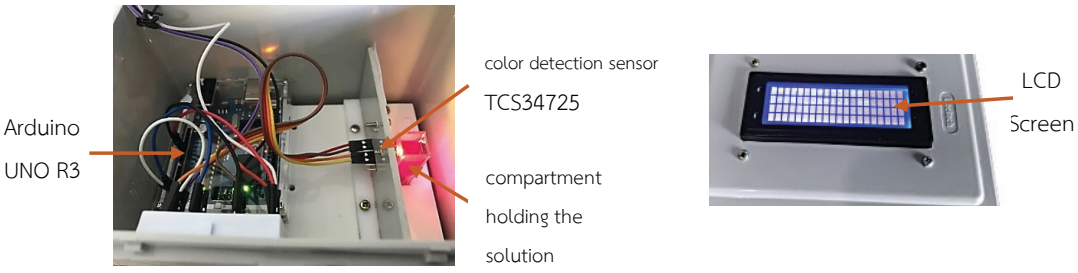


Figure 1 The components of a colorimeter (a) internal and (b) external.

การตรวจวัดค่าสี RGB ของสารละลาย จะบรรจุสารที่ต้องการวิเคราะห์ลงในคิวเวตต์ขนาด 12.5×12.5×45.0 mm ปริมาตร 3 ml ซึ่งจะอยู่ในระดับที่เซ็นเซอร์สามารถตรวจวัดได้ และค่าสี RGB ที่ได้จะแสดงบนจอ LCD บนตัวเครื่อง หรือดูได้บนคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม Arduino IDE ด้วยเมนู Serial monitor [7]

2.2 การประยุกต์เครื่องวัดสีสำหรับการวัด pH ในตัวอย่างน้ำ

2.2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าแม่สี RGB ของอินดิเคเตอร์ที่ pH ต่าง ๆ

เตรียมสารละลายอินดิเคเตอร์โบรโมรไทมอลบลูและฟีนอล์ฟทาลีน 1% อินดิเตอร์แต่ละชนิดถูกปรับค่า pH ให้ได้ 13 ค่า โดยมีค่า pH ในช่วง 1-13 ใช้อัตราส่วนสารละลายบัฟเฟอร์ 20 ml ต่ออินดิเคเตอร์ 3 หยด จากนั้นนำสารละลายทั้งหมดวัดค่าสี RGB ด้วยเครื่องวัดสี แล้วนำค่าสีที่ได้ของอินดิเคเตอร์แต่ละชนิดที่ pH ต่าง ๆ

Science33-N3.indd 30 7/7/2568 BE 10:24

มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่า pH และค่าสีเพื่อใช้เทียบหาค่า pH ของตัวอย่างน้ำต่อไป

2.2.2 การหาค่า pH ในตัวอย่างน้ำด้วยเครื่องวัดสี

ในการทดสอบนี้ได้ประยุกต์เครื่องวัดสีในการตรวจวัดค่า pH ในตัวอย่างน้ำ โดยเปรียบเทียบผลที่ได้กับการใช้เครื่อง pH meter ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน ตัวอย่างน้ำ 6 ตัวอย่าง เก็บจากแหล่งน้ำผิวดิน ในเขต อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ซึ่งแต่ละแหล่งมีสีและกลิ่นที่ต่างกันไป การเก็บตัวอย่างน้ำทำโดยจ้วงเก็บจากผิวน้ำบรรจุเต็มในภาชนะพลาสติกปริมาตร 1 L จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แบ่งตัวอย่างน้ำเป็นสองส่วน ส่วนแรกวัดด้วยเครื่อง pH meter (LAQUAtwin-pH-22, Japan) และส่วนที่สองนำไปวัดด้วยเครื่องวัดสีโดยผสมตัวอย่างกับอินดิเคเตอร์ด้วยอัตราส่วน 20 ml:3 หยด และวัดค่าสี RGB ด้วยเครื่องวัดสี จากนั้นนำค่า RGB ที่ใช้เทียบกับกราฟมาตรฐานค่าสี RGB ของอินดิเคเตอร์แต่ละชนิดที่ได้ก่อนหน้า เพื่อหาค่า pH ที่แน่นอนของตัวอย่าง

2.3 การประยุกต์เครื่องวัดสีสำหรับการหาความกระด้างในตัวอย่างน้ำ

2.3.1 การสร้างกราฟการไทเทรตจากตัวอย่างแบบไม่ทราบล่วงหน้า (Blind samples)

โดยทั่วไปวิธีมาตรฐานในการหาความกระด้างของน้ำโดยการไทเทรตเป็นการใช้สารละลายมาตรฐาน 0.01 M EDTA ไทเทรตกับตัวอย่างน้ำที่ pH 10 และใช้ Eriochrome black T (EBT) เป็นอินดิเคเตอร์ [8] อย่างไรก็ตาม การสังเกตจุดยุติด้วยสายตาอาจคลาดเคลื่อน จึงได้ประยุกต์เครื่องวัดสีในการวัดค่าสีสารละลายขณะไทเทรตเพื่อสร้างกราฟไทเทรตเพื่อหาจุดยุติจากกราฟ เริ่มต้นผู้วิจัยได้ใช้ตัวอย่างแบบไม่ทราบล่วงหน้า (Blind samples) ซึ่งเตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) นำมาไทเทรตกับ EDTA โดยใช้ตัวอย่างปริมาตร 10 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 ml เติมแอมโมเนียบัฟเฟอร์ (pH 10) 4 ml และ EBT 10 หยด ปิเปตต์สารละลาย 0.01 M EDTA ลงไปผสมทีละ 0.5 - 1.0 ml จนครบ 14.0 ml โดยแต่ละครั้งที่เติม EDTA ลงไปให้แบ่งสารละลายผสมที่ได้มาตรวจวัดด้วยเครื่องวัดสี นำค่าสีสร้างกราฟการไทเทรตระหว่างปริมาตร EDTA และค่าสี จากนั้นหาปริมาตร EDTA ณ จุดสมมูลจากกราฟที่สร้างขึ้น เพื่อไปคำนวณหาความกระด้างในรูปความเข้มข้นแคลเซียมคาร์บอเนตต่อไป

2.3.2 การหาความกระด้างในตัวอย่างน้ำ

ตัวอย่างน้ำผิวดิน 3 ตัวอย่าง เก็บในเขต อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ทำโดยเก็บน้ำจากผิวน้ำบรรจุเต็มในภาชนะปริมาตร 1 L กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แบ่งตัวอย่างน้ำเป็นสองส่วน ส่วนแรกนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี ซึ่งทำในทำนองเดียวกับข้อ 2.3.1 และส่วนที่สองนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานโดยไทเทรตแบบเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ EDTA

2.4 การประยุกต์เครื่องวัดสีสำหรับการวิเคราะห์ COD

ได้ทำการวิเคราะห์ค่า COD โดยวิธีการรีฟลักซ์แบบปิดโดยการวัดสี ขั้นตอนรีฟลักซ์ทำโดยปิเปตต์ตัวอย่างน้ำ 2.5 ml Digestion reagent 1.5 ml (เตรียมจากการชั่ง $K_2Cr_2O_7$ 4.903 g ซึ่งอบที่อุณหภูมิ 150 ºC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน desiccator ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 500 ml ค่อยๆ เติม conc. H_2SO_4 167 ml $HgSO_4$ 33.3 g คนให้ละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และเจือจางให้เป็น 1 L) และค่อย ๆ เติม Sulfuric acid reagent 3.5 ml เขย่าให้สารละลายเข้ากัน นำหลอดทดลองไปตั้งบนเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 150 ºC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็น [9] จากนั้นนำสารละลายไปวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 การประยุกต์เครื่องวัดสีสำหรับการวัด pH

3.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าสี RGB ของอินดิเคเตอร์

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสี RGB ของอินดิเคเตอร์เพื่อนำมาใช้ในการหาค่า pH โดยเลือกศึกษา 2 ชนิดคือ โบรโมรไทมอลบลู (เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็น

Science33-N3.indd 31 7/7/2568 BE 10:24

สีน้ำเงินในช่วง pH 6.0-7.5) และฟีนอล์ฟทาลีน (เปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีชมพูในช่วง pH 8.0-10.0) เนื่องจากอินดิเคเตอร์ทั้ง 2 ชนิดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง pH ค่อนข้างเป็นกลางจนถึงเป็นเบสเล็กน้อย สอดคล้องกับค่า pH ในแหล่งน้ำทั่วไป จากการวัดค่าสี RGB ที่ค่า pH ในช่วง 1-13 ของแต่ละอินดิเคเตอร์ นำค่าสี RGB มาคูณกันเพื่อเพิ่มความละเอียดของสีให้อยู่ในรูป RGB-based value ให้ผลดัง Table 1 (a) - (b) และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่ pH ต่าง ๆ ได้ดัง Figure 2 (a) - (d)

Table 1 The RGB color values of the indicator at pH levels ranging from 1 to 13.

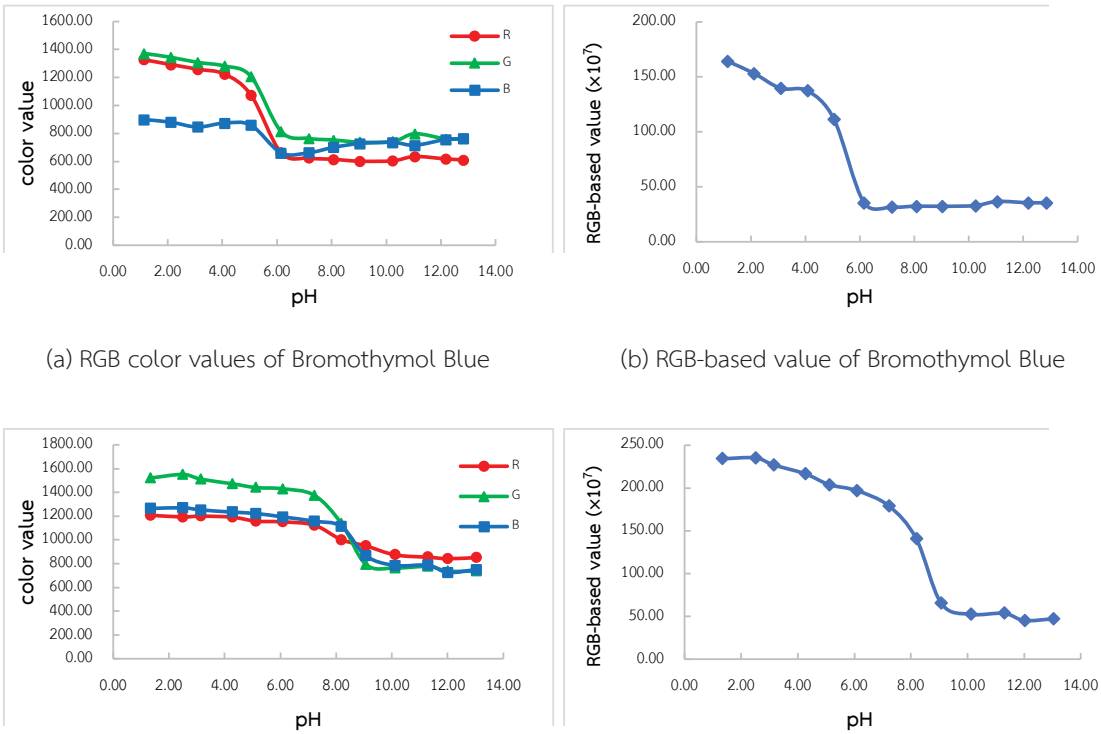
(a) Bromothymol Blue

pH	Color values			
	R	G	B	RGB-based values
1.1	1327.0	1372.0	899.0	1643657618.7
2.1	1292.7	1344.7	880.3	1532946944.0
3.1	1259.3	1308.0	845.7	1396429727.7
4.1	1224.0	1282.0	874.3	1373811669.3
5.1	1073.3	1206.3	858.3	1116775576.0
6.2	661.0	813.3	660.7	356391162.7
7.2	623.7	764.0	662.3	315583147.0
8.1	614.7	753.0	700.3	324291082.3
9.0	601.3	737.7	727.7	322947029.3
10.2	604.0	741.7	735.7	329770186.7
11.0	635.0	798.0	715.3	367222760.0
12.2	617.7	760.7	756.3	355572819.3
12.8	610.7	762.3	761.7	355961501.0

(b) Phenolpthalein

pH	Color values			
	R	G	B	RGB-based values
1.3	1207.3	1521.0	1264.7	2341954139.7
2.5	1193.3	1551.0	1270.3	2352178016.0
3.1	1200.0	1511.0	1252.3	2270527011.0
4.3	1191.3	1472.7	1234.0	2165274643.3
5.1	1158.3	1440.7	1222.3	2038913851.3
6.1	1151.7	1430.3	1193.7	1970360925.3
7.2	1124.7	1376.0	1157.7	1792365426.7
8.2	1110.0	1139.3	1112.7	1408788226.7
9.1	949.3	792.3	866.0	652785176.7
10.1	874.0	763.3	785.0	523695532.7
11.3	875.3	776.7	787.3	535492998.7
12.0	842.3	738.0	726.0	451658359.0
13.0	850.7	737.3	750.0	470636360.0

Science33-N3.indd 32 7/7/2568 BE 10:24



(a) RGB color values of Bromothymol Blue

(b) RGB-based value of Bromothymol Blue

(c) RGB color values of Phenolpthalein

(d) RGB-based value of Phenolpthalein

Figure 2 The relationship graph between the color values of the indicator at different pH levels.

กราฟที่ได้ของแต่ละอินดิเคเตอร์จะปรากฏจุดหักของเส้นกราฟบริเวณที่มีการเปลี่ยนสีอินดิเคเตอร์ โบรโมไทมอลบลู และฟีนอล์ฟทาลีน มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีที่ pH 4-6 และ pH 6-9 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า RGB-based value ซึ่งเป็นผลคูณของค่าสี RGB จะเห็นได้ว่ากราฟค่าแม่สี RGB-based value ของอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีนมีช่วงการเปลี่ยนแปลงในช่วง pH ประมาณ 2-10 ดัง Figure 2(d) ซึ่งกว้างกว่ากราฟค่าสี RGB-based value ของโบรโมไทมอลบลูซึ่งมีช่วง pH ประมาณ 1-6 ดัง Figure 2(b) โดยช่วงที่กว้างกว่าและครอบคลุมช่วง pH เหมาะสมต่อการใช้เทียบหาค่า pH ในตัวอย่างน้ำได้ดีกว่า ดังนั้นจึงเลือกกราฟค่าสี RGB-based value ของอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีนในการหาค่า pH ตัวอย่างน้ำต่อไป

3.1.2 การหาค่า pH ในตัวอย่างน้ำด้วยเครื่องวัดสี

นำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองมาผสมกับฟีนอล์ฟทาลีนแล้วนำมาวัดค่าสี RGB ได้ผลดัง Table 2 จากค่า RGB-based value ที่ได้นำมาเทียบกับกราฟ Figure 2(d) เพื่อหาค่า pH พบว่าได้ผลดัง Table 3 โดยเปรียบเทียบผลที่ได้กับการวัดด้วย pH meter

Science33-N3.indd 33 7/7/2568 BE 10:24

Table 2 The color values obtained from a water sample using phenolphthalein as the indicator.

Water samples	Color values			
	R	G	B	RGB-based values
1	1095.33	1257.00	1175.67	1,618,697,502.72
2	1115.33	1265.00	1156.00	1,630,991,672.20
3	1095.33	1253.67	1155.33	1,586,478,777.25
4	1185.67	1238.00	1155.33	1,695,862,069.92
5	1105.00	1230.67	1156.00	1,572,033,244.60
6	1090.00	1245.33	1157.33	1,570,970,968.10

Table 3 The comparison of pH measurements obtained using a colorimeter and a pH meter.

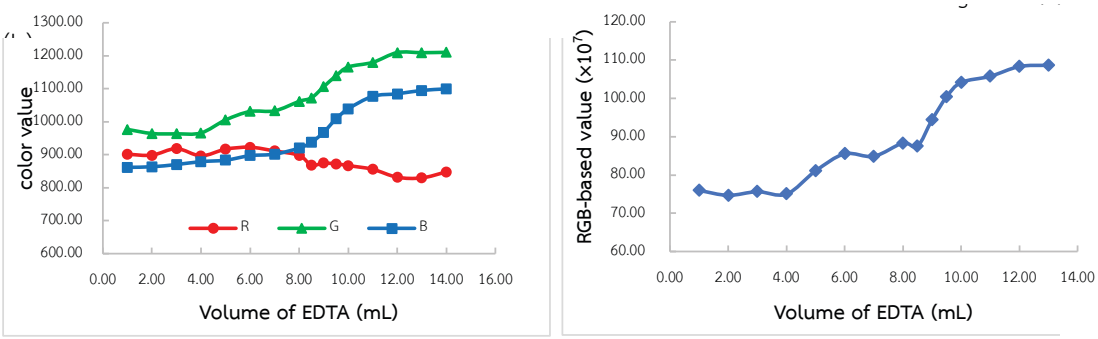
Water samples	pH values	
	Colorimeter	pH meter
1	7.75	7.73
2	7.70	7.83
3	7.85	7.77
4	7.50	7.59
5	7.90	8.05
6	7.90	8.25

จากผลการทดลองพบว่าการหาค่า pH โดยอาศัยการวัดสีของตัวอย่างผสมฟีนอล์ฟทาลีนแล้วเทียบกับกราฟค่าสีมาตรฐานของฟีนอล์ฟทาลีนให้ค่า pH ที่ชัดเจนกว่าการสังเกตสีอินดิเคเตอร์ด้วยสายตาซึ่งจะเป็นเพียงค่าโดยประมาณ และจะเห็นได้ว่าค่า pH ที่ได้ให้ค่าสอดคล้องกับการวัดด้วย pH meter เมื่อพิจารณาจาก Paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตาม วิธีที่นำเสนอนี้เหมาะสมต่อตัวอย่างที่ใสไม่มีสี เช่น ตัวอย่างน้ำ เพราะหากตัวอย่างมีความขุ่น หรือมีสี ผลที่ได้จะคลาดเคลื่อนได้ [10]

3.2 การประยุกต์เครื่องวัดสีสำหรับการหาความกระด้าง

3.2.1 การศึกษาค่าสีที่เหมาะสมสำหรับสร้างกราฟการไทเทรต

เบื้องต้นได้สร้างกราฟการไทเทรตของแต่ละค่าสีจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายมาตรฐาน 0.0102 M EDTA และสารละลายมาตรฐาน Ca^{2+} 1,000 ppm ที่ pH 10 โดยเติม EDTA ลงไปทีละ 0.5-1.0 ml จนครบ 14.0 ml และวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี จากนั้นนำค่าสีมาสร้างกราฟการไทเทรตดัง Figure 3 (a) - (b)



(a) RGB color value (b) RGB-based value

Figure 3 The titration graph between EDTA and a standard Ca^{2+} solution.

Science33-N3.indd 34 7/7/2568 BE 10:24

จาก Figure 3 (a) จะเห็นได้ว่าค่าสี R และ B มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีและเกิดจุดหักของกราฟที่ปริมาตร EDTA 8.00-11.00 ml ซึ่งบริเวณดังกล่าวคือจุดสมมูลของการไทเทรต และสอดคล้องกับการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ EBT จากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน โดยค่า B จะแสดงการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจนมากที่สุด ค่าสี B มีแนวโน้มเหมาะสมสำหรับใช้เป็นกราฟมาตรฐานไทเทรตมากกว่าค่าสี R, G และ RGB-based value จึงเลือกใช้เฉพาะค่าสี B สำหรับสร้างกราฟไทเทรตต่อไป

3.2.2 การหาความกระด้างด้วยเครื่องวัดสี

นำเครื่องวัดสีมาหาความกระด้างในตัวอย่างแบบไม่ทราบล่วงหน้า และตัวอย่างน้ำอย่างละ 3 ตัวอย่าง โดยเกิดปฏิกิริยากับ 0.0102 M EDTA ดังที่อธิบายใน 2.3.1 และ 2.3.2 เมื่อได้กราฟการไทเทรตจากค่าสี B ได้หาจุดสมมูลจากเส้นกราฟและคำนวณหาความกระด้างในรูป $CaCO_3$ พบว่าได้ผลดัง Table 4 และ 5

Table 4 Determining hardness in a blind sample using a colorimeter.

Blind samples	Total hardness (ppm)	
	Analyzed values	Prepared concentration
1	182.0	185.0
2	353.0	350.0
3	87.0	90.0

Table 5 Comparison of water hardness using a colorimeter and titration with a standard method.

Water samples	Total hardness (ppm)	
	Colorimeter	Titration
1	91.0	89.5
2	105.3	109.5
3	102.2	100.3

ค่าความกระด้างของตัวอย่างทั้ง 2 ประเภทเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี พบว่าให้ค่าสอดคล้องกับค่าที่เตรียมและวิธีมาตรฐาน โดยการคำนวณด้วย Paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี สามารถใช้แทนการไทเทรตตามวิธีมาตรฐาน ซึ่งการใช้เครื่องวัดสีจะใช้อุปกรณ์เครื่องแก้วน้อยกว่า และยังพกพาได้สะดวก อีกทั้งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการสังเกตจุดยุติได้ดีกว่าการสังเกตด้วยตาเปล่า

3.3 การประยุกต์เครื่องวัดสีสำหรับการวิเคราะห์ค่า COD

เครื่องวัดสีที่พัฒนาขึ้นได้ประยุกต์ในการวิเคราะห์ค่า COD เพื่อตรวจคุณภาพของน้ำโดยเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการออกซิไดซ์สารอินทรีย์โดยใช้สารเคมี ได้ทำวิธีรีฟลักซ์แบบปิด ดังอธิบายในข้อ 2.4 และวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี และเปรียบเทียบผลกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปคโทรโฟโตมิเตอร์

การวิเคราะห์ COD แบบ Colorimetric Method ทำโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐาน KHP ที่ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 mg/L นำมารีฟลักซ์ บันทึกค่าสี RGB ด้วยเครื่องวัดสี แสดงผลดังTable 6 และกราฟมาตรฐานของแต่ละค่าสีดัง Figure 4

Table 6 The RGB color values of the standard KHP solution from COD analysis using a colorimeter.

concentrations of KHP (mg/L)	Color values		
	R	G	B
blank	550.4	453.5	224.0
20	544.0	450.0	221.7
40	534.0	443.0	220.3
60	524.3	435.0	214.7
80	517.3	430.3	213.7
100	511.3	425.0	210.0
120	501.3	419.7	208.3

Science33-N3.indd 35 7/7/2568 BE 10:24

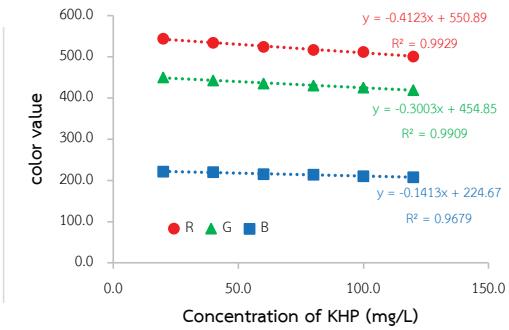


Figure 4 The standard curve for COD analysis using a colorimeter.

สารละลายมาตรฐาน KHP เมื่อผ่านการรีฟลักซ์กับ $K_2Cr_2O_7$ จะได้สารละลายที่มีสีเหลืองจึงทำให้ค่าสี R และ G แสดงการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่า เนื่องจากสีเหลืองได้จากการผสมกันระหว่างสีแดงและสีเขียว และพบว่ากราฟค่าสี R ให้ค่าความชันและ R^2 มากกว่าค่าสี G โดยมีความเป็นเส้นตรงในช่วง 20-120 mg/L ดังนั้นจึงเลือกใช้กราฟมาตรฐานของแม่สี R สำหรับการวิเคราะห์ค่า COD ในตัวอย่างน้ำ เนื่องจาก KHP 1000 mg/L มีค่าเทียบเท่าค่า COD 1167 mg/L

จากนั้นได้นำตัวอย่างมารีฟลักซ์ในทำนองเดียวกัน และนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm ด้วยเครื่องสเปคโทรโฟโตมิเตอร์ตามวิธีมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากเครื่องวัดสี พบว่าได้กราฟมาตรฐาน KHP ในช่วง 20-120 mg/L สมการเส้นตรงคือ $y = -0.0016x + 1.0228$ $R^2 = 0.9926$ ได้ผลการวิเคราะห์ดัง Table 7

Table 7 Comparison of COD analysis using a colorimeter versus the standard method with a spectrophotometer.

Water samples	COD (mg/L)	
	Colorimeter	Spectrophotometer
1	102.0	128.8
2	85.0	82.1
3	46.0	26.5
4	44.0	34.7
5	80.0	98.6

เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ด้วย Paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าให้ผลการวิเคราะห์ในทำนองเดียวกัน ดังนั้นเครื่องวัดสีสามารถใช้ในการวิเคราะห์ค่า COD ทดแทนการใช้สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ได้

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องวัดสีแบบประหยัดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 ที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการวัดค่าสี RGB ของสารละลาย เพื่อการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สำคัญของน้ำ ได้แก่ pH ความกระด้าง และค่า COD จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เครื่องวัดสีดังกล่าวเพียงเครื่องเดียวสามารถใช้ทดแทนเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องวัดสี มีขนาดกะทัดรัดทนทาน ใช้งานได้สะดวกรวดเร็ว พกพาง่าย ลดการใช้เครื่องแก้ว หรือลดการใช้เครื่องมือราคาแพง ไม่จำเป็นต้องมีการสอบเทียบ และการบำรุงรักษา อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความแม่นยำในการสังเกตการเปลี่ยนสี เมื่อเทียบกับการใช้สายตา และยังลดปริมาณของเสียที่ไม่จำเป็นในการทดลองลงได้

Science33-N3.indd 36 7/7/2568 BE 10:24

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินงานโดยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย จากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2564 และขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่สนับสนุนเครื่องมือวิเคราะห์สำหรับงานวิจัย

6. References

[1] Zhang, Y., Yu, H., Liu, J., and Guo, Y., 2024, Analysis of water quality and the response of phytoplankton in the low-temperature environment of Majiagou Urban River, China. Heliyon, 10: 25955

[2] Chen, P., 2024, Unlocking policy effects: Water resources management plans and urban water pollution. J Environ. Manage., 365: 121642

[3] Federman Neto, A., Borges, A. D. L., and Lavrador, M. A. S., 2006, A simple protocol for the routine calibration of pH meters. Rev. Ciênc. Farm. Básica Apl., 27: 63-72

[4] McGill, C., 2005, Titrimetry | Photometric. Encyclopedia of Analytical Science 2nd Ed., PP 121-124

[5] Kolb, M., Bahadir, M., and Teichgräber, B., 2017, Determination of chemical oxygen demand (COD) using an alternative wet chemical method free of mercury and dichromate. Water Res., 122: 645-654

[6] Kanna, M., Luangton, S., and Somnam, S., 2022, Application of an economic USB digital microscope for microvolume colorimetric determination of iron in supplements with a guava leaf extract. Chiang Mai J Sci., 49(5), 1365-1375

[7] Ismailov, A. S. and Jo'rayev, Z. B., 2022, Study of arduino microcontroller board, Sci. Educ. Sci. J, 3(3): 172-179

[8] Ferreira, D., Barros, M., Oliveira, C.M. and Bettencourt da Silva, R.J.N., 2019, Quantification of the uncertainty of the visual detection of the end-point of a titration determination of total hardness in water. Microchem. J, 146: 856-863.

[9] American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF), 2017, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Ed., Washington, D.C.: American Public Health Association. 5-17 p.

[10] Dukhin, A. S., and Goetz, P. J., 2010, Titrations. Stud. Interface Sci. 24: 401-423.

Science33-N3.indd 37 7/7/2568 BE 10:24