

ผลของความเข้มข้นโครเมียม (III) ออกไซด์ต่อสมบัติทางแสงและกายภาพของแก้วที่เตรียมจากผักตบชวา

ธนพร สมัครการ^{1,2} และ วัชรินทร์ ราชนิยม^{1,2*}

¹สาขาวิชาวัสดุและอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม

²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์, นครปฐม

*watcharinratniyom601@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเติมโครเมียม (III) ออกไซด์ ในปริมาณที่ต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางทัศนศาสตร์ของแก้วที่เตรียมจากผักตบชวา โดยใช้ซีเถ้าจากผักตบชวาเป็นแหล่งวัตถุดิบหลักเพื่อทดแทนสารกลุ่มตัวปรับเปลี่ยนโครงสร้างอย่าง CaO และ K₂O ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวาพบปริมาณ K₂O (55.31 ร้อยละโดยน้ำหนัก) และ CaO (36.31 ร้อยละโดยน้ำหนัก) เป็นส่วนประกอบสำคัญ จากการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของ Cr₂O₃ เพิ่มขึ้นจาก 0.00 ถึง 0.05 ร้อยละโดยโมล ค่าความหนาแน่นของแก้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 2.5467 เป็น 2.5515 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของมวลโมเลกุลเฉลี่ยของระบบ ในขณะที่ปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลงจาก 25.1163 เหลือ 25.0872 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวบ่งชี้ถึงการจัดเรียงตัวของโครงสร้างแก้วที่หนาแน่นขึ้น ค่าดัชนีหักเห เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารที่เจือจาก 1.5382 เป็น 1.5415 อันเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของค่าสภาพขั้วได้รวมของอิเล็กตรอนในโมเลกุล จากกราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงปรากฏแถบการดูดกลืนเด่นชัดในช่วงความยาวคลื่น 442 nm และ 633 nm ซึ่งอธิบายได้ด้วยทฤษฎีสถานะผลึกจากการเปลี่ยนระดับพลังงานอิเล็กตรอนในวงโคจร d ของไอออน Cr³⁺ ในโครงสร้างรูปทรงแปดหน้าส่งผลให้ลักษณะปรากฏของแก้วเปลี่ยนจากใสสีเหลืองอ่อนเป็นสีเขียวเข้มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับผลการวัดค่าสีในระบบ CIE L*a*b* ที่พบว่าค่าความสว่าง (L*) ลดลงจาก 81.0465 เหลือ 55.4027 และค่าความเป็นสีเขียว (-a*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก -1.6312 เป็น -18.1764 ข้อมูลทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าการใช้ผักตบชวาร่วมกับการเจือด้วย Cr₂O₃ สามารถพัฒนาเป็นวัสดุแก้วที่มีสมบัติเฉพาะตัวทางทัศนศาสตร์และมีความเสถียรทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรมวัสดุศาสตร์ต่อไป

คำสำคัญ: แก้ว สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง ผักตบชวา โครเมียมออกไซด์

Effect of chromium (III) oxide concentration on optical and physical properties of glasses prepared from *Eichhornia crassipes*

Thanaporn Samakkan^{1,2} and Watcharin Rachniyom^{1,2*}

¹Medical Material and Equipment Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

²Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

*watcharinratniyom601@hotmail.com

Abstract

This research aims to investigate the influence of varying concentrations of chromium (III) oxide on the physical and optical properties of glass prepared from water hyacinth. Water hyacinth ash was utilized as a primary raw material to substitute conventional network modifiers such as CaO and K₂O. Chemical composition analysis of the water hyacinth ash revealed significant amounts of K₂O (55.31 wt%) and CaO (36.31 wt%) as key constituents. Experimental results indicated that as the Cr₂O₃ concentration increased from 0.00 to 0.05 mol%, the glass density exhibited an increasing trend from 2.5467 to 2.5515 g/cm³. This correlates with the rise in the average molecular weight of the system, while the molar volume decreased from 25.1163 to 25.0872 cm³/mol. Such changes signify a more compact structural arrangement within the glass network. The refractive index also increased with the dopant concentration, rising from 1.5382 to 1.5415, resulting from an increase in total molecular electronic polarizability. Optical absorption spectra displayed prominent absorption bands at wavelengths of 442 nm and 633 nm. These can be explained by Crystal Field Theory, specifically the electronic transitions within the d-orbitals of Cr³⁺ ions in an octahedral coordination, which caused the glass appearance to shift continuously from Light yellow and transparent to a deeper green. This is consistent with color measurement results in the CIE L*a*b* system, where the brightness (L*) decreased from 81.0465 to 55.4027 and the greenness (-a*) significantly increased from -1.6312 to -18.1764. These findings demonstrate that integrating water hyacinth with Cr₂O₃ doping can lead to the development of glass materials with unique optical properties and physical stability suitable for further applications in the materials science industry.

Keywords: Glass, Physical Properties, Optical Properties, *Eichhornia crassipes*, Chromium oxide

1. บทนำ

อุตสาหกรรมแก้วและกระจกในปัจจุบันกำลังก้าวเข้าสู่ยุคแห่งการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ โดยได้รับแรงขับเคลื่อนจากความต้องการในภาคการก่อสร้าง ยานยนต์ และบรรจุภัณฑ์ที่เพิ่มสูงขึ้น ข้อมูลทางการตลาดระบุว่ามูลค่าตลาดการผลิตแก้วทั่ว

โลกมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยคาดการณ์ว่าจะสูงถึง 151.77 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2025 [1] อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมนี้กำลังเผชิญกับความท้าทายด้านสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง โดยเฉพาะความต้องการลดการใช้พลังงานในกระบวนการหลอมและการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้แนวโน้มของโลกมุ่งเน้นไปที่การวิจัยและพัฒนา "แก้วสีเขียว" หรือวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น รวมถึงการเสาะหาวัตถุดิบทดแทนจากธรรมชาติหรือวัสดุเหลือทิ้งเพื่อนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตแก้ว (SiO_2) ซึ่งเป็นการตอบสนองต่อโมเดลเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ที่ทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญ [2]

ในประเทศไทย ปัญหาผักตบชวายังคงเป็นปัญหาระดับชาติที่ส่งผลกระทบในวงกว้าง โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันตก ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำสำคัญ เช่น ลุ่มน้ำเจ้าพระยาและลุ่มน้ำท่าจีน จากรายงานสถานการณ์น้ำและวัชพืชทางน้ำ พบว่ามีการสะสมของผักตบชวาในปริมาณมหาศาล ซึ่งเป็นวัชพืชที่มีอัตราการขยายพันธุ์รวดเร็ว โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) ได้ใช้เทคโนโลยีดาวเทียมติดตามและพบการกีดขวางทางน้ำในหลายจุดสำคัญ (GISTDA, 2023) การแพร่กระจายอย่างหนาแน่นของผักตบชวาไม่เพียงแต่เป็นอุปสรรคต่อการสัญจรทางน้ำและการระบายน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก แต่ยังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ โดยการปิดกั้นแสงแดดและลดปริมาณออกซิเจนในน้ำ ซึ่งส่งผลเสียโดยตรงต่อวิถีชีวิตของประชาชนริมฝั่งน้ำและการประกอบอาชีพประมง [3] การนำเถ้าจากผักตบชวาที่มีองค์ประกอบของซิลิกาสูง มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก้วจึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดปริมาณขยะและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัชพืชไร้ค่าเหล่านี้

แก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate glass) ถือเป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในชีวิตประจำวันและในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีสมบัติเด่นด้านความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน (Thermal shock resistance) และมีความทนทานต่อสารเคมีสูง ทำให้ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย ตั้งแต่เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการบรรจุภัณฑ์เภสัชภัณฑ์ (เช่น ขวดยาและหลอดฉีดยา) ไปจนถึงเครื่องครัวและแผงรับแสงอาทิตย์ [4] โครงสร้างของแก้วชนิดนี้มีความเสถียรสูงเนื่องจากพันธะที่แข็งแรงระหว่างโบรอนและออกซิเจน ทำให้แก้วบอโรซิลิเกตเป็นวัสดุพื้นฐานที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาพัฒนาและปรับปรุงสมบัติด้วยการเติมสารเจือปนต่าง ๆ เพื่อขยายขอบเขตการใช้งาน

การปรับปรุงคุณภาพแก้วด้วยการเติมโลหะทรานซิชันเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างมาก โดยเฉพาะการใช้โครเมียม (III) ออกไซด์ (Cr_2O_3) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการปรับเปลี่ยนสมบัติทางแสงและกายภาพของแก้ว งานวิจัยในช่วงที่ผ่านมาพบว่า การเติม Cr_2O_3 ลงในโครงสร้างแก้วจะทำให้เกิดสีเขียวมรกตที่สวยงามและมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ได้อย่างดีเยี่ยม ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการป้องกันแสง นอกจากนี้ การเพิ่มความเข้มข้นของ Cr_2O_3 ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นและดัชนีหักเหของแก้ว รวมถึงช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับโครงสร้างเครือข่ายของแก้ว [5-9]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นโครเมียม (III) ออกไซด์ ที่มีต่อสมบัติทางแสงและกายภาพของแก้วที่เตรียมจากผักตบชวา โดยกระบวนการวิจัยเริ่มต้นจากการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบส่วนผสมและกระบวนการหลอมเพื่อขึ้นรูปแก้วตัวอย่าง จากนั้นจึงทำการศึกษาผลของการเจือโครเมียม (III) ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหแสง และสมบัติทางแสง ได้แก่ พฤติกรรมการดูดกลืนแสงและค่าฟลักซ์ เพื่อประเมินศักยภาพในการนำไปใช้งานจริง

2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายหลักในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยการนำผักตบชวาจากลุ่มน้ำนครชัยศรีมาใช้เป็นวัตถุดิบต้นน้ำในการสังเคราะห์วัสดุแก้ว กระบวนการเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีอย่างละเอียดเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการออกแบบสูตรแก้ว โดยอาศัยเทคนิคการเรืองแสงรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (EDXRF) ผ่านเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น Minipal-4 (Panalytical) จากนั้นกำหนดสัดส่วนผสมโดยใช้ผักตบชวาเป็นสารตั้งต้นหลัก สารผสมทั้งหมดจะถูกนำไปหลอมเหลวภายใต้อุณหภูมิสูงถึง 1,200 องศาเซลเซียส ภายในเตาหลอมไฟฟ้าจนได้น้ำแก้วที่มีความ

วิธานเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยวิธีการทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Quenching) โดยการเทลงบนแม่พิมพ์แกรไฟต์ และนำชิ้นแก้วที่ได้ไปผ่านกระบวนการอบคืนตัว (Annealing) ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดความเครียดภายในเนื้อวัสดุ ก่อนจะปล่อยให้อุณหภูมิลดลงอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิห้องภายหลังการเตรียมตัวอย่าง แก้วจะถูกนำมาขัดแต่งพื้นผิวให้มีขนาดมาตรฐาน $1.0 \times 1.5 \times 0.3$ ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะอย่างเป็นระบบ ซึ่งครอบคลุมการประเมินสมบัติทางกายภาพ อาทิ ค่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลควบคู่ไปกับการวิเคราะห์สมบัติทางทัศนศาสตร์ ทั้งการวัดค่าดัชนีหักเห ด้วยเครื่อง Abbe refractometer ยี่ห้อ Atago พฤติกรรมการดูดกลืนแสงในย่านสเปกตรัมต่าง ๆ ด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV-3600 และการวัดค่าสีตามระบบมาตรฐาน Commission Internationale de l'Éclairage (CIE $L^*a^*b^*$) เพื่อศึกษาผลกระทบเชิงโครงสร้างและสมบัติทางแสงที่เกิดขึ้นจากการเติมสารเจือโครเมียมที่มีต่อระบบแก้วที่พัฒนาขึ้นจากวัสดุธรรมชาติชนิดนี้ อย่างละเอียด

3. ผลการวิจัย

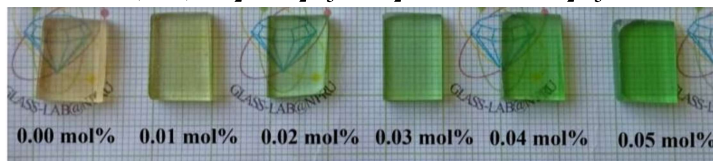
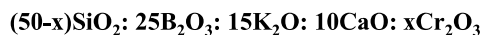
3.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของผักตบชวาด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence: EDXRF) ผ่านเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น Minipal-4 (Panalytical) ซึ่งผลการวิเคราะห์พบปริมาณสารประกอบสำคัญอย่าง K_2O (55.31% โดยน้ำหนัก) และ CaO (36.31% โดยน้ำหนัก) ในสัดส่วนที่สูงเพียงพอสำหรับใช้ทดแทนสารเคมีบริสุทธิ์ในกลุ่ม Network Modifiers ได้โดยตรง ในส่วนของกระบวนการสังเคราะห์ ผู้ออกแบบสูตรได้กำหนดสัดส่วนผสมโดยใช้ผักตบชวาเป็นสารตั้งต้นหลักแทนการใช้ CaO และ K_2O ยิ่งไปกว่านั้น ข้อมูลการวิเคราะห์ยังปรากฏร่องรอยของออกไซด์โลหะทรานซิชันที่มีนัยสำคัญต่อสมบัติทางทัศนศาสตร์และการแสดงพฤติกรรมการดูดกลืนแสงของเนื้อแก้ว ได้แก่ เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสออกไซด์ (MnO) ซึ่งรายละเอียดองค์ประกอบทางเคมีโดยรวมของผักตบชวาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ถูกจำแนกไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างผักตบชวา

สารประกอบ	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	ZnO
ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	2.34	4.18	55.31	36.31	0.93	0.89	0.03	0.03

ข้อมูลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวาถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์หลักในการคำนวณและออกแบบโครงสร้างแก้ว โดยอาศัยผักตบชวาดังกล่าวเป็นแหล่งวัตถุดิบสำคัญของ K_2O และ CaO ตามระบบโครงสร้างแก้ว $(50-x)SiO_2: 25B_2O_3: 15CaO: 10K_2O: xCr_2O_3$ ร้อยละโดยโมล โดยกำหนดให้ x คือความเข้มข้นของโครเมียม (III) ออกไซด์ที่ใช้ในการศึกษาที่ระดับ 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ ในการทดลองนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการนำผักตบชวาเข้าไปแทนที่ CaO และ K_2O ทั้งนี้สำหรับสารอื่น ๆ ในสูตรแก้วจะใช้สารเคมีบริสุทธิ์ในการเตรียม จากการเตรียมแก้วตัวอย่างพบว่า แก้วในชุดควบคุมที่ไม่เติม Cr_2O_3 ($x = 0.0$) มีลักษณะโปร่งใสแต่ปรากฏสีเหลืองอ่อน ซึ่งเป็นอิทธิพลจากออกไซด์ของโลหะทรานซิชันที่ปนเปื้อนอยู่ตามธรรมชาติในผักตบชวา อาทิ เหล็กออกไซด์ Fe_2O_3 และ แมงกานีสออกไซด์ MnO อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของสารให้สีอย่างโครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) เข้าสู่ระบบแก้ว พบว่าลักษณะทางกายภาพของแก้วตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงของโทนสีไปทางสีเขียวที่เข้มข้นขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามสัดส่วนการเจือที่เพิ่มขึ้น ดังที่แสดงในภาพที่ 1



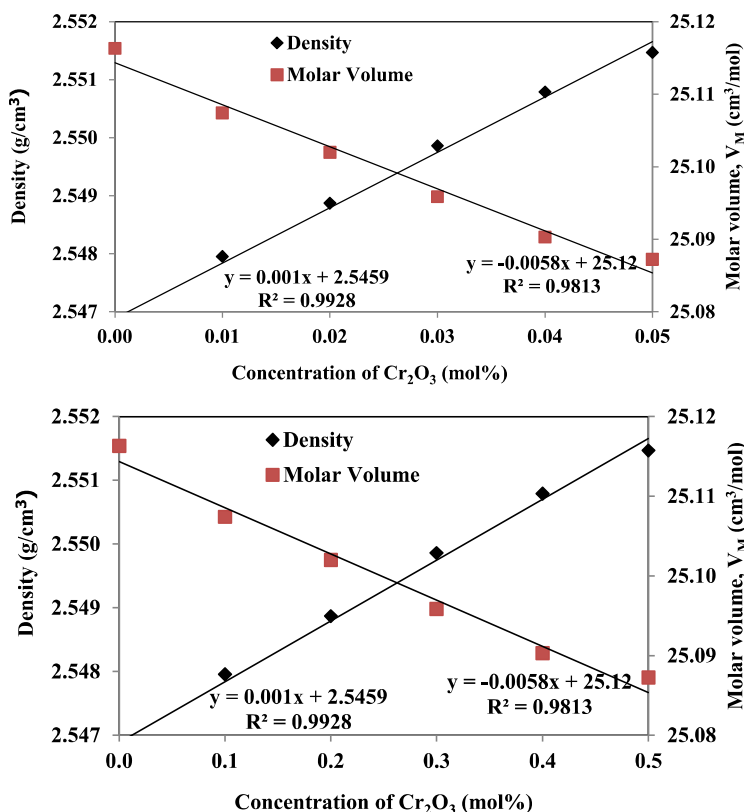
ภาพที่ 1 แก้วตัวอย่างที่เจือ Cr_2O_3 ในความเข้มข้นที่ต่างกัน

3.2 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล และดัชนีหักเห

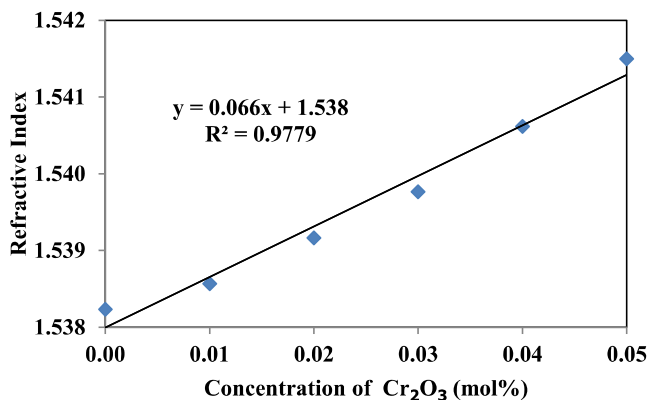
จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแก้วตัวอย่างที่เตรียมจากผักตบชวาเจือด้วย Cr_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ Cr_2O_3 ส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความหนาแน่น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 2) จาก 2.5467 ± 0.0001 ถึง 2.5515 ± 0.0001 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งอธิบายได้ด้วยการเพิ่มขึ้นของมวลโมเลกุลเฉลี่ยของระบบจาก 63.9633 เป็น 64.0093 กรัมต่อโมล เนื่องจาก Cr_2O_3 มีมวลโมเลกุลที่สูงกว่าองค์ประกอบบางส่วนในผักตบชวาที่มี K_2O และ CaO เป็นองค์ประกอบหลัก ขณะที่ค่าปริมาตรเชิงโมลแสดงแนวโน้มในทางตรงกันข้ามโดยมีค่าลดลงจาก 25.1163 ถึง 25.0872 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล ดังรายละเอียดในตารางที่ 2 เมื่อปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้น การลดลงของปริมาตรเชิงโมลนี้บ่งชี้ถึงการเกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างแก้วที่หนาแน่นและกระชับขึ้น โดยไอออนของโครเมียม (Cr^{3+}) เข้าไปเติมเต็มช่องว่างในเครือข่ายของแก้ว หรือทำหน้าที่ดึงดูดไอออนออกซิเจนล้อมรอบให้เกิดพันธะที่แข็งแรงขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างโดยรวมหดตัวลง ในส่วนของสมบัติทางแสงจากการวิเคราะห์ค่าดัชนีหักเห พบว่าการเติมโครเมียม (III) ออกไซด์ (Cr_2O_3) ส่งผลให้ค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังภาพที่ 3 จาก 1.5382 ± 0.0001 ถึง 1.5415 ± 0.0000 ดังแสดงในตารางที่ 2 การเพิ่มขึ้นของดัชนีหักเหยังสอดคล้องกับการลดลงของปริมาตรเชิงโมล ซึ่งหมายถึงการที่อะตอมจัดเรียงตัวกันอย่งหนาแน่นขึ้น ทำให้จำนวนหน่วยที่ก่อให้เกิดสภาพขั้วต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรมีมากขึ้น แสงจึงเดินทางผ่านตัวกลางได้ช้าลงและเกิดการหักเหที่มากขึ้น ในเชิงโครงสร้าง การเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีหักเหอาจบ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนที่มีพันธะเชื่อมโยง (Bridging Oxygens: BOs) ในบางระดับ หรือการเปลี่ยนสภาพพันธะจากพันธะไอออนิกไปเป็นพันธะโคเวเลนต์ที่มากขึ้นภายในโครงข่ายแก้ว

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่น ค่าปริมาตรเชิงโมล และค่าดัชนีหักเหของแก้วที่เติม Cr_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ Cr_2O_3 (ร้อยละโดยโมล)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ดัชนีหักเห	ปริมาตรเชิงโมล (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล)
0.00	2.5467 ± 0.0001	1.5382 ± 0.0001	25.1163
0.01	2.5480 ± 0.0000	1.5386 ± 0.0001	25.1074
0.02	2.5489 ± 0.0000	1.5392 ± 0.0001	25.1020
0.03	2.5499 ± 0.0000	1.5398 ± 0.0001	25.0958
0.04	2.5508 ± 0.0001	1.5406 ± 0.0000	25.0903
0.05	2.5515 ± 0.0001	1.5415 ± 0.0000	25.0872



ภาพที่ 2 ค่าความหนาแน่น และค่าปริมาตรเชิงโมล ของแก้วที่เติม Cr₂O₃ ที่ความเข้มข้นต่างๆ

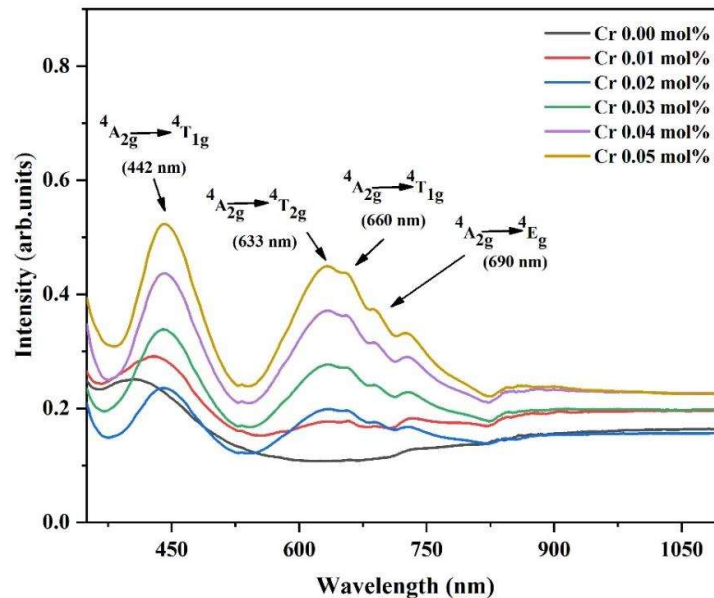


ภาพที่ 3 ค่าดัชนีหักเหของแก้วที่เติม Cr₂O₃ ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.3 ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสง และค่าสีในระบบ CIE L*a*b*

จากการวิเคราะห์กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วที่เจือด้วยโครเมียม (III) ออกไซด์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโครเมียมเพิ่มขึ้นจาก 0.00 เป็น 0.05 ร้อยละโดยโมล ค่าความเข้มของการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในทุกช่วงความยาวคลื่น โดยปรากฏแถบการดูดกลืนแสงหลัก 3 ช่วงที่สำคัญ ได้แก่ บริเวณความยาวคลื่นประมาณ 442 และ 633 นาโนเมตร และมีการซ้อนทับกันของแถบการดูดกลืนในช่วง 660 ถึง 690 นาโนเมตร ในเชิงทฤษฎีทัศนศาสตร์และฟิสิกส์ของธาตุทรานซิชัน ปรากฏการณ์นี้อธิบายได้ด้วย ทฤษฎีสถานะผลึก (Crystal Field Theory) ซึ่งระบุว่าเมื่อไอออนของโครเมียม (Cr³⁺) เข้าไปอยู่ในโครงสร้างแก้วที่มีออกซิเจนล้อมรอบในรูปทรงแปดหน้า (Octahedral coordination) จะเกิด

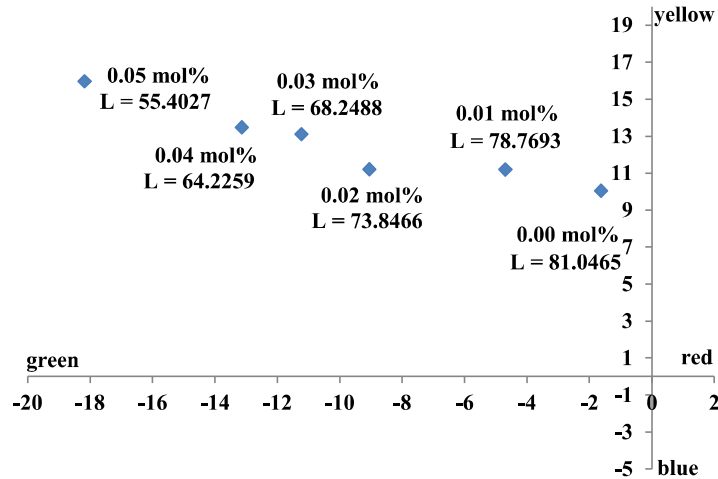
การแยกตัวของระดับพลังงานในวงโคจร d-orbitals ออกเป็นระดับ T_{2g} และ E_g ทำให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน เมื่อได้รับพลังงานจากแสง โดยแถบการดูดกลืนที่ 442 นาโนเมตร เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $^4A_{2g} \rightarrow ^4T_{1g}(F)$ และแถบที่ 633 นาโนเมตร เกิดจาก $^4A_{2g} \rightarrow ^4T_{2g}(F)$ นอกจากนี้บริเวณ 660 และ 690 นาโนเมตร ยังแสดงถึงการเปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะ $^4T_{1g}$ และ ^2E_g ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งเป็นการยืนยันสถานะออกซิเดชันของโครเมียมว่าเป็น Cr^{3+} ในโครงสร้างแบบ Octahedral อย่างสมบูรณ์ การที่ความเข้มของแถบการดูดกลืนเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Cr_2O_3 เป็นไปตาม กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert Law) ที่ระบุว่า การดูดกลืนแสงแปรผันตรงกับความเข้มข้นของตัวดูดกลืนในวัสดุ ส่งผลให้แก้วมีความเข้มสีเขียวที่ชัดเจนขึ้นและมีความโปร่งแสงลดลงเมื่อมีการเจือโครเมียมในปริมาณที่สูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของแก้วมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสี โดยมีค่าความสว่าง (L^*) ลดลงจาก 81.0465 เหลือ 55.4027 และค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) เพิ่มขึ้นอย่างมากจาก -1.6312 เป็น -18.1764 สอดคล้องกับค่า b^* ที่เพิ่มขึ้นจาก 10.0429 เป็น 15.9630 ซึ่งส่งผลให้แก้วมีโทนสีเขียวอมเหลือง ดังแสดงในตารางที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งเมื่อพิจารณาตำแหน่งพิกัดสีในปริภูมิสี (Color Space) พบว่าค่าพิกัดส่วนใหญ่ตกอยู่ในจตุภาค (Quadrant) ระหว่างแกน $-a^*$ และ $+b^*$ ส่งผลให้แก้วตัวอย่างที่เดิมมีลักษณะใสมีสีเหลืองอ่อน ค่อยๆ เปลี่ยนเฉดสีเข้าสู่โทนสีเขียวที่เข้มขึ้นตามสัดส่วนการเจือของไอออนโครเมียม ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนของแก้วที่เติม Cr_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 3 ค่าสีของแก้วที่เติม Cr_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ Cr_2O_3 (ร้อยละโดยโมล)	Color measurement		
	L^*	a^*	b^*
0.00	81.0465	-1.6312	10.0429
0.01	78.7693	-4.6916	11.1970
0.02	73.8466	-9.0508	11.2125
0.03	68.2488	-11.2291	13.1025
0.04	64.2259	-13.1426	13.4787
0.05	55.4027	-18.1764	15.9630



ภาพที่ 5 ค่าสีระบบ CIE L*a*b* ของแก้วที่เติม Cr₂O₃ ที่ความเข้มข้นต่างๆ

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของโครเมียม (III) ออกไซด์ ต่อสมบัติของแก้วที่เตรียมจากผักตบชวาเพื่อทดแทนสารลดอุณหภูมิแบบดั้งเดิม (CaO และ K₂O) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ Cr₂O₃ ในช่วง 0.00 ถึง 0.05 ร้อยละโดยโมล ส่งผลให้ความหนาแน่น และค่าดัชนีหักเหเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของมวลโมเลกุลเฉลี่ยและการจัดเรียงตัวของโครงสร้างที่หนาแน่นขึ้น สอดคล้องกับการลดลงของปริมาตรเชิงโมลซึ่งยืนยันถึงการบีบอัดตัวของโครงข่ายแก้ว การดูดกลืนแสง ปรากฏแถบการดูดกลืนเด่นชัดในช่วงความยาวคลื่น 442 nm และ 633 nm ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานอิเล็กตรอนในวงโคจร d ของไอออน Cr³⁺ ภายใต้สนามผลึกรูปทรงแปดหน้า ส่งผลให้แก้วเปลี่ยนจากสถานะใสมีสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีเขียวอมเหลือง โดยมีค่าความเป็นสีเขียว (-a*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญถึง -18.1764 และค่าความสว่าง (L*) ลดลงเหลือ 55.4027 สรุปได้ว่าการเจือ Cr₂O₃ ไม่เพียงแต่ปรับปรุงความเสถียรทางกายภาพของแก้วจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร แต่ยังให้สมบัติทางทัศนศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นแก้วหน้าต่างพิเศษได้สอดคล้องกับทฤษฎีสนามผลึกและกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงบรายได้จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ประจำปีงบประมาณ 2569 ภายใต้โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นเลิศทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2569

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Fortune Business Insights. (2024). Glass Manufacturing Market Size, Share, Growth & Report, 2032.
- [2] UFP Packaging. (2024). Glass Industry Trends and Predictions for 2024.
- [3] Thailand Environment Institute. (2023). Buoy Loy – A Beautiful but Dangerous Threat to Wetlands. TEI Articles.
- [4] Kings Research. (2024). Borosilicate Glass Market Size, Share & Growth Report 2031.



- [5] L. Xinzhu, L. Zhiwei, T. Juxia, L. Xinyu, L. Haozhang, W. Yiren, L. Anxian, 2024. “Effects of Cr₂O₃ doping on crystallization behavior and electrochemical properties of Li₂O–Al₂O₃–TiO₂–P₂O₅–SiO₂ glass-ceramics”, *Ceramics International*, Vol. 50 (16), pp. 28361-28371.
- [6] S.A. Alshehri, A. Maatouk, R.M. Almotawa, A.A.H. Basry, S.M. Abu El Hassan, A.A. Abul-Magd, 2024. “Influence of La³⁺ ions on the structural, elastic, optical, and radiation shielding properties of Cr₂O₃-Doped heavy metal glasses”, *Ceramics International*, Vol. 50 (21), pp. 44467-44477.
- [7] 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 Bi₂O₃-B₂O₃-Cr₂O₃ glasses”, *Results in Optics*, Vol. 12, Article Number 100491.
- [8] B. Srinivas, A. Bhogi, P. Naresh, M.N. Chary, Md. Shareefuddin, Z.A. Alrowaili, Z.M.M. Mahmoud, I.O. Olorinoye, M.S. Al-Buriahi, 2022, “Fabrication, optical and radiation shielding properties of BaO-TeO₂-B₂O₃-Cr₂O₃ glass system”, *Optik*, Vol. 258, Article Number 168877.
- [9] V. Deng, B. Yao, S. Wang, H. Li, Z. Fu, H. Chen, 2021, “Effect of Cr₂O₃ on structural and magnetic properties of SiO₂-B₂O₃-Fe₂O₃-Al₂O₃-Na₂O glass-ceramics”, *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 273, Article Number 125104.