

การพัฒนาแก้วสีน้ำเงินจากซีเถ้าแอลบโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟ

ต้องชนะ ขมมี^{1,2} และวัชรินทร์ ราชนิยม^{1,2*}

¹สาขาวิชาวัสดุและอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*watcharinratniyom601@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนากระบวนการเตรียมแก้วสีน้ำเงินจากซีเถ้าแอลบด้วยเทคนิคไมโครเวฟ จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างซีเถ้าแอลบทั้งก่อนและหลังเผา พบว่ามีธาตุ SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลัก และยังพบว่ามีองค์ประกอบของธาตุเจือปนที่ส่งผลต่อสี ได้แก่ MnO , Fe_2O_3 และ CuO จากนั้นนำซีเถ้าแอลบที่เผาแล้วไปใช้แทน SiO_2 ในสูตรแก้ว $10\text{SiO}_2 \cdot (50-x)\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{Na}_2\text{O} \cdot 30\text{ZnO} \cdot x\text{CoO}$ ร้อยละโดยโมล เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของโครเมียมออกไซด์ (0.00 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ร้อยละโดยโมล) นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของแก้วได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง และสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ พบว่าค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ CoO ที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลง สวนทางกับปริมาณความเข้มข้นของ CoO ที่เพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 – 1,100 นาโนเมตร พบพีคของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 534 595 และ 643 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนชั้นพลังงานจากชั้น $^4\text{T}_{1g}(\text{F}) \rightarrow ^2\text{T}_{1g}(\text{H})$ $^4\text{A}_2(\text{F}) \rightarrow ^4\text{T}_1(\text{P})$ และ $^2\text{T}_2 \rightarrow ^2\text{T}$ ตามลำดับ

คำสำคัญ: เทคนิคไมโครเวฟ สีน้ำเงิน ค่าดัชนีหักเห แก้วบอโรซิลิเกต ซีเถ้าแอลบ

Preparation blue glasses from scraps of soft drink bottle

Tongchana Chommee^{1,2} and Watcharin Rachniyom^{1,2*}

¹Medical Material and Equipment Program, Faculty of Science and Technology,
Nakhon Pathom Rajabhat University

²Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM),
Nakhon Pathom Rajabhat University

*watcharinratniyom601@hotmail.com

Abstract

This research developed a process for preparing green glass from rice husk ash using microwave technology. Chemical composition analysis of the rice husk ash samples before and after firing revealed that SiO_2 was the main component, along with trace elements that influence the color, including MnO , Fe_2O_3 and CuO . The fired rice husk ash was then used to replace SiO_2 in the glass formula $10\text{SiO}_2 \cdot (50-x)\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{Na}_2\text{O} \cdot 30\text{ZnO} \cdot x\text{CoO}$, in molar percentages, where x represents the concentration of Cobalt(II) oxide (0.00, 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, and 0.20 mol%). The properties of the glass were analyzed, including density, refractive index, light absorption, and color in the CIE $L^*a^*b^*$ system. The results showed that the density and refractive index tended to increase with higher CoO concentrations, while the molar volume decreased as the CoO concentration increased. The light absorption values in the wavelength range of 200 – 1,100 nanometers showed peaks at approximately 534, 595, and 643 nanometers, which corresponded to energy level transitions from the $^4T_{1g}(F) \rightarrow ^2T_{1g}(H)$, $^4A_2(F) \rightarrow ^4T_1(P)$ and $^2T_2 \rightarrow ^2T_1$, respectively.

Keywords: Microwave technique, Blue color, Refractive index, Borosilicate glass, Rice Husk Ash

1. บทนำ

ในประเทศไทยมีการสีข้าวเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้มีปริมาณขี้เถ้าแกลบเกิดขึ้นจำนวนมากเช่นกัน ขี้เถ้าแกลบที่เกิดจากการสีข้าวประมาณ 20-25% ของน้ำหนักข้าวที่นำมาสี ซึ่งหากคำนวณจากการผลิตข้าวในประเทศไทยในแต่ละปี ปริมาณขี้เถ้าแกลบที่เกิดขึ้นจะมีจำนวนมาก และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการจัดการขยะได้ ขี้เถ้าแกลบมีองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถนำมาใช้ในการหลอมแก้วได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในเรื่องของการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มคุณสมบัติของแก้วที่ได้จากกระบวนการหลอม ขี้เถ้าแกลบประกอบไปด้วยสารที่มีซิลิกา (SiO_2) และสารอื่นๆ ที่สามารถช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของแก้ว เช่น ความแข็งแรง ความทนทานต่อการขีดข่วน และความสามารถในการกรองแสง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการผลิตแก้ว ขี้เถ้าแกลบทำหน้าที่เพิ่มปริมาณซิลิกาในกระบวนการหลอมแก้ว และยังเป็นสารช่วยหลอม (fluxing agent) ที่ช่วยลดจุดหลอมของแก้วซึ่งจะช่วยให้การผลิตแก้วสามารถทำได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำลง ส่งผลให้การใช้พลังงานลดลงและลดต้นทุนในการผลิต นอกจากนี้ ขี้เถ้าแกลบยังมีสารที่ช่วยในการเพิ่มความทนทานและ

ความแข็งแรงของแก้ว โดยเฉพาะเมื่อใช้ซีเมนต์เคลือบในอัตราที่เหมาะสม จะทำให้แก้วที่ผลิตมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เช่น ความต้านทานการแตกหักหรือการบิ่น และยังช่วยให้แก้วมีความใสและทนทานต่อรอยขีดข่วนได้ดี

การหลอมแก้วด้วยเทคนิคไมโครเวฟมีข้อดีหลายประการที่ทำให้มันเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในอุตสาหกรรมการผลิตแก้ว โดยหลัก ๆ แล้ว ไมโครเวฟสามารถสร้างความร้อนได้อย่างรวดเร็วและตรงจุด ซึ่งทำให้ไม่ต้องใช้พลังงานมากในการทำให้เตาหลอมร้อนทั้งหมดเหมือนในวิธีการหลอมแก้วทั่วไป นอกจากนี้ การใช้ไมโครเวฟยังสามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำ ช่วยลดการสูญเสียพลังงานจากความร้อนที่กระจายไปในพื้นที่อื่น ๆ การกระจายความร้อนในไมโครเวฟยังทำให้แก้วหลอมได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ลดการเสี่ยงจากความร้อนเกินหรือการหลอมที่ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งยังช่วยประหยัดเวลาในการหลอม เพราะไมโครเวฟสามารถทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในกระบวนการที่ต้องการการหลอมแก้วในปริมาณน้อย การใช้เทคนิคไมโครเวฟยังเหมาะสำหรับการทดลองและการผลิตในปริมาณที่ไม่มาก ซึ่งช่วยให้การพัฒนาและการทดลองทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

แก้วบอโรซิลิเกตเป็นแก้วที่มีส่วนผสมหลักของซิลิกาและโบรอนออกไซด์ ทำให้มีสมบัติเด่นในการทนต่อความร้อนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ไม่แตกหักง่ายแม้เจอการกระแทกหรือความร้อนที่สูง จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อสารเคมีและการกัดกร่อนจากกรดและด่างได้ดี จึงมักใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมเคมี นอกจากนี้ แก้วยังถูกใช้ในอุปกรณ์ทางการแพทย์และอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการความทนทานต่อความร้อนและความแม่นยำในการใช้งาน

แก้วสีน้ำเงินมีประโยชน์ในหลายอุตสาหกรรม เช่น การผลิตขวดบรรจุเครื่องดื่มหรือไวน์ ซึ่งช่วยป้องกันแสง UV และรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น ในการตกแต่งภายใน แก้วสีน้ำเงินช่วยสร้างบรรยากาศสงบและสวยงาม อีกทั้งยังใช้ในอุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์เพื่อป้องกันแสงที่อาจทำลายสารเคมีหรือผลการทดลอง ในอุตสาหกรรมการแพทย์ แก้วสีน้ำเงินช่วยป้องกันแสง UV ที่อาจทำให้ยาเสื่อมสภาพ และในแฟชั่นก็ใช้เพิ่มความสวยงามในเครื่องประดับและของตกแต่งต่าง ๆ การผลิตแก้วสีน้ำเงินเกิดจากการเติมสารบางชนิดที่ทำให้เกิดสีน้ำเงินลงในสูตรแก้วส่วนมากจะเติมโคบอลต์ออกไซด์ ทั้งนี้ แก้วที่เติมโคบอลต์ออกไซด์ยังมีการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุชั้นสูงอีกหลากหลายชนิด [1-5]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาแก้วสีน้ำเงินจากซีเมนต์เคลือบโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้ ออกแบบสูตรแก้ว และทดลองเตรียมตัวอย่างแก้วเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับเทคนิคการหลอมด้วยไมโครเวฟ จากนั้นจึงนำสูตรแก้วที่ได้มาเจือสารให้สีน้ำเงินและหาเงื่อนไขที่เหมาะสม เมื่อได้ตัวอย่างแก้วสีแล้วจึงทำการศึกษาสมบัติของตัวอย่างแก้วสี ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเหแสง ค่าการดูดกลืนแสง และค่าสี

2. วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้นำซีเมนต์เคลือบมาเป็นองค์ประกอบในการผลิตแก้วสีน้ำเงินผ่านกระบวนการหลอมด้วยเทคนิคเตาไมโครเวฟ โดยเริ่มต้นจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์เคลือบโดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence: EDXRF) รุ่น Minipal-4 ของบริษัท Panalytical ผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบสูตรแก้ว สำหรับการพัฒนาสูตรแก้ว ผู้วิจัยเลือกใช้ซีเมนต์เคลือบเป็นแหล่งของซิลิกา (SiO_2) ทดแทนวัตถุดิบบริสุทธิ์ เพื่อให้สูตรแก้วที่ได้เหมาะสมกับกระบวนการหลอมด้วยไมโครเวฟ โดยมีอัตราส่วนดังนี้ 10SiO_2 ; $(50-x)\text{B}_2\text{O}_3$; $10\text{Na}_2\text{O}$; 30ZnO ; $x\text{CoO}$ ร้อยละโดยโมล เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของโคบอลต์ออกไซด์ (0.00 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ร้อยละโดยโมล) ขั้นตอนการหลอมเริ่มจากการเตรียมส่วนผสมและนำไปใส่ในเบ้าหลอม จากนั้นวางเบ้าหลอมในเตาไมโครเวฟและตั้งค่ากำลังไฟที่ 1000 วัตต์ เป็นเวลา 25 นาที เมื่อกระบวนการหลอมเสร็จสิ้น เบ้าหลอมจะถูกนำออกจากเตาและเทน้ำแก้วที่ได้ลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์อย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการเพิ่มขึ้นของความหนืดเนื่องจากอุณหภูมิที่ลดลง หลังจากแก้วแข็งตัว จะถูกนำไปผ่านกระบวนการอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อปรับปรุงโครงสร้างภายในและลดความเค้นตกค้าง ตัวอย่างแก้วที่ผ่าน

กระบวนการผลิตแล้ว จะถูกตัดและขัดให้ได้ขนาด $1.0 \times 1.5 \times 0.3$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง และการวิเคราะห์สีในระบบ CIE Lab* ซึ่งจะช่วยประเมินคุณภาพของแก้วที่ได้จากกระบวนการนี้

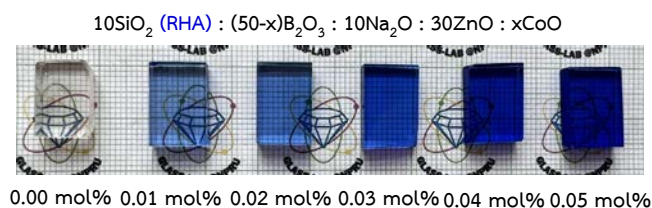
3. ผลการวิจัย

ซีเถ้าแก้วที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้มาจากโรงสีข้าวในจังหวัดสุพรรณบุรี โดยได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิคสเปกโตรมิเตอร์รังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence, EDXRF) โดยใช้เครื่องรุ่น Minipal-4 ของบริษัท Panalytical [6-7] ผลการวิเคราะห์พบว่าซีเถ้าแก้วมีปริมาณซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 90 ทำให้มีศักยภาพสูงสำหรับการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตแก้ว นอกจากนี้ SiO_2 แล้วยังตรวจพบธาตุอื่น ๆ เช่น แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) และทองแดง (Cu) ซึ่งอาจมีผลต่อการเกิดสีในผลิตภัณฑ์แก้ว ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างซีเถ้าแก้ว

สารประกอบ	Si	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn
ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	93.092	5.048	1.438	0.185	0.196	0.007	0.034

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างซีเถ้าแก้ว ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบสูตรแก้วโดยใช้ซีเถ้าแก้วแทนสาร SiO_2 โดยไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการใด ๆ และให้มีความสอดคล้องกับการหลอมด้วยเทคนิคไมโครเวฟตามอัตราส่วนของสารดังนี้ $10\text{SiO}_2 : (50-x)\text{B}_2\text{O}_3 : 10\text{Na}_2\text{O} : 30\text{ZnO} : x\text{CoO}$ ร้อยละโดยโมล เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของโคบอลต์ออกไซด์ จากผลการทดลองหลอมแก้วที่เติมออกไซด์ของ CoO ที่มีความเข้มข้น 0.00 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ร้อยละโดยโมล พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่เติมออกไซด์ของ CoO มีลักษณะใสไม่มีสี และเมื่อเติมออกไซด์ของ CoO จะมีสีน้ำเงิน ซึ่งสีดังกล่าวจะมีความเข้มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของออกไซด์ของ CoO มากขึ้น ดังภาพที่ 1

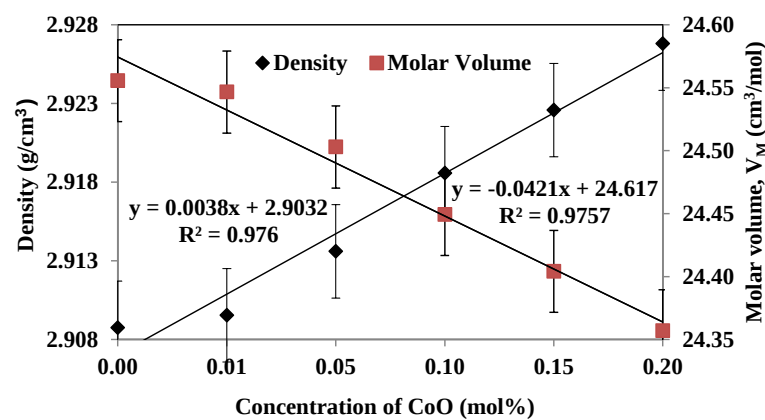


ภาพที่ 1 แก้วตัวอย่างที่เจือ CoO ในความเข้มข้นที่ต่างกัน

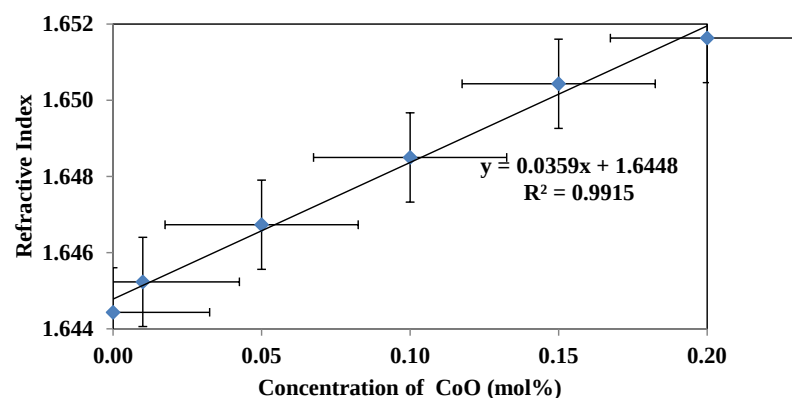
3.1 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล และดัชนีหักเห

จากการวิเคราะห์หาความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ CoO ที่มีความเข้มข้น 0.00 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ CoO ที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.9088 ± 0.0001 ถึง 2.9268 ± 0.0001 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากออกไซด์ของ CoO ซึ่งมีมวลโมเลกุลมากกว่าเข้าไปแทนที่ออกไซด์ของ B_2O_3 และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความเข้มข้นของแก้วที่เติมออกไซด์ของ CoO สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 โดยกราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9760 ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของ CoO ที่เพิ่มมากขึ้น มีค่าอยู่ระหว่าง 24.3570 ถึง 24.5556 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล นั้นสามารถสันนิษฐานได้ว่า CoO ได้เข้าไปสร้างสะพาน

เชื่อมออกซิเจน (bridging oxygen) ในโครงสร้างแก้วมากขึ้น ทำให้ระยะห่างระหว่างอะตอมมีขนาดแคบลงจึงทำให้โครงสร้างของแก้วเกิดการหดตัว ในงานวิจัยด้านวัสดุแก้วนั้นจะเรียกสารเคมีที่เติมลงในโครงสร้างแก้วแล้วทำให้ปริมาตรเชิงโมลของแก้วเปลี่ยนแปลงไปว่า Intermediate และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเชิงโมลกับความเข้มข้นของแก้วที่เติมออกไซด์ของ CoO สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 โดยกราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9797 จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่าง พบว่าค่าดัชนีหักเหมื่อนำโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ CoO ที่เพิ่มมากขึ้น มีค่าอยู่ระหว่าง 1.6444 ± 0.0001 ถึง 1.6516 ± 0.0001 ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่น เป็นไปตามทฤษฎีเป็นไปตามหลักทฤษฎีไดอิเล็กตริกแบบดั้งเดิม ซึ่งค่าดัชนีหักเหขึ้นอยู่กับการหักเหของแก้วที่เติม CoO ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยกราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9915



ภาพที่ 2 ค่าความหนาแน่น และค่าปริมาตรเชิงโมล ของแก้วที่เติม CoO ที่ความเข้มข้นต่างๆ

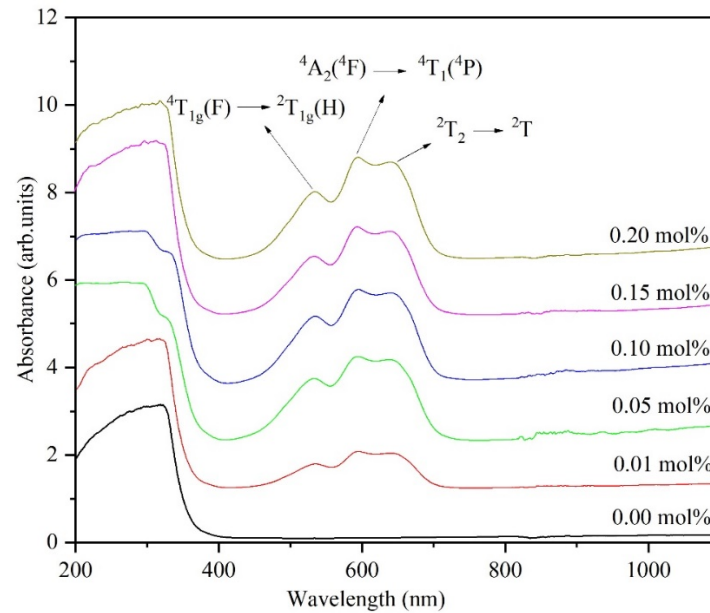


ภาพที่ 3 ค่าดัชนีหักเหของแก้วที่เติม CoO ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.2 ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสง

จากการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 – 1,100 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ CoO ที่มีความเข้มข้น 0.00 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ร้อยละโดยโมล พบพิกของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 534 595 และ 643 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนชั้นพลังงานจากชั้น $^4T_{1g}(F) \rightarrow ^2T_{1g}(H)$ $^4A_2(^4F) \rightarrow ^4T_1(^4P)$ และ $^2T_2 \rightarrow ^2T$ ตามลำดับ [8-9] ดังภาพที่ 4.4 จากการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ

ทำให้สีของแก้วที่มองเห็นมีสีน้ำเงิน และเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ CoO จะมีความเข้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของปริมาณ CoO ที่เพิ่มมากขึ้น



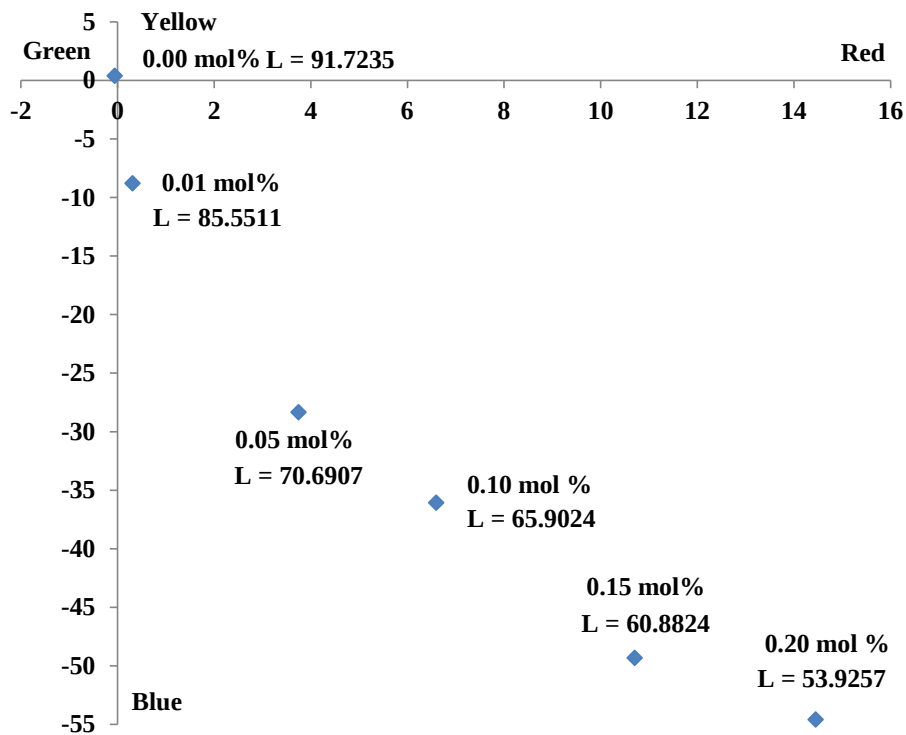
ภาพที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนของแก้วที่เติม CoO ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.3 ผลการวิเคราะห์สีในระบบ CIE L*a*b*

จากการวิเคราะห์สีในระบบ CIE L*a*b* ของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ CoO ที่มีความเข้มข้น 0.00 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความสว่าง (L*) ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ CoO ที่เพิ่มขึ้น โดยค่า a* จะมีค่าอยู่ระหว่าง -0.0579 ถึง 14.4489 ส่วนค่า b* จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4076 ถึง -54.5823 ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยค่าสีมีพิกัดอยู่ในแกน +a และ +b ซึ่งเป็นพิกัดของแกนสีแดง และน้ำเงิน แต่ค่าทางแกน -b มีค่ามากกว่าจึงทำให้แก้วตัวอย่างมีสีน้ำเงิน ดังแสดงในภาพที่ 5

ตารางที่ 2 ค่าสีของแก้วที่เติม CoO ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ CoO (ร้อยละโดยโมล)	Color measurement		
	L*	a*	b*
0.00	91.7235	-0.0579	0.4072
0.01	85.5511	0.3080	-8.7725
0.05	70.6907	3.7454	-28.3378
0.10	65.9024	6.5928	-36.0657
0.15	60.8824	10.7055	-49.3334
0.20	53.9257	14.4489	-54.5823



ภาพที่ 5 ค่าสีระบบ CIE L*a*b* ของแก้วที่เติม CoO ที่ความเข้มข้นต่างๆ

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำเพื่อพัฒนาแก้วสีน้ำเงินจากซีเถ้าเคลือบโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟ โดยนำซีเถ้าเคลือบจากโรงสีข้าวจังหวัดสุพรรณบุรีมาใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรแก้วตามอัตราส่วนดังนี้ 10SiO_2 ; $(50-x)\text{B}_2\text{O}_3$; $10\text{Na}_2\text{O}$; 30ZnO ; $x\text{CoO}$ ร้อยละโดยโมล เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของโคบอลต์ออกไซด์ (0.00 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ร้อยละโดยโมล) จากนั้นทำการหลอมแก้วด้วยเทคนิคเตาไมโครเวฟ จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของแก้ว พบว่าแก้วที่เติม CoO ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 โดยโมล พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่เติมออกไซด์ของ CoO มีลักษณะใสไม่มีสี และเมื่อเติมออกไซด์ของ CoO จะมีสีน้ำเงิน ซึ่งสีดังกล่าวจะมีความเข้มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของออกไซด์ของ CoO มากขึ้น ค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ CoO ที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลง สวนทางกับปริมาณความเข้มข้นของ CoO ที่เพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 – 1,100 นาโนเมตร พบพิกของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 534 595 และ 643 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนชั้นพลังงานจากชั้น $^4\text{T}_{1g}(\text{F}) \rightarrow ^2\text{T}_{1g}(\text{H})$ $^4\text{A}_2(^4\text{F}) \rightarrow ^4\text{T}_1(^4\text{P})$ และ $^2\text{T}_2 \rightarrow ^2\text{T}$ ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงบรายได้จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ประจำปีงบประมาณ 2568 ภายใต้โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นเลิศทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2568



6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] A.M. Abdelghany, G. El-Damrawi, A.H. Oraby and M.A. Madshal, (2018), Optical and FTIR structural studies on CoO-doped strontium phosphate glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 499, 153–158.
- [2] A. M. Fayad, Kh.S. Shaaban, W.M. Abd-Allah and M. Ouis, (2020), Structural and Optical Study of CoO Doping in Borophosphate Host Glass and Effect of Gamma Irradiation, *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30, 5042–5052.
- [3] A.M. Abdelghany, G. El-Damrawi, A.H. Oraby, M.A. Madshal, (2019). A.C conductivity and dielectric properties of CoO doped SrO-P₂O₅ glasses, *Physica B: Condensed Matter*, 573, 22-27.
- [4] R.K. Guntu, Y. Rambabu, T. Srikumar, and Ch Srinivasa Rao, (2020), Thermo spectral advances of CoO doped alkali bismuth phospho silicate glasses for thermo and photoluminescence applications, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 533, 119901.
- [5] I. Krol, R. Avetisov, M. Zykova, K. Kazmina, O. Barinova, (2022), Zinc borosilicate glasses doped with Co²⁺ ions: Synthesis and optical properties, *Optical Materials*, 132, 112768.
- [6] N. Mahingsa, N. Siristtipokakun, J. Kaewkhao, K. Kirdsiri, (2023), Physical and Optical Properties of CuO Doped in Soda Lime Silicate Glasses Produced from Waste Glass Cullet, *Integrated Ferroelectric*, 238, 238–245.
- [7] P. Mangthong, N. Srisittipokakun, R. Rajaramakrishna, J. Kaewkhao, (2023), Study on the Physical, Optical and Luminescence Properties of the Cr-Doped Recycled Waste Glass, *Integrated Ferroelectric*, 238, 271–279.
- [8] A.S. Alqarni, M.S. Sadeq, H.Y. Amin, [2024], Structure, electronic transitions, and ligand field parameters of CoO-Na₂O-borate glass via different La₂O₃ concentrations, *Ceramics International*, 50(22), 47145-47156.
- [9] H.Y. Amin, A. Samir, M.A. Hassan, F. Ahmad, A. Saeed, M.S. Sadeq, (2024), Environmental influences of BaO on structure and ligand field parameters of Co²⁺ inside K₂O–Al₂O₃–CoO–BaO–B₂O₃ glass, *Optical Materials*, 149, 115056.