

การเตรียมแก้วสีเขียวจากซีเถ้าแอลบที่เตรียมโดยเทคนิคไมโครเวฟ

นครินทร์ สิงคิบุรินทร์^{1,2}, ณัฐวิภา สุวรรณเกิด^{1,2} และกীরติ เกิดศิริ^{1,2*}

¹สาขาวิชาวัสดุและอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*nook.1401@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำเพื่อพัฒนากระบวนการเตรียมแก้วสีเขียวจากซีเถ้าแอลบด้วยเทคนิคไมโครเวฟ โดยสูตรแก้วมีอัตราส่วนของสารดังนี้ 10SiO_2 : $(50-x)\text{B}_2\text{O}_3$: $10\text{Na}_2\text{O}$: 30ZnO : $x\text{Cr}_2\text{O}_3$ ร้อยละโดยโมล เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของโครเมียมออกไซด์ (0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล) จากนั้นทำการหลอมแก้วด้วยเทคนิคเตาไมโครเวฟ แล้วทำการวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของแก้วได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง และสีในระบบ CIE L^*a^*b พบว่าค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Cr_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลง สวนทางกับปริมาณความเข้มข้นของ Cr_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 – 1,100 นาโนเมตร พบพีคของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 430 และ 612 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนชั้นพลังงานจากชั้น $^4\text{A}_{2g}$ ไปยังชั้น $^4\text{T}_{1g}$ และ $^4\text{T}_{2g}$ ตามลำดับ

คำสำคัญ: เทคนิคไมโครเวฟ สีเขียว ค่าดัชนีหักเห แก้วบอโรซิลิเกต ซีเถ้าแอลบ

Preparation of green glass from rice husk ash prepared by microwave technique

Nakarin Singkiburin^{1,2}, Natvipa Suwannakerd^{1,2} and Keerati Kirdsiri^{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

*nook.1401@gmail.com

Abstract

This research was conducted to develop a process for preparing green glass from rice husk ash using microwave technology. The glass composition was formulated with the following molar ratios: 10SiO_2 : $(50-x)\text{B}_2\text{O}_3$: $10\text{Na}_2\text{O}$: 30ZnO : $x\text{Cr}_2\text{O}_3$, where x represents the concentration of chromium oxide (0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, and 0.05 mol%). The glass was melted using a microwave furnace, and various 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 both density and refractive index tended to increase with higher Cr_2O_3 concentrations, while molar volume tended to decrease inversely with the increasing Cr_2O_3 concentration. Light absorption in the wavelength range of 200–1,100 nanometers revealed absorption peaks at approximately 430 and 612 nanometers. These peaks were attributed to energy level transitions from $^4\text{A}_{2g}$ to $^4\text{T}_{1g}$ and $^4\text{T}_{2g}$, respectively.

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

1. บทนำ

อุตสาหกรรมแก้วและกระจกเป็นอุตสาหกรรมสำคัญของไทยที่สร้างรายได้เข้าสู่ประเทศอย่างต่อเนื่อง โดยไทยเป็นศูนย์กลางการผลิตในภูมิภาคอาเซียน มีโรงงานผลิตมากกว่า 200 แห่ง ครอบคลุมทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า ก่อสร้าง และอาหารและเครื่องดื่ม การส่งออกผลิตภัณฑ์แก้ว เช่น ขวดและบรรจุภัณฑ์แก้ว มีแนวโน้มขยายตัว 20-30% คิดเป็นมูลค่าหลายพันล้านบาท และช่วยเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบในประเทศ เช่น ทราย หินปูน และแร่ฟันม้า อีกทั้งแก้วยังเป็นวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะสามารถรีไซเคิลได้ 100% อย่างไรก็ตาม การผลิตแก้วด้วยวิธีดั้งเดิมต้องใช้อุณหภูมิหลอมสูงถึง 1,600 องศาเซลเซียส ทำให้ต้นทุนพลังงานสูง โดยเฉพาะสำหรับธุรกิจขนาดเล็กที่ไม่ต้องการผลิตแก้วจำนวนมาก หากพัฒนากระบวนการหลอมแก้วใหม่ เช่น การใช้เทคนิคไมโครเวฟจะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพได้อย่างมีนัยสำคัญ เทคนิคไมโครเวฟใช้คลื่นไมโครเวฟสร้างความร้อนผ่านวัสดุดูดซับ ทำให้พลังงานถูกใช้เฉพาะจุดและลดระยะเวลาการหลอมลง อีกทั้งยังควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำ ลดโอกาสแก้วเสียหาย และ

ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่า เพราะไม่พึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล แม้กระนั้น กระบวนการดั้งเดิมยังเหมาะสำหรับการผลิตแก้วจำนวนมากที่ต้องการกำลังการผลิตสูงกว่า

ภูมิภาคตะวันตก โดยเฉพาะจังหวัดสุพรรณบุรี เป็นแหล่งปลูกข้าวสำคัญของไทย มีพื้นที่ปลูกข้าวกว่า 958,600 ไร่ในปี พ.ศ. 2560-2561 นอกจากผลผลิตข้าวแล้ว การสีข้าวยังสร้างแกลบเป็นผลพลอยได้ซึ่งมักใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบข้าว อย่างไรก็ตาม การเผาแกลบก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกที่เสียกว่า 5,000 ตันต่อปี ขี้เถ้าแกลบที่ไม่ได้รับการจัดการจะฟุ้งกระจาย ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพ และชุมชน เนื่องจากมีอนุภาคซิลิกาซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ เช่น มะเร็งปอด โรคซิลิโคซิส และโรคติดเชื้อนิวโมเนีย การจัดการขี้เถ้าแกลบอย่างยั่งยืนจึงมีความสำคัญ ทั้งในด้านการปกป้องสิ่งแวดล้อม สุขภาพของประชาชน และการลดผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตในชุมชน การพัฒนาแนวทางใช้ประโยชน์จากขี้เถ้าแกลบ เช่น ในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ จะช่วยลดของเสียและเพิ่มมูลค่าได้ในระยะยาว

แก้วบอโรซิลิเกตเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่โดดเด่นเนื่องจากมีส่วนประกอบหลักเป็นซิลิกา (SiO_2) และบอริกออกไซด์ (B_2O_3) ซึ่งให้ความต้านทานสูงต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (thermal shock resistance) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อนที่ต่ำมาก จึงสามารถทนต่อความร้อนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วโดยไม่แตกกร้าว นอกจากนี้ยังทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เช่น กรดและด่างได้ดี ทำให้เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการความเสถียรทางเคมี ในเชิงอุตสาหกรรม แก้วบอโรซิลิเกตถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการความแข็งแรงและทนทาน เช่น เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ หลอดไฟ ภาชนะบรรจุยา อุปกรณ์ครัวที่ใช้กับเตาอบ และกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ คุณสมบัติที่ผสมผสานระหว่างความทนทาน ความโปร่งใส และความเสถียรทางเคมีทำให้แก้วชนิดนี้มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และพลังงานที่ต้องการวัสดุประสิทธิภาพสูง

การพัฒนาแก้วสีเขียวจากขี้เถ้าแกลบเป็นนวัตกรรมที่ช่วยลดของเสียจากกระบวนการสีข้าวและเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง ขี้เถ้าแกลบที่มีปริมาณซิลิกาสูงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตแก้วสีเขียว โดยผ่านกระบวนการหลอมที่ผสมกับวัตถุดิบอื่น เช่น แคลเซียมออกไซด์และเหล็กออกไซด์ เพื่อให้ได้สีและคุณสมบัติตามต้องการ วิธีนี้ช่วยลดต้นทุนการผลิต ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดขี้เถ้าแกลบ แก้วสีเขียวมีการใช้งานในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น การผลิตบรรจุภัณฑ์ขวดเครื่องดื่ม เนื่องจากสามารถกรองแสง UV และป้องกันการเสื่อมคุณภาพของสินค้า นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างสำหรับกระจกตกแต่งและลดความร้อนในอาคาร รวมถึงอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ใช้กระจกเพื่อลดการสะท้อนแสงและเพิ่มความปลอดภัย และยังสามารถประยุกต์เป็นวัสดุขั้นสูงอีกด้วย [1-5] การพัฒนาแก้วสีเขียวจากขี้เถ้าแกลบจึงเป็นการผสมผสานประโยชน์ด้านนวัตกรรมและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

โครงการวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการเตรียมแก้วสีเขียวจากขี้เถ้าแกลบด้วยเทคนิคไมโครเวฟ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้ ออกแบบสูตรแก้ว และทดลองเตรียมตัวอย่างแก้วเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับเทคนิคการหลอมด้วยไมโครเวฟ จากนั้นจึงนำสูตรแก้วที่ได้มาเจือสารให้สีเขียว และหาเงื่อนไขที่เหมาะสม เมื่อได้ตัวอย่างแก้วสีแล้วจึงทำการศึกษาสมบัติของตัวอย่างแก้วสี ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเหแสง ค่าการดูดกลืนแสง และค่าสี

2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำเพื่อศึกษาผลการเจือสีของแก้วจากสูตร $10\text{SiO}_2 \cdot (50-x)\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{Na}_2\text{O} \cdot 30\text{ZnO} \cdot x\text{Cr}_2\text{O}_3$ (เมื่อ x เท่ากับ 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล) โดยเริ่มจากคำนวณสารจากสูตรแก้วและชั่งสารใส่เข้าหลอม จากนั้นนำเข้าเตาไมโครเวฟโดยมีขั้นตอนการหลอมแก้วดังนี้ นำส่วนผสมที่เตรียมไว้ใส่เข้าหลอม นำเข้าเตาไมโครเวฟแล้วให้กำลังไฟฟ้ากับตั้งเวลาที่ 1000 วัตต์ เป็นเวลา 25 นาที จากนั้นเมื่อครบเวลาหลอมเปิดฝาดานำเอาแก้วหลอมออกจากเตาเผา และเทน้ำแก้วเหลวลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ ทิ้งไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยขั้นตอนการเทแก้วจะต้องทำอย่างรวดเร็ว เนื่องจากน้ำแก้วเหลวจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น

ตามอุณหภูมิที่ลดลงจนกลายเป็นของแข็ง หลังจากนั้นนำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปขัดให้มีขนาด $1.0 \times 1.5 \times 0.3$ ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของแก้วได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง และสีในระบบ CIE L^*a^*b

3. ผลการวิจัย

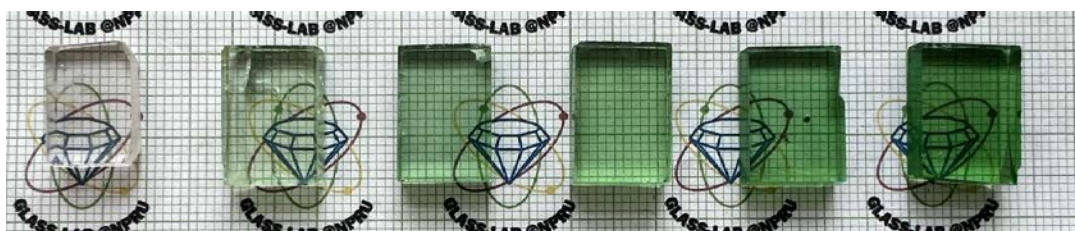
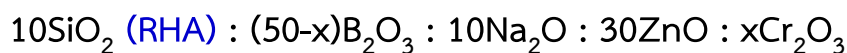
องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างซีเถ้าเคลือบ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยลงพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีซึ่งเป็นจังหวัดที่มีการปลูกข้าว และสีข้าวปริมาณมาก โดยมุ่งเป้าไปที่อุตสาหกรรมโรงสี เนื่องจากเป็นแหล่งรวบรวมข้าวจากเกษตรกรในชุมชนย่อยเพื่อมาสีรวมกัน ทำให้มีปริมาณข้าวมากกว่าการลงพื้นที่เก็บจากเกษตรกรรายย่อย หลังจากทำการเก็บตัวอย่างซีเถ้าเคลือบจากโรงสีมาแล้ว ทางผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในซีเถ้าเคลือบด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence-EDXRF) ของบริษัท Panalytical รุ่น Minipal-4 โดยจะพิจารณาที่ปริมาณ SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลัก ทั้งนี้เนื่องจาก SiO_2 เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการนำไปใช้ในการหลอมแก้ว ซึ่งจะพบว่าซีเถ้าเคลือบของโรงสีนั้นมีปริมาณ SiO_2 ค่อนข้างสูง (มากกว่าร้อยละ 90) แต่ทั้งนี้ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่สำคัญซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการศึกษาในแก้วได้ เช่น แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) และ ทองแดง (Cu) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างซีเถ้าเคลือบก่อนและหลังเผา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

องค์ประกอบของธาตุในซีเถ้าเคลือบ	อุณหภูมิการเผา (องศาเซลเซียส)				
	ไม่ได้เผา	400	600	800	1000
Si	83.656	92.401	92.771	93.092	93.195
K	12.134	5.479	5.271	5.048	4.843
Ca	3.492	1.693	1.538	1.438	1.539
Mn	0.468	0.187	0.186	0.185	0.184
Fe	0.185	0.195	0.193	0.196	0.195
Cu	0.017	0.007	0.006	0.007	0.007
Zn	0.048	0.038	0.035	0.034	0.037

จากผลการทดลองหลอมแก้วที่เติมออกไซด์ของ Cr_2O_3 พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่เติมออกไซด์ของ Cr_2O_3 มีลักษณะใสไม่มีสี และเมื่อเติมออกไซด์ของ Cr_2O_3 มีลักษณะใส และมีสีเขียวอ่อน ๆ ซึ่งสีดังกล่าวจะมีความเข้มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของออกไซด์ของ Cr_2O_3 มากขึ้น ดังภาพที่ 1



0.00 mol% 0.01 mol% 0.02 mol% 0.03 mol% 0.04 mol% 0.05 mol%

ภาพที่ 1 แก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ Cr_2O_3 ในปริมาณต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมล

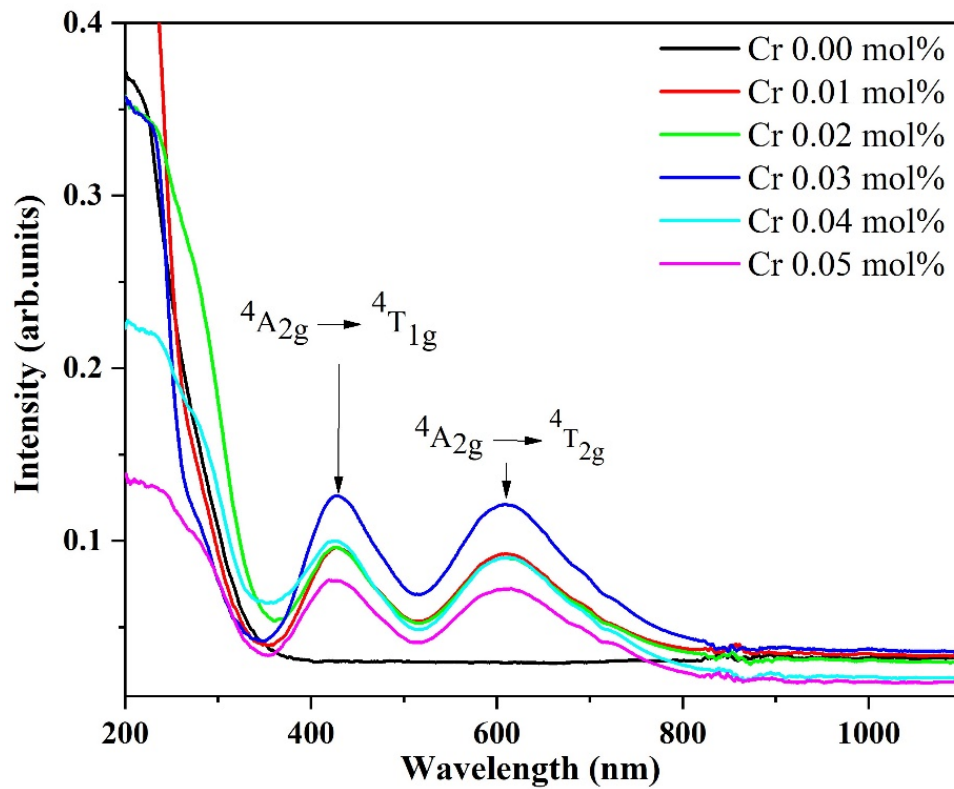
จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของแก้วที่เติม Cr_2O_3 ในช่วงความเข้มข้น 0.00–0.05 ร้อยละโดยโมล พบว่าความหนาแน่นของแก้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Cr_2O_3 ที่เติม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.9088 ± 0.0001 ถึง 2.9346 ± 0.0001 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเป็นผลจากการที่ Cr_2O_3 ซึ่งมีมวลโมเลกุลมากกว่าเข้าไปแทนที่ B_2O_3 ในโครงสร้างแก้ว ในขณะเดียวกัน ค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วกลับลดลงจาก 24.5556 เหลือ 24.3278 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล แสดงให้เห็นว่า Cr_2O_3 ที่เติมเข้าไปมีบทบาทในการสร้างพันธะออกซิเจนแบบเชื่อมโยง (bridging oxygen) มากขึ้น ทำให้โครงสร้างแก้วมีความหนาแน่นแน่นขึ้น และช่องว่างระหว่างอะตอมลดลง ซึ่งถือเป็นลักษณะของสารประเภท Intermediate ที่ส่งผลต่อโครงสร้างระดับอะตอมของแก้วโดยตรง นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าดัชนีหักเหของแก้วเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Cr_2O_3 เช่นกัน โดยมีค่าระหว่าง 1.6444 ± 0.0001 ถึง 1.6528 ± 0.0001 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีไดอิเล็กตริก ที่ระบุว่าค่าดัชนีหักเหจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มขึ้น หรือเมื่ออะตอมในโครงสร้างมีความสามารถในการเกิดขั้วไฟฟ้าได้ดีขึ้น โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่น ค่าปริมาตรเชิงโมล และค่าดัชนีหักเหของแก้วที่เติม Cr_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ Cr_2O_3 (ร้อยละโดยโมล)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ดัชนีหักเห	ปริมาตรเชิงโมล (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล)
0.00	2.9088 ± 0.0001	1.6444 ± 0.0001	24.5556
0.01	2.9149 ± 0.0001	1.6454 ± 0.0001	24.5015
0.02	2.9193 ± 0.0001	1.6468 ± 0.0001	24.4625
0.03	2.9248 ± 0.0003	1.6504 ± 0.0001	24.4135
0.04	2.9294 ± 0.0001	1.6516 ± 0.0001	24.3734
0.05	2.9346 ± 0.0001	1.6528 ± 0.0001	24.3278

ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสง (absorption spectra)

จากการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 – 1,100 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ Cr_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล พบพีกของการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 430 และ 612 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนชั้นพลังงานจากชั้น $^4\text{A}_{2g}$ ไปยังชั้น $^4\text{T}_{1g}$ และ $^4\text{T}_{2g}$ ตามลำดับ [6-8] ดังภาพที่ 2 จากการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นนี้ ทำให้สีของแก้วที่มองเห็นมีสีเขียว และมีความเข้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของปริมาณ Cr_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น



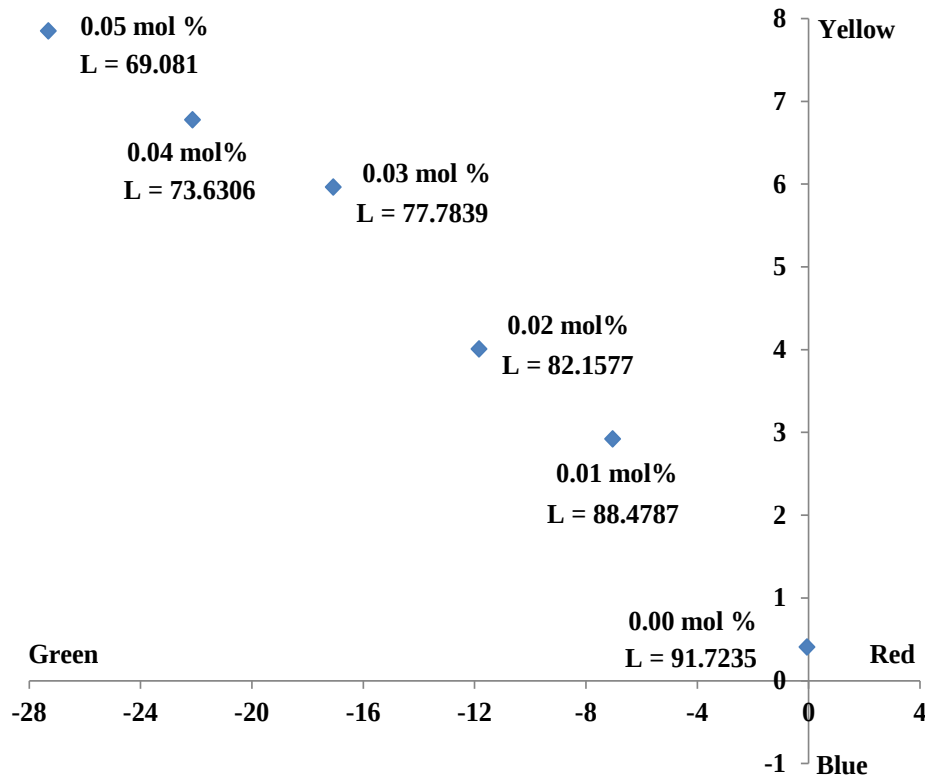
ภาพที่ 2 สเปกตรัมการดูดกลืนของแก้วที่เติม Cr_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ผลการวิเคราะห์สีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$

จากการวิเคราะห์สีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ Cr_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ Cr_2O_3 ที่เพิ่มขึ้น โดยค่า a^* จะมีค่าอยู่ระหว่าง -0.0579 ถึง -27.3145 ส่วนค่า b^* จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4072 ถึง 7.8513 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยค่าสีมีพิกัดอยู่ในแกน $-a$ และ $+b$ ซึ่งเป็นพิกัดของแกนสีเขียว และสีเหลือง จึงทำให้แก้วตัวอย่างมีสีเขียว ดังแสดงในภาพที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสีของแก้วที่เติม Cr_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ Cr_2O_3 (ร้อยละโดยโมล)	Color measurement		
	L^*	a^*	b^*
0.00	87.6343	-0.3185	1.3802
0.01	89.0136	-10.1118	24.7183
0.02	75.7532	-15.2065	27.0261
0.03	79.8777	-20.1117	41.4746
0.04	78.7400	-23.6100	49.7304
0.05	74.9058	-23.4073	54.9082



ภาพที่ 3 ค่าสีระบบ CIE L*a*b* ของแก้วที่เติม Cr₂O₃ ที่ความเข้มข้นต่างๆ

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำเพื่อพัฒนากระบวนการเตรียมแก้วสีเขียวจากซีเถ้าเคลือบด้วยเทคนิคไมโครเวฟ โดยสูตรแก้วมีอัตราส่วนของสารดังนี้ 10SiO₂: (50-x)B₂O₃: 10Na₂O: 30ZnO: xCr₂O₃ ร้อยละโดยโมล เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของโครเมียมออกไซด์ (0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล) จากนั้นทำการหลอมแก้วด้วยเทคนิคเตาไมโครเวฟโดยมีขั้นตอนการหลอมแก้วดังนี้ นำส่วนผสมที่เตรียมไว้ใส่เข้าหลอม นำเข้าเตาไมโครเวฟแล้วให้กำลังไฟฟ้ากับตั้งเวลาที่ 1000 วัตต์ เป็นเวลา 25 นาที จากนั้นเมื่อครบเวลาหลอมเปิดฝาดานำเอาแก้วหลอมออกจากเตาเผาและเทน้ำแก้วเหลวลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ทิ้งไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยขั้นตอนการเทแก้วจะต้องทำอย่างรวดเร็ว เนื่องจากน้ำแก้วเหลวจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ลดลงจนกลายเป็นของแข็ง หลังจากนั้นนำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปขัดให้มีขนาด 1.0 × 1.5 × 0.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของแก้วได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง และสีในระบบ CIE L*a*b* พบว่าแก้วที่เติมด้วย Cr₂O₃ ความเข้มข้นร้อยละ 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 โดยโมล พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่เติมออกไซด์ของ Cr₂O₃ มีลักษณะใสไม่มีสี และเมื่อเติมออกไซด์ของ Cr₂O₃ มีลักษณะใส และมีสีส้มอ่อนๆ ซึ่งสีดังกล่าวจะมีความเข้มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของออกไซด์ของ Cr₂O₃ มากขึ้น มีค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Cr₂O₃ ที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลง สวนทางกับปริมาณความเข้มข้นของ Cr₂O₃ ที่เพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 – 1,100 นาโนเมตร พบพีคของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 430 และ 612 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนชั้นพลังงานจากชั้น ⁴A_{2g} ไปยังชั้น ⁴T_{1g} และ ⁴T_{2g} ตามลำดับ Cr₂O₃ มากขึ้น เมื่อทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางแสงของแก้วตัวอย่างพบว่าค่าความหนาแน่น และค่าดัชนีหักเห มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Cr₂O₃ ที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลงส่วนทางกับปริมาณความเข้มข้นของ Cr₂O₃ ที่เพิ่มมากขึ้น การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 - 1100 นาโนเมตร เกิดขึ้นช่วงความยาวคลื่นประมาณ

631 นาโนเมตร เกิดจากการดูดกลืนพลังงานในสถานะพื้น ($^4A_{2g}(F)$) ไปยังสถานะกระตุ้น $^4T_{2g}(F)$ เป็นช่วงการดูดกลืนแสงส้ม - แดง อีกทั้งยังพบว่าฟิสิกการดูดกลืนในช่วงพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่มายังช่วงความยาวคลื่นยาว เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Cr_2O_3 การวิเคราะห์ค่าสีของแก้วตัวอย่างพบว่าค่าความสว่าง (L^*) ไม่ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ Cr_2O_3 ที่เพิ่มขึ้น โดยค่า a^* จะมีค่าอยู่ระหว่าง -0.3185 ถึง -23.4073 ส่วนค่า b^* จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.3802 ถึง 54.9082 ทั้งนี้เมื่อทำการนำค่าสีไปเปรียบเทียบกับค่าสีของเพริตอตจริงในธรรมชาติ พบว่าพบว่าแก้วที่เติม Cr_2O_3 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยโมล มีค่า L^* อยู่ที่ 89.0136 ค่า a^* อยู่ที่ -10.1118 และ ค่า b^* อยู่ที่ 24.7183 มีค่าสีที่ใกล้เคียงกับเพริตอตจริงในธรรมชาติ และลักษณะทางกายภาพที่ความสอดคล้องกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนจนสามารถได้จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ประจำปีงบประมาณ 2567 ภายใต้โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นเลิศทางวิชาการ ประจำปีงบประมาณ 2567

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Varshneya, A.K., 1994, *Fundamental of Inorganic Glasses*, Academic Press, California, pp. 1-58.
- [2] K.J. Rao, 2002, *Structure Chemistry of Glasses*, Elsevier Science, Oxford, pp. 2-7.
- [3] Doremus, R.H., 1994, *Glass Science*, 2nd^{ed.}, John Wiley and Sons Inc., New York, pp. 1-27.
- [4] L. Xinzhu, L. Zhiwei, T. Juxia, L. Xinyu, L. Haozhang, W. Yiren, L. Anxian, 2024. "Effects of Cr_2O_3 doping on crystallization behavior and electrochemical properties of $Li_2O-Al_2O_3-TiO_2-P_2O_5-SiO_2$ glass-ceramics", *Ceramics International*, Vol. 50 (16), pp. 28361-28371
- [5] S.A. Alshehri, A. Maatouk, R.M. Almotawa, A.A.H. Basry, S.M. Abu El Hassan, A.A. Abul-Magd, 2024. "Influence of La^{3+} ions on the structural, elastic, optical, and radiation shielding properties of Cr_2O_3 -Doped heavy metal glasses", *Ceramics International*, Vol. 50 (21), pp. 44467-44477.
- [6] L.S. Rao, S. Hussain, A. Navalika, B. C. Rao, T.V. Rao, F.C. Hila, 2023, "Effect of ZnO nanoparticles on physical, optical and radiation shielding properties of $Bi_2O_3-B_2O_3-Cr_2O_3$ glasses", *Results in Optics*, Vol. 12, Article Number 100491.
- [7] B. Srinivas, A. Bhogi, P. Naresh, M.N. Chary, Md. Shareefuddin, Z.A. Alrowaili, Z.M.M. Mahmoud, I.O. Olarinoye, M.S. Al-Buriah, 2022, "Fabrication, optical and radiation shielding properties of $BaO-TeO_2-B_2O_3-Cr_2O_3$ glass system", *Optik*, Vol. 258, Article Number 168877.
- [8] V. Deng, B. Yao, S. Wang, H. Li, Z. Fu, H. Chen, 2021, "Effect of Cr_2O_3 on structural and magnetic properties of $SiO_2-B_2O_3-Fe_2O_3-Al_2O_3-Na_2O$ glass-ceramics", *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 273, Article Number 125104.