

ผลของการเจือเมงกานีสไอออนต่อการลดสีในตัวอย่างแก้วที่เตรียมจากซีเถ้าแกลบ

ณัฐพร มะหิงษา^{1*}, ณัฐพล ศรีสิทธิโกศล^{1,2} และกীরติ เกิดศิริ^{1,2}

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*nattaporn211998@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเจือเมงกานีสไอออนในตัวอย่างแก้วที่เตรียมจากซีเถ้าแกลบ โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นของเมงกานีสไอออนที่ต่างกัน โดยสูตรเคมีของตัวอย่างแก้วที่เตรียมในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย $(55-x) \text{SiO}_2$ (RHA): $25\text{B}_2\text{O}_3$: $10\text{Na}_2\text{O}$: 10CaO : $x\text{MnO}_2$ (โดยที่ x คือ ความเข้มข้นของ MnO_2 ที่มีค่า 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ร้อยละ โดยโมลและ RHA คือซีเถ้าแกลบ) จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของซีเถ้าแกลบ พบว่า ในซีเถ้าแกลบมีธาตุซิลิกอนเป็นองค์ประกอบหลัก มีปริมาณร้อยละ 92 โดยน้ำหนัก จึงสามารถใช้เตรียมตัวอย่างแก้วแทนการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์หรือทรายได้ จากนั้นได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางแสงของตัวอย่างแก้ว ผลการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเห มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของ MnO_2 ที่ถูกเติมลงในแก้วตัวอย่างเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณการเจือของ MnO_2 ลงในตัวอย่างแก้ว สำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงไม่พบพีคการดูดกลืนแสงของ MnO_2 เนื่องจากในซีเถ้าแกลบมี Fe_2O_3 เจือปนอยู่ ดังนั้นเมื่อเติม MnO_2 ไปในตัวอย่างแก้วจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน -รีดักชัน ซึ่งส่งผลให้เกิดสีในตัวอย่างแก้วลดลง นอกจากนี้ผลสีของตัวอย่างแก้วในระบบมาตรฐาน CIE $L^*a^*b^*$ พบว่าตัวอย่างแก้วที่เกิดมีลักษณะใส โปร่งแสงมากที่สุด คือ ตัวอย่างแก้วที่เติม MnO_2 ด้วยความเข้มข้น 0.2 ร้อยละโดยโมล ($L^* = 86.7148$, $a^* = -0.8538$, $b^* = 2.7031$) ซึ่งคาดว่าตัวอย่างแก้วนี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาสูตรแก้วสีต่างๆ ได้

คำสำคัญ: ซีเถ้าแกลบ สิ่งเหลือทิ้งจากการเกษตร ปฏิกิริยาออกซิเดชัน - รีดักชัน การเกิดสี การดูดกลืนแสง เมงกานีส

Influence of manganese ions on decolorization effect in glass samples prepared from rice husk ash

Nattaporn Mahingsa^{1*}, Nattapon Srisittipokakun^{1,2} and Keerati Kirdsiri^{1,2}

¹Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University,

²Center of Excellence in Glass Technology and Material Science (CEGM),

Nakhon Pathom Rajabhat University

*nattaporn211998@gmail.com

Abstract

This study investigates the impact of manganese ions on the decolorization effect of glass samples produced from rice husk ash with varying concentrations of manganese ions denoted by $x\text{MnO}_2$ (ranging from 0.0 to 0.5 mol%). The chemical formula of glass composition is represented as $(55-x)\text{SiO}_2$ (RHA): $25\text{B}_2\text{O}_3$: $10\text{Na}_2\text{O}$: 10CaO : $x\text{MnO}_2$. The elemental composition analysis of rice husk ash reveals that it mainly composed of 92%, silicon by weight, suggesting its potential as a substitute for silicon dioxide or sand in glass production. This study further explored the physical and optical properties of the glasses. With increasing MnO_2 concentration, there is a corresponding increase in density and refractive index, on the other hand, molar volume is decreases when increasing MnO_2 . Absorption spectra of MnO_2 are not observable due to the presence of Fe_2O_3 in the rice husk ash. However, doping MnO_2 into the glass samples induces an oxidation-reduction reaction, leading to reduced coloration of the glasses. Furthermore, color analysis using the CIE $L^*a^*b^*$ color space reveals that the glass sample doped with 0.2 mol% of MnO_2 has clearly and transparently ($L^* = 86.7148$, $a^* = -0.8538$, $b^* = 2.7031$). This suggests potential for the development of various colored glasses utilizing this sample.

Keywords: Rice husk ash, Agricultural waste, Oxidation-reduction reaction, Coloration and Absorption, Manganese

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่ง ที่ปลูกข้าวในปริมาณมากและยังมีการส่งออกจำหน่ายไปยังต่างประเทศเป็นลำดับต้นๆ ในบรรดาสินค้าการเกษตรของไทย จากข้อมูลกรมการค้าต่างประเทศสรุปตัวเลขส่งออกข้าวไทยปี พ.ศ. 2566 มีการส่งออกข้าว 8.76 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 178,136 ล้านบาท [1] จากกระบวนการเก็บเกี่ยวข้าวจะได้ผลผลิตคือข้าวเปลือก เมื่อนำข้าวเปลือกมาผ่านกระบวนการสีข้าว ส่วนของข้าวและแกลบจะถูกแยกออกจากกัน โดยที่ข้าวจะถูกนำไปบริโภค ในส่วนของแกลบนั้น เกษตรกรส่วนใหญ่ นำแกลบไปโรยฝังกลบหน้าดิน [2] ใช้ผสมกับปูนเพื่อทำเป็นอิฐ หรือคอนกรีตเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของถนน [3] และยังสามารถนำแกลบที่เหลือไปเผาเพื่อใช้ความร้อนในการอบข้าวเพื่อไล่ความชื้น [4] ซึ่งจะได้เป็นซีเมนต์แกลบที่มีลักษณะสีดำออกมา [5]

ซีเมนต์แกลบ เป็นซีเมนต์แกลบที่มีลักษณะสีดำ เนื้อซีเมนต์มีการคงรูปของแกลบบางส่วน เนื้อแกลบแข็งและเปราะง่าย แต่จะแตกละเอียดหากได้รับแรงกดบีบเป็นแกลบที่ได้จากการเผาอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิไม่เกิน 1,200 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยไม่เกิดเปลวไฟขณะเผาไหม้ ซึ่งประโยชน์ของแกลบนั้น สามารถใช้เป็นวัสดุรองนอนในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ปีก สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนพลังงานจากน้ำมันดิบ และนอกจากนี้สามารถเป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้าง เช่น อิฐบล็อก อิฐมอญ รวมถึงผสมดินเหนียวสำหรับงานก่อสร้างต่างๆ [6, 7]

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบดำพบว่า มีซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ประมาณร้อยละ 80 – 90 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก รวมทั้ง แคลเซียมออกไซด์ (CaO) โพแทสเซียมไดออกไซด์ (K_2O) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และเหล็ก (Fe_2O_3) เป็นองค์ประกอบของเถ้าแกลบ [8, 9] ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนสารเคมี SiO_2 ในการเตรียมแก้วได้

เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ที่เป็นเพื่อนในวัสดุที่มีคุณภาพต่ำ ส่งผลต่อคุณภาพและคุณสมบัติทางแสงของแก้วโดยตรงสาเหตุหลักของสีเขียวที่พบในแก้วมาจากเหล็กออกไซด์ที่อยู่ในแก้ว ซึ่งสามารถอยู่ใน 2 รูปแบบหลัก ประกอบด้วยไอออนเหล็กเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ซึ่งดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 1050 นาโนเมตร ส่งผลให้เกิดสีเขียวอมน้ำเงินในแก้ว และไอออนเหล็กเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ซึ่งดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร ส่งผลให้เกิดสีเขียวอ่อนอมเหลืองในแก้ว จากปฏิกิริยาของเหล็กออกไซด์ใน 2 รูปแบบนี้เกิดขึ้นควบคู่กันไประหว่างกระบวนการหลอมแก้ว โดยสถานะของเหล็กออกไซด์ทั้งสองชนิดขึ้นอยู่กับสถานะรีดอกซ์ (Redox states) ของแก้ว และชนิดของสารเคมีที่เติมลงในสูตรวัสดุ [10] จากการศึกษาทางวิจัยก่อนหน้า [10-12] พบว่าการนำเถ้าแกลบมาใช้แทนสารเคมี SiO_2 นั้นจะทำให้ตัวอย่างแก้วที่เตรียมได้เกิดสีอมเหลืองเนื่องจากในเถ้าแกลบมีเหล็กประกอบอยู่ด้วย

แมงกานีส (Manganese) เป็นธาตุโลหะที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตแก้ว ซึ่งแมงกานีสสามารถทำให้แก้วมีสีต่างๆ ขึ้นอยู่กับสถานะการออกซิเดชันของแมงกานีสในแก้ว เช่น แมงกานีสเฟอร์รัส (Mn^{2+}) ทำให้แก้วมีสีชมพู, แมงกานีสเฟอร์ริก (Mn^{3+}) ทำให้แก้วมีสีม่วง และแมงกานีสไดออกไซด์ (Mn^{4+}) ทำให้แก้วมีสีน้ำตาล อีกทั้งการเติมแมงกานีสในปริมาณน้อยจะช่วยเพิ่มความใสของแก้ว แต่ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้แก้วขุ่นมัว [13]

จากการศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) คือ ปฏิกิริยาที่อะตอม โมเลกุล หรือไอออนเสียอิเล็กตรอน แล้วเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น และปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction) คือ ปฏิกิริยาที่อะตอม โมเลกุล หรือไอออนรับอิเล็กตรอนแล้วเลขออกซิเดชันลดลง ปฏิกิริยารีดอกซ์มีบทบาทสำคัญในการผลิตแก้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตแก้วสีที่มีไอออนของโลหะทรานซิชันและในกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เมื่อโลหะทรานซิชันออกไซด์ถูกเติมลงไปแก้วออกไซด์จะบ่อยครั้งมากที่จะเปลี่ยนเป็นสถานะออกซิเดชันที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของการหลอม เวลาในการหลอม อุณหภูมิ และบรรยากาศของเตาเผา [14] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมแมงกานีสเพื่อเตรียมแก้วที่มีความใสมากที่สุด

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 กระบวนการเตรียมเถ้าแกลบ

ในงานวิจัยนี้ เตรียมตัวอย่างแก้วจากเถ้าแกลบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 200, 400, 600, 800 และ 1,000 องศาเซลเซียส นำไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในเครื่อง X-ray fluorescence spectrometry (Minipal-4, Panalytical) ที่อุณหภูมิห้องพบว่าโดยองค์ประกอบหลักของเถ้าแกลบคือธาตุซิลิกอน, โพแทสเซียม, แคลเซียม และฟอสฟอรัส ซึ่งพบเหล็กและแมงกานีสเจือปนอยู่ นอกจากนี้เมื่อเผาแคลไซน์ (calcination) ในอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะพบว่าธาตุซิลิกอนนั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบที่เผาแคลไซน์

การเผาแคลไซน์ (calcination) (องศาเซลเซียส)	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก)								
	Si	K	Ca	Fe	P	Mn	Ni	Cu	Zn
แกลบที่ยังไม่ได้เผา	90.464	5.399	1.895	0.144	1.819	0.248	0.003	0.009	0.019
200	88.640	6.108	2.341	0.301	2.306	0.271	0.003	0.010	0.019
400	89.134	6.002	2.017	0.249	2.298	0.266	0.004	0.010	0.020
600	89.872	5.607	2.012	0.207	1.989	0.276	-	0.010	0.027
800	90.564	4.665	1.969	0.221	2.253	0.267	0.024	0.012	0.026
1000	92.007	3.799	1.929	0.179	1.787	0.265	-	0.014	0.021

จากตารางที่ 1 พบว่าการเผาแคลไซน์ นั้นจะมีซิลิกอน (Si), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), ฟอสฟอรัส (P), เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn) และธาตุเจือปนอื่นๆ เป็นองค์ประกอบ ซึ่งผลวิเคราะห์พบว่าเถ้าแกลบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส มีปริมาณของซิลิกอนมากที่สุดจึงนำตัวอย่างเถ้าแกลบไปใช้แทนสารเคมี เพื่อเตรียมตัวอย่างแก้วในกระบวนการต่อไป ผู้วิจัย

2.2 กระบวนการเตรียมแก้วจากซีเถ้าแกลบ

เมื่อทราบองค์ประกอบทางเคมีของซีเถ้าแกลบแล้ว จึงออกแบบสูตรเพื่อให้ได้แก้วที่มีลักษณะใส ไม่มีสี ซึ่งสูตรแก้วที่จะเตรียมในงานวิจัยนี้ คือ 55SiO_2 (RHA) : $25\text{B}_2\text{O}_3$: $10\text{Na}_2\text{O}$: 10CaO หลังจากนั้นจึงนำแมงกานีส (MnO_2) เจือลงในสูตรแก้ว ซึ่งความเข้มข้นของ MnO_2 จะมีความเข้มข้นต่างกันคือ 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ ต่อมาจึงนำสารเคมีที่เตรียมใส่ในเตาหลอมเพื่อเข้าสู่กระบวนการหลอมโดยใช้เทคนิคการหลอมแล้วทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นสารเคมีที่หลอมเหลวดังกล่าวจะถูกนำออกมาเทลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ที่อุณหภูมิห้องเพื่อ ขึ้นงานที่กำลังเย็นตัวถูกนำไปอบในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อลดความเครียดที่เกิดขึ้นจากการเย็นตัวในเนื้อแก้ว สุดท้ายนำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปตัดและขัดให้มีขนาด $1.0 \times 1.5 \times 0.3 \text{ cm}^3$ เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ของแก้วต่อไป [15, 16]

2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสงของแก้วตัวอย่าง

2.3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

แก้วตัวอย่างถูกนำไปศึกษาหาความหนาแน่นโดยใช้หลักการอาร์คิมิดีส โดยชั่งน้ำหนักของแก้วตัวอย่างในอากาศและ น้ำหนักในน้ำ และนำค่าที่ได้มาคำนวณในสมการ

$$\rho = \left[\frac{W_a}{W_a - W_b} \right] \times \rho_{\text{H}_2\text{O}} \text{ g/cm}^3 \quad (1)$$

เมื่อ W_a คือ น้ำหนักในอากาศ (กรัม)

W_b คือ น้ำหนักในน้ำ (กรัม)

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ในที่นี้จะให้น้ำมีความหนาแน่นเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

หลังจากคำนวณค่าความหนาแน่น จึงนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาตรเชิงโมลโดยใช้สมการ

$$V_M = \frac{M_T}{\rho} \text{ cm}^3/\text{mol} \quad (2)$$

เมื่อ M_T คือ มวลโมเลกุลรวมของแก้ว (กรัมต่อโมล)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของแก้ว (กรัมต่อโมล)

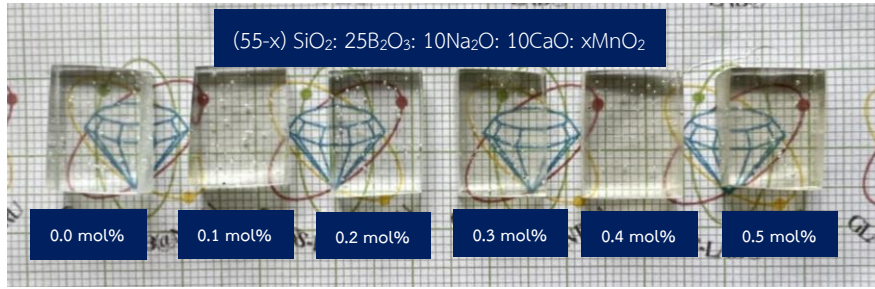
2.3.2 การศึกษาสมบัติทางแสง

การศึกษาสมบัติทางแสงของแก้วตัวอย่างนั้น จะศึกษาค่าดัชนีหักเห โดยใช้เครื่องวัด Abbe refractometer (Atago) ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งใช้ความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร และศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-1000 นาโนเมตร พร้อมทั้งศึกษาสีของแก้วตัวอย่างในระบบ CIE L*a*b* โดยการใช้เครื่อง UV-VIS-NIR Spectrometer (Cary 50) ที่อุณหภูมิห้อง

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการเตรียมแก้วตัวอย่าง

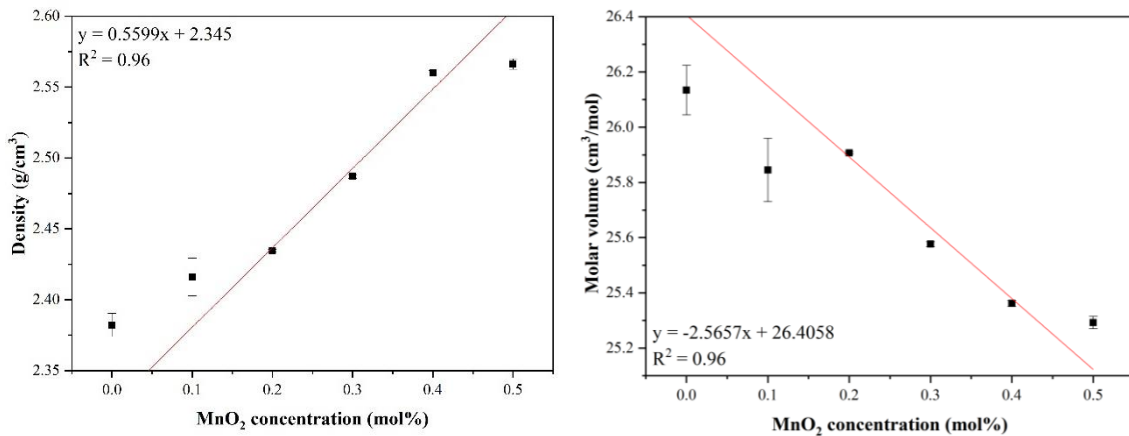
แก้วตัวอย่างที่เตรียมได้จากซีเถ้าแกลบ พบว่าแก้วตัวอย่างที่ได้นั้นจะมีลักษณะใส ไม่มีสี เมื่อเจือแมงกานีสลงในแก้วตัวอย่างซึ่งจะมีการอธิบายการเปลี่ยนสีของแก้วในหัวข้อการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่างโดยละเอียด



ภาพที่ 1 แก้วตัวอย่างจากซีเถ้าแคลบที่เติมด้วย MnO_2 ที่ปริมาณความเข้มข้นต่างกัน

3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

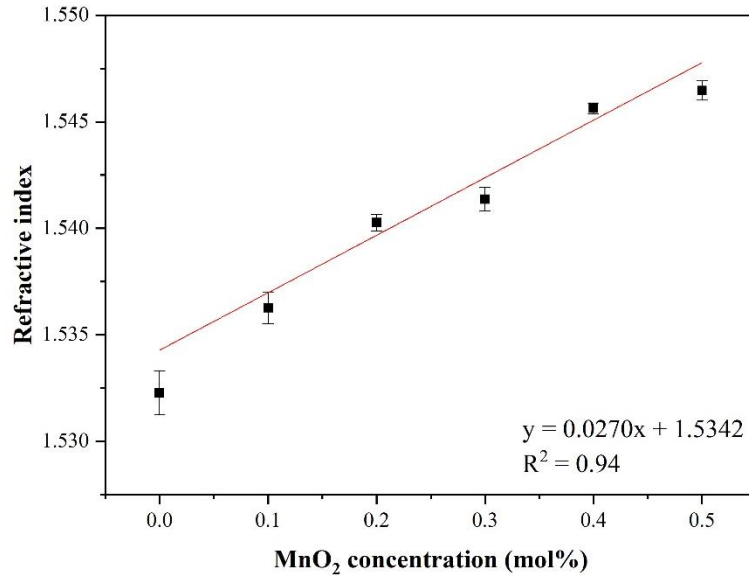
จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่าง พบว่าแก้วตัวอย่างที่เติมด้วย MnO_2 ที่มีความเข้มข้น 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ร้อยละโดยโมล มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ MnO_2 ที่เติมลงไปในแก้ว เนื่องจาก MnO_2 (มีมวลโมเลกุล 228.812 กรัมต่อโมล) ที่มีมวลโมเลกุลมากกว่าซิลิกอนไดออกไซด์ (มีมวลโมเลกุล 60.084 กรัมต่อโมล) สำหรับปริมาตรเชิงโมลนั้นจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของแมงกานีส ซึ่งบ่งชี้ว่าเนื่องจาก MnO_2 เข้าไปสร้างพันธะในโครงสร้างของแก้ว ทำให้ BO (Bridging - Oxygen) เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ปริมาตรเชิงโมลของแก้วลดลง [17]



ภาพที่ 2 ค่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่างจากซีเถ้าแคลบที่เจือด้วย MnO_2 ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น

3.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสง

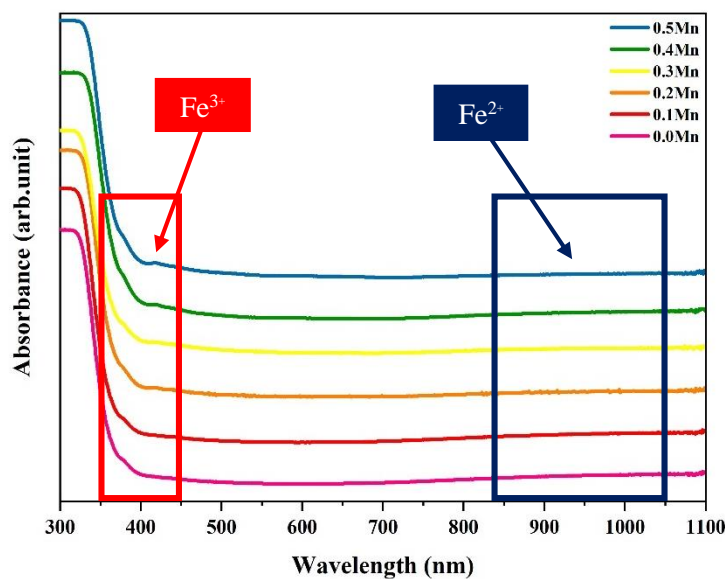
จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่างแก้วจากซีเถ้าแคลบ จะพบว่าค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของ MnO_2 เพิ่มขึ้น เมื่อแก้วมีความหนาแน่นมากขึ้น จะมีการบีบอัดโมเลกุลให้เข้าใกล้กันมากขึ้นทำให้แสงที่ผ่านแก้วนั้นจะช้าลง ส่งผลให้ดัชนีหักเหเพิ่มขึ้น [18]



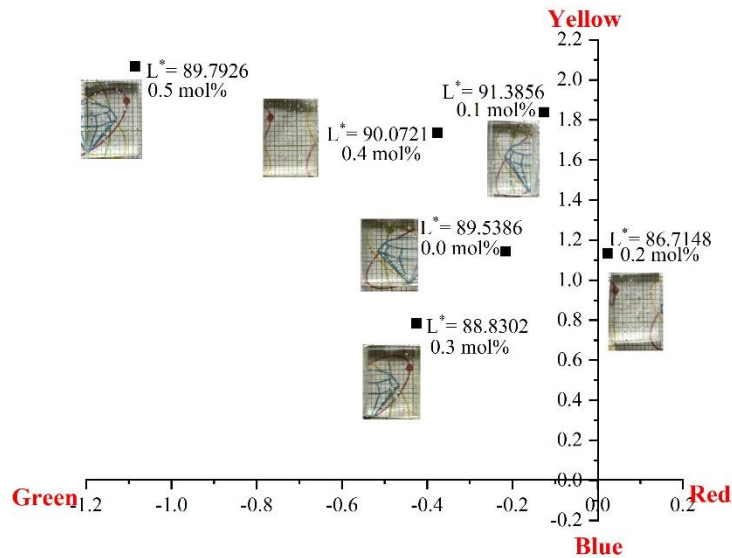
ภาพที่ 3 ค่าดัชนีหักเหแสงของแก้วตัวอย่างจากซีเมนต์เคลือบที่เจือด้วย MnO₂ ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น

สำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่างในช่วงความยาวคลื่น 200 - 1000 นาโนเมตร ที่เจือด้วย MnO₂ ที่ความเข้มข้นต่างกัน จะไม่พบพีคของการดูดกลืนแสงของ MnO₂ เนื่องจากใช้ซีเมนต์เคลือบแทนสารเคมี ซึ่งในซีเมนต์เคลือบนั้นมีเหล็ก (Fe₂O₃) เป็นองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งให้เหล็กกับแมงกานีสทำปฏิกิริยารีดอกซ์ - ออกซิเดชัน จากกราฟจะพบพีคของ Fe³⁺ ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตรนั้นเพิ่มขึ้น และพีคของ Fe²⁺ ที่ความยาวคลื่น 1050 นาโนเมตรลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ MnO₂ ซึ่งบ่งชี้ว่า เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ - ออกซิเดชันของ Fe²⁺ + Mn³⁺ → Fe³⁺ + Mn²⁺ [12]

จากการตรวจสอบและวิเคราะห์ค่าสีของแก้วตัวอย่างในระบบมาตรฐาน CIE L*a*b* พบว่า แก้วตัวอย่างที่ความเข้มข้นที่ 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ร้อยละโดยโมลมีค่าความสว่าง L* อยู่ที่ 89.5386, 91.3856, 86.7148, 88.8302, 90.0721 และ 89.7926 ตามลำดับ [19] จากภาพที่ 5 จะพบว่า แก้วตัวอย่างที่ใสและไม่ใสมากที่สุด แก้วตัวอย่างที่เติม MnO₂ ที่ความเข้มข้น 0.2 ร้อยละโดยโมล เนื่องจากค่า coordinate a* และ b* ที่มีค่าเข้าใกล้คู่อันดับ (0,0) มากที่สุด



ภาพที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่างจากซีเมนต์เคลือบที่เจือด้วย MnO₂ ในปริมาณที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 5 ค่าสีของตัวอย่างแก้วในระบบ CIE L*a*b* MnO₂ ในปริมาณที่แตกต่างกัน

4. สรุปผลการวิจัย

จากการเตรียมแก้วจากซีเถ้าแกลบเพื่อศึกษาการลดสีในแก้วโดยการเติมแมงกานีส ในปริมาณต่างๆ พบว่าแก้วที่เติมแมงกานีสที่ความเข้มข้น 0.2 ร้อยละโดยโมลนั้นเกิดสีอมเหลืองน้อยที่สุด ซึ่งได้รับการยืนยันจากการตรวจสอบค่าสีของแก้วในระบบมาตรฐาน CIE L*a*b* โดยที่ค่า a* และ b* เข้าใกล้คู่อันดับ (0,0) มากที่สุด นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหแสงมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ MnO₂ และปริมาตรเชิงโมลนั้นมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ MnO₂ สำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่างในช่วงความยาวคลื่น 200-1000 นาโนเมตร ที่เจือด้วย MnO₂ ที่ความเข้มข้นต่างกัน จะเห็นว่าไม่พบพีคของ MnO₂ เนื่องจากในสูตรแก้วนั้นเราได้ใช้ซีเถ้าแกลบแทนสารเคมีจากกราฟจะพบพีคของ Fe³⁺ ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตรนั้นเพิ่มขึ้น และพีคของ Fe²⁺ ที่ความยาวคลื่น 1050 นาโนเมตรลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ MnO₂ ดังนั้นผลจากการเติมแมงกานีสที่มีความเข้มข้น 0.2 ร้อยละโดยโมลนั้น สามารถนำสูตรแก้วนี้ไปพัฒนาสูตรแก้วสีต่างๆ ได้

5. ข้อเสนอแนะ

แก้วตัวอย่างในงานวิจัยนี้ต้องได้รับการศึกษา และพัฒนาเพิ่มเติมในการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรมแก้ว

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] The Department of Foreign Trade, Ministry of Commerce. 1 February 2567. The summary of rice export figures for the year 2023 (2566 in the Thai Buddhist calendar) is 8.76 million tons. Chai Nat Provincial Commerce Office. <https://chainat.moc.go.th/th/content/category/detail/id/112/iid/31976>. (In Thai)
- [2] Ajchara Thongsee. (2020). Growing Media from rice straw and rice hulls. Research Dhonburi Rajabhat University. <http://cms.dru.ac.th/jspui/handle/123456789/1826>. (In Thai)
- [3] Prachum Kamphut and Kittipong Suviro. (2010). A Study of Light Weight Concrete Mixed with Rice Husk Ash Added Natural-rubber Sheet. Research Dhonburi Rajabhat University. <http://www.repository.rmutt.ac.th/dspace/handle/123456789/195>. (In Thai)



- [4] Rawit Butprom. (2023). Development of energy source for paddy dryer with rice husk furnace [Master of Engineering]. Rambhai Barni Rajabhat University. (In Thai)
- [5] SaiThong Kongthong, Supharat Thatsanchaoen and Suwimol Ruengsi. (2017). Synthesis of Borosilicate Glass from Rice Husk Ash as Radiation Shielding Materials. Proceedings of the 11th NPRU National Academic Conference. <https://publication.npru.ac.th/jspui/handle/123456789/589>. (In Thai)
- [6] Khunthon, S., Tangwiwat, S. and Roengsamran, S. (2540). The application of rice husk ash for silica gel absorbent production, Journal of metal, Materials and Minerals. 7(1), 21-30.
- [7] Sutas Janbuala and Thanakorn Wasanapiarnpong. The Development of Lightweight Clay Brick with Added Bagasse Ash. Suan Dusit Journal. <https://thaiscience.info/Journals/Article/SDUJ/10986808.pdf>. (In Thai)
- [8] Wichian Chalee. (2017). Effect of alkaline activator on compressive strength of hollow load-bearing concrete masonry blocks from rice husk ash. Research Reports. Burapha University. <http://dspace.lib.buu.ac.th/xmlui/handle/1234567890/3537>. (In Thai)
- [9] Kittipong Siangsenok, Natthita Phoka, Natthanong Donsrichan and Jakkrapong kaewkhow. (2018). Comparison of Composition of Rice Husk and Fly Ash. Proceedings of the 11th NPRU National Academic Conference. <https://publication.npru.ac.th/jspui/handle/123456789/64>. (In Thai)
- [10] Jagkapong Kumsap. (2016). DEVELOPMENT OF TRANSPARENCY OF GLASS VIA DECOLORIZING PROCESS BY USING ERBIUM OXIDE AND SELENIUM. [Degree of Master of Engineering in Ceramic Engineering]. Suranaree University. (In Thai)
- [11] Natthapon Srisitthiphokakun, Kannika Kansom, Chantima Rianthong, Pawina Chusungsoong and Jakkrapong Kaewkhao. (2016). Study on Physical Properties of Soda Lime Silicate Glasses Doped with Cobalt Ions and Iron Ions. Integration of Art and Science toward the Local Research and ASEAN Community. The 8th NPRU National Academic Conference Nakhon Pathom Rajabhat University. (In Thai)
- [12] Thiemsorn, W., Keowkamnerd, K., Phanichphant, S. Suwannathada, P. and Hessenkemper, H. (2008). Influence of Glass Basicity on Redox Interactions of Iron–Manganese–Copper Ion Pairs in Soda–Lime–Silica Glass, Glass Physics and Chemistry, 31(1), 19–29.
- [13] Chittra Kedkaew, Jakkrapong Kaewkhao, Weerapong Chewpraditkul and Pichet Limsuwan. (2008). Study of optical and magnetic properties of glass doped with MnO₂. The 46th Kasetsart University Annual Conference. Kasetsart University. (In Thai)
- [14] Chulalak Jarujutarat. (2021). Glass Packaging. Industrial Design Program, Faculty of Engineering and Industrial Technology. Bansomdejchaopraya Rajabhat University. (In Thai)
- [15] Weerawat Boonpa, Saitan Boocha and Keerati Kirdsiri. (2021). The Development of Deep Blue Colored Glasses in Soda Lime Glass Matrix from Glass Waste. The 13th NPRU National Academic Conference Nakhon Pathom Rajabhat University. <https://publication.npru.ac.th/jspui/handle/123456789/1317>. (In Thai)
- [16] Srisittipokakun, N., Ruangtawee, Y., Rachniyom, W., Boonin, K. and Kaewkhao, J. (2017). CuO, MnO₂ and Fe₂O₃ doped biomass ash as silica source for glass production in Thailand, Results in Physics 7, 3449–3454.
- [17] Jerroudi, M., Bih, L., Haily, E., Yousfi, S., Bejjit, L. Haddad, M., Manoun, B. and Lazor, P. (2020). Optical and electrical properties of manganese doped-alkali metaphosphate glasses, Materials Today: Proceedings, 30, 1052-1055.



- [18] Al-Nidawi, A., J., A., Matori K., A., Zakaria A., Mohd Hafiz Mohd Zaid (2017). Effect of MnO_2 doped on physical, structure and optical properties of zinc silicate glasses from waste rice husk ash, Results in Physics, 7.
- [19] Hidayatc, R., Sangwanatee, N., Kaewkhao, J. and Srisittipokakun, N. (2018). Optical and physical properties of MnO_2 doped soda-lime- bariumsilicate glasses with industrial scales, Materials Today: Proceedings 5, 15040–15043.