

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางแสงของแก้วที่เจือด้วยโซลเมียมออกไซด์ที่เตรียมโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟ

ภัทรพร แสงคำ^{1,2}, ลักขิกา สายดี^{1,2} และณัฐพล ศรีสิทธิโกกุล^{1,2,*}

¹สาขาวิชาวัสดุและอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์

*nattapon2004@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำเพื่อพัฒนากระบวนการเตรียมแก้วเจือโซลเมียมออกไซด์โดยใช้เทคนิคไมโครเวฟเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับเทคนิคการหลอมด้วยไมโครเวฟ โดยสูตรแก้วมีอัตราส่วนของสารดังนี้ $10\text{SiO}_2 : (50-x)\text{B}_2\text{O}_3 : 10\text{Na}_2\text{O} : 30\text{ZnO} : x\text{Ho}_2\text{O}_3$ ร้อยละโดยโมล เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของโซลเมียมออกไซด์ (0.0, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล) จากนั้นทำการหลอมแก้วด้วยเทคนิคเตาไมโครเวฟ แล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของแก้วได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง และสีในระบบ CIE L^*a^*b พบว่า มีค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Ho_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลง สวนทางกับปริมาณความเข้มข้นของ Ho_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 250 – 2,500 นาโนเมตร พบว่าพีคของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 250 – 2,500 นาโนเมตร เกิดขึ้นช่วงความยาวคลื่นประมาณ 289, 334, 362, 419, 452, 486, 539, 643, 901, 1,159 และ 1,954 นาโนเมตร เกิดจากการดูดกลืนพลังงานในสถานะพื้น $^5\text{I}_8$ ไปยังสถานะกระตุ้น $^5\text{G}_4$, $^5\text{G}_5$, $^5\text{G}_6$, $^5\text{F}_2$, $^5\text{F}_3$, $^5\text{F}_4$, $^5\text{F}_4(^5\text{S}_2)$, $^5\text{F}_5$, $^5\text{I}_5$, $^5\text{I}_6$ และ $^5\text{I}_7$ ตามลำดับ

คำสำคัญ: เทคนิคไมโครเวฟ โซลเมียมออกไซด์ ค่าดัชนีหักเห แก้ว

Study of physical and optical properties of holmium oxide doped glasses prepared using microwave technique

Pattraporn Saengka^{1,2}, Laksika Saidi^{1,2} and Nattapon Srisittipokakun^{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

*nattapon2004@gmail.com

Abstract

This research aims to develop a process for preparing holmium oxide-doped glass using microwave techniques to identify conditions suitable for microwave melting. The glass composition is formulated with the following molar ratios: 10SiO_2 : $(50-x)\text{B}_2\text{O}_3$: $10\text{Na}_2\text{O}$: 30ZnO : $x\text{Ho}_2\text{O}_3$, where x represents the concentration of holmium oxide (0.0, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mol%). The glass is then melted using a microwave furnace and analyzed for various properties, including density, refractive index, optical absorption, and color in the CIE L^*a^*b system. The density and refractive index tend to increase with higher concentrations of Ho_2O_3 , while the molar volume tends to decrease inversely with the Ho_2O_3 concentration. Optical absorption in the wavelength range of 250–2,500 nanometers indicate absorption peaks within the wavelength range of 250–2,500 nanometers at approximately 289, 334, 362, 419, 452, 486, 539, 643, 901, 1,159 and 1,954 nanometers. These peaks are attributed to energy absorption transitions from the ground state 5I_8 to the excited states 5G_4 , 5G_5 , 5G_6 , 5F_2 , 5F_3 , 5F_4 , $^5F_4(^5S_2)$, 5F_5 , 5I_5 , 5I_6 and 5I_7 respectively

Keyword: Microwave technique, Holmium oxide, Refractive index, Glass

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกเครื่องประดับอัญมณีเทียมใน 10 อันดับแรกของโลกมานานนับทศวรรษ และล่าสุดในช่วงเดือนมกราคม-กรกฎาคม 2563 ไทยก้าวขึ้นมาเป็นผู้ส่งออกในอันดับที่ 4 ของโลก ด้วยสัดส่วนราว 5.61% ของมูลค่าส่งออกเครื่องประดับเทียมในตลาดโลก หรือมีมูลค่าส่งออก 147 ล้านดอลลาร์สหรัฐ คิดเป็นสัดส่วน 1.22% ของมูลค่าการส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับไทยโดยรวม สำหรับตลาดส่งออกหลักใน 5 อันดับแรกของไทย ได้แก่ ลิกเตนสไตน์ สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส และฮ่องกง ในสัดส่วน 29.89%, 12.43%, 11.15%, 7.85% และ 7.84% ตามลำดับ [1,2] ปัญหาสำคัญของอุตสาหกรรมอัญมณีเทียมในประเทศไทย คือ อุตสาหกรรมต้นน้ำขาดแคลนวัตถุดิบและพึ่งพิงการนำเข้าเป็นหลัก จึงทำให้ไม่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มจากวัตถุดิบที่นำเข้ามาได้มากนัก ทั้งนี้การสร้างมูลค่าสำหรับเครื่องประดับอัญมณีเทียมคือสีของอัญมณีต้องมีความแตกต่าง มีลูกเล่นที่ไม่เหมือนในท้องตลาด หรือมีสีที่ใกล้เคียงอัญมณีจริงตามธรรมชาติ แก้ว

จัดเป็นอัญมณีเทียมประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญ มีตลาดเฉพาะตัวและมีราคาสูงกว่าพลาสติกและเรซิน แต่พบว่าราคาขายในตลาดเมื่อเข้าเรือนกลับทำกำไรได้เท่ากับเพชรรัสเซีย (cubic zirconia) หรือแม้กระทั่งทับทิมสังเคราะห์ซึ่งเป็นพลอยสังเคราะห์ที่เตรียมได้ยากกว่า และใช้ต้นทุนสูงกว่ามาก นอกไปจากนั้นก็ยังสามารถทำให้เกิดสีกันได้มากกว่าและง่ายกว่า การเตรียมอัญมณีเทียมจากแก้วจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างสูงในปัจจุบัน กระบวนการผลิตแก้วทั้งในอุตสาหกรรมแก้วใส และแก้วสีส่วนมากนิยมผลิตแก้วจากสารซิลิกา ซึ่งมีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง โดยทั่วไปนิยมใช้อุณหภูมิในการหลอมอยู่ที่ 1,600 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตด้านพลังงานมีค่าสูงมาก ซึ่งในบางธุรกิจอาจไม่มีความจำเป็นต้องผลิตแก้วจำนวนมากหรือขนาดใหญ่ กระบวนการผลิตแบบเดิมจึงทำให้สิ้นเปลืองต้นทุนการผลิตค่อนข้างมาก ดังนั้นหากสามารถพัฒนากระบวนการหลอมแก้วใหม่ที่สามารถใช้อุปกรณ์ที่ทำได้ง่าย การซ่อมบำรุงไม่ซับซ้อนย่อมส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงอย่างมีนัยยะ

การหลอมแก้วด้วยเทคนิคไมโครเวฟมีข้อดีหลายประการที่สามารถอธิบายได้จากหลักการทางวิทยาศาสตร์ โดยกระบวนการหลอมแก้วนี้ใช้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง (โดยปกติจะอยู่ในช่วง 2.45 GHz) เพื่อกระตุ้นการสั่นของโมเลกุลในวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟได้ โดยเฉพาะแก้ว ซึ่งเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบของซิลิกา (SiO_2) ที่สามารถดูดซับพลังงานจากไมโครเวฟได้ดี ทำให้เกิดการสั่นของอะตอมและโมเลกุลในแก้ว ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของพลังงานความร้อนและการหลอมแก้วเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว การใช้เทคนิคไมโครเวฟในการหลอมแก้วมีข้อได้เปรียบจากการที่พลังงานจากไมโครเวฟจะถูกส่งตรงไปยังตัวแก้วโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการถ่ายโอนความร้อนจากภายนอกเหมือนในเตาแบบดั้งเดิม ซึ่งหมายความว่าความร้อนจะถูกสร้างขึ้นภายในแก้วเอง ทำให้การหลอมเกิดขึ้นเร็วขึ้น และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำกว่าในกระบวนการหลอมแก้วแบบปกติที่ใช้ความร้อนจากเตาไฟแบบทั่วไปที่มีกระจกกระจายความร้อนออกมา ทำให้มีความสูญเสียพลังงานในกระบวนการ การหลอมแก้วด้วยไมโครเวฟยังช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การออกซิเดชันของโลหะหรือการสลายตัวของสารเคมีในแก้ว เพราะการหลอมในเตาไมโครเวฟมีการควบคุมอุณหภูมิได้ดีและมักจะมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างเสถียร จึงสามารถหลีกเลี่ยงความเสียหายที่เกิดจากการให้ความร้อนสูงเกินไป ซึ่งมีมักจะพบได้ในเตาแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ การหลอมแก้วด้วยไมโครเวฟยังช่วยให้สามารถผลิตแก้วที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น เช่น ความหนาแน่นและความแข็งแรงที่สูงขึ้น เนื่องจากกระบวนการที่รวดเร็วและแม่นยำช่วยลดการเกิดความเครียดภายในวัสดุ และทำให้การหลอมเกิดขึ้นอย่างเท่ากันทั่วทั้งชิ้นงาน การหลอมที่ดีขึ้นช่วยให้การผลิตแก้วมีความเสถียรและคงทนต่อการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

โซลเมียมออกไซด์ (Ho_2O_3) ในแก้วส่วนใหญ่เน้นไปที่การศึกษาและการพัฒนาแก้วที่มีคุณสมบัติพิเศษ โดยเฉพาะในด้านการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับแสงและการแปลงพลังงาน โซลเมียมออกไซด์เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการดูดซับและปล่อยแสงในช่วงคลื่นที่สำคัญ ซึ่งทำให้มันมีการใช้งานในเทคโนโลยีแสง เช่น เลเซอร์, โฟตอนิกส์, และอุปกรณ์แสงอื่นๆ [3-8] โดยเฉพาะในระบบที่ต้องการการปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นที่เฉพาะเจาะจง. ในการเติมโซลเมียมออกไซด์ลงไปในแก้ว, มันสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของแก้วในด้านการดูดซับแสงและการปล่อยแสง ทำให้แก้วที่ใช้สารนี้มีคุณสมบัติในการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ยิ่งไปกว่านั้น โซลเมียมออกไซด์ สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาแก้วที่มีคุณสมบัติทางแสงที่ดีกว่า เช่น การใช้ในกระจกที่สามารถปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่นเฉพาะสำหรับการใช้งานในสื่อสารแสงหรือการประยุกต์ในระบบการส่งข้อมูล. งานวิจัยบางชิ้นได้ศึกษาโซลเมียมออกไซด์ในแก้วที่ใช้ในการสร้างแสงเลเซอร์, ซึ่งมีการทดลองเพื่อดูว่าการเติมโซลเมียมออกไซด์ลงไปในแก้วสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการปล่อยแสงเลเซอร์และความเสถียรในการทำงานได้หรือไม่ นอกจากนี้การเติมโซลเมียมออกไซด์ในแก้วยังได้รับการศึกษาถึงผลกระทบต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าและแม่เหล็กของแก้ว. งานวิจัยบางส่วนพบว่าโซลเมียมออกไซด์สามารถมีบทบาทในการปรับปรุงคุณสมบัติทางแม่เหล็กของแก้ว ทำให้มันเหมาะสมกับการใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการคุณสมบัติทางแม่เหล็ก เช่น เซ็นเซอร์แม่เหล็กหรือเครื่องมือที่ใช้เทคโนโลยีแม่เหล็กในการทำงาน

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษามิติทางกายภาพและทางแสงของแก้วที่เจือด้วยโซลเมียมออกไซด์ที่เตรียมโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้ ออกแบบสูตรแก้ว และทดลองเตรียมตัวอย่างแก้วเพื่อหาเงื่อนไขที่

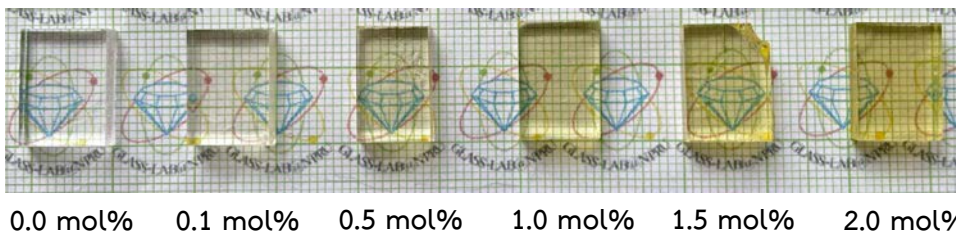
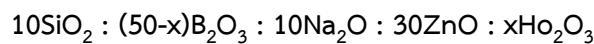
เหมาะสมกับเทคนิคการหลอมด้วยไมโครเวฟ จากนั้นจึงนำสูตรแก้วที่ได้มาเจือด้วยโฮลเมียมออกไซด์ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสม เมื่อได้ตัวอย่างแก้วแล้วจึงทำการศึกษาสมบัติของตัวอย่างแก้ว ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเหแสง ค่าการดูดกลืนแสง และค่าสี

2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำเพื่อพัฒนาระบวนการเตรียมแก้วเจือโฮลเมียมออกไซด์โดยใช้เทคนิคไมโครเวฟเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับเทคนิคการหลอมด้วยไมโครเวฟ โดยสูตรแก้วมีอัตราส่วนของสารดังนี้ $10\text{SiO}_2 : (50-x)\text{B}_2\text{O}_3 : 10\text{Na}_2\text{O} : 30\text{ZnO} : x\text{Ho}_2\text{O}_3$ ร้อยละโดยโมล เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของโฮลเมียมออกไซด์ (0.0, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล) จากนั้นทำการหลอมแก้วด้วยเทคนิคเตาไมโครเวฟโดยมีขั้นตอนการหลอมแก้วดังนี้ นำส่วนผสมที่เตรียมไว้ใส่เข้าหลอม นำเข้าเตาไมโครเวฟแล้วให้กำลังไฟฟ้ากับตั้งเวลาที่ 1,000 วัตต์ เป็นเวลา 25 นาที จากนั้นเมื่อครบเวลาหลอมเปิดฝาดานำเอาแก้วหลอมออกจากเตาเผาและเทน้ำแก้วเหลวลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ ทิ้งไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยขั้นตอนการเทแก้วจะต้องทำอย่างรวดเร็ว เนื่องจากน้ำแก้วเหลวจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ลดลงจนกลายเป็นของแข็ง หลังจากนั้นนำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปตัดขัดให้มีขนาด $1.0 \times 1.5 \times 0.3$ ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากนั้นจึงมาศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเหแสง การดูดกลืนแสง และสีในระบบ CIE L^*a^*b

3. ผลการวิจัย

จากผลการทดลองหลอมแก้วด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่เจือ Ho_2O_3 พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่เติมออกไซด์ของ Ho_2O_3 มีลักษณะใสไม่มีสี และเมื่อเติมออกไซด์ของ Ho_2O_3 มีลักษณะสี และมีสีส้มอ่อนๆ ซึ่งสีดังกล่าวจะมีความเข้มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของออกไซด์ของ Ho_2O_3 มากขึ้น ดังภาพที่ 1.



ภาพที่ 1 แก้วตัวอย่างที่เจือ Ho_2O_3 ในความเข้มข้นที่ต่างกัน

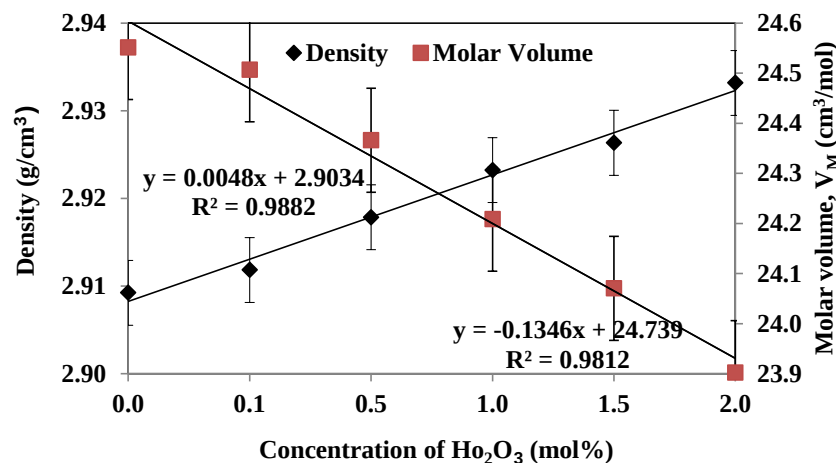
ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล และดัชนีหักเห

จากการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ Ho_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.0, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Ho_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.9092 ± 0.0004 ถึง 2.9332 ± 0.0001 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากออกไซด์ของ Ho_2O_3 ซึ่งมีมวลโมเลกุลมากกว่าเข้าไปแทนที่ออกไซด์ของ B_2O_3 ดังแสดงในตารางที่ 1 กล่าวคือเมื่อเติมสาร Ho_2O_3 เข้าไปในโครงสร้างแก้ว Ho_2O_3 จะเข้าไปสร้างสะพานเชื่อมออกซิเจน (bridging oxygen) ในโครงสร้างแก้วมากขึ้น และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความเข้มข้นของแก้วที่เติมออกไซด์ของ Ho_2O_3 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 โดยกราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9882 ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ

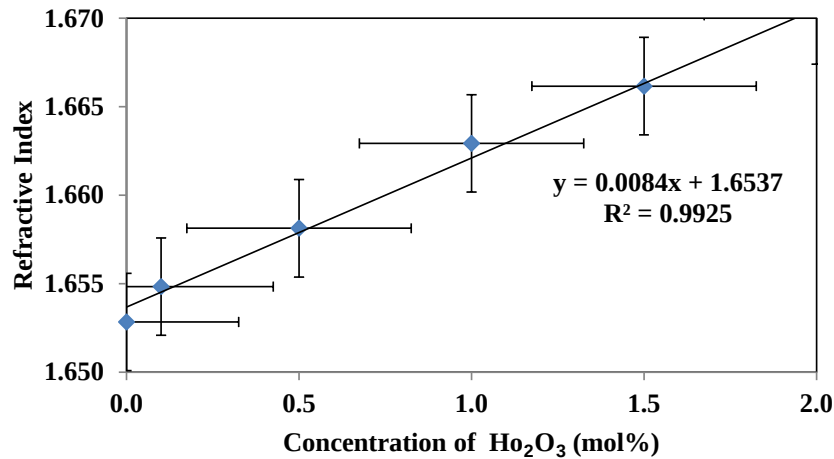
ความเข้มข้นของ Ho_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น มีค่าอยู่ระหว่าง 23.9022 ถึง 24.5514 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล ดังแสดงในตารางที่ 1 นั้นสามารถสันนิษฐานได้ว่า Ho_2O_3 ได้เข้าไปสร้างสะพานเชื่อมออกซิเจน (bridging oxygen) ในโครงสร้างแก้วมากขึ้น ทำให้ระยะห่างระหว่างอะตอมมีขนาดแคบลงจึงทำให้โครงสร้างของแก้วเกิดการหดตัว ในงานวิจัยด้านวัสดุแก้วนั้นจะเรียกสารเคมีที่เติมลงในโครงสร้างแก้วแล้วทำให้ปริมาตรเชิงโมลของแก้วเปลี่ยนแปลงไปว่า Network modifier และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเชิงโมลกับความเข้มข้นของแก้วที่เติมออกไซด์ของ Ho_2O_3 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 โดยกราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9812 จากการวิเคราะห์หาค่าดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่าง พบว่าค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Ho_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น มีค่าอยู่ระหว่าง 1.6528 ± 0.0001 ถึง 1.6702 ± 0.0001 ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่น เป็นไปตามทฤษฎีเป็นไปตามหลักทฤษฎีไดอิเล็กทริกแบบดั้งเดิม ซึ่งค่าดัชนีหักเหจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และสภาพการเกิดข้อได้ของอะตอมในวัสดุ และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม Ho_2O_3 ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยกราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9925 [9].

ตารางที่ 1 ค่าความหนาแน่น ค่าปริมาตรเชิงโมล และค่าดัชนีหักเหของแก้วที่เติม Ho_2O_3

ความเข้มข้นของ Ho_2O_3 (ร้อยละโดยโมล)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ดัชนีหักเห	ปริมาตรเชิงโมล (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล)
0.0	2.9092 ± 0.0004	1.6528 ± 0.0001	24.5514
0.1	2.9118 ± 0.0001	1.6548 ± 0.0001	24.5069
0.5	2.9179 ± 0.0001	1.6581 ± 0.0001	24.3662
1.0	2.9232 ± 0.0002	1.6629 ± 0.0001	24.2087
1.5	2.9263 ± 0.0001	1.6662 ± 0.0001	24.0705
2.0	2.9332 ± 0.0001	1.6702 ± 0.0001	23.9022



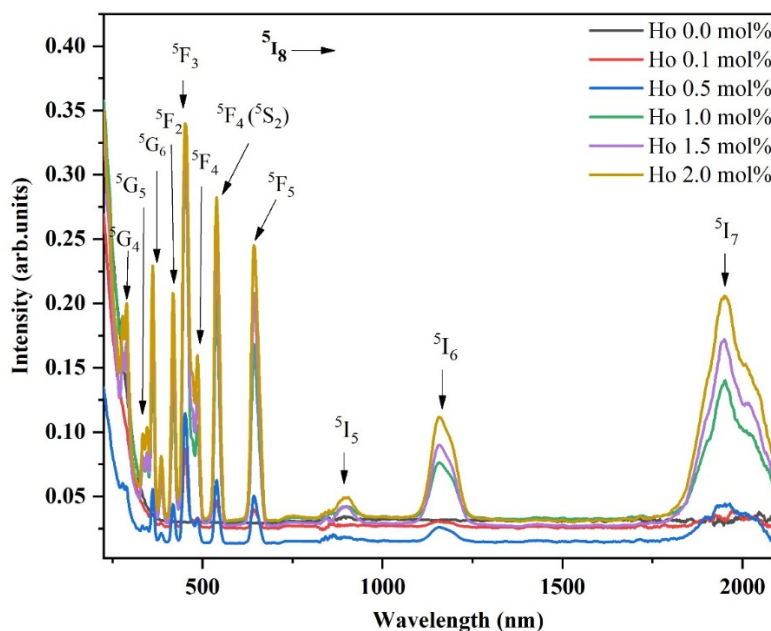
ภาพที่ 2 ค่าความหนาแน่น และค่าปริมาตรเชิงโมล ของแก้วที่เติม Ho_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพที่ 3 ค่าดัชนีหักเหของแก้วที่เติม Ho_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสง

จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 250 – 2,500 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ Ho_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.0, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล พบว่าพีคของการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 – 2,500 นาโนเมตร เกิดขึ้นช่วงความยาวคลื่นประมาณ 289, 334, 362, 419, 452, 486, 539, 643, 901, 1,159 และ 1,954 นาโนเมตร เกิดจากการดูดกลืนพลังงานในสถานะพื้น $^5\text{I}_8$ ไปยังสถานะกระตุ้น $^5\text{G}_4$, $^5\text{G}_5$, $^5\text{G}_6$, $^5\text{F}_2$, $^5\text{F}_3$, $^5\text{F}_4$, $^5\text{F}_4(^5\text{S}_2)$, $^5\text{F}_5$, $^5\text{F}_5$, $^5\text{I}_5$, $^5\text{I}_6$ และ $^5\text{I}_7$ ตามลำดับ [10]. ดังภาพที่ 4 จากการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ทำให้สีของแก้วอยู่ในช่วงที่มองเห็นเป็นสีเหลือง และเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Ho_2O_3 ทำให้พีคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของปริมาณ Ho_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น



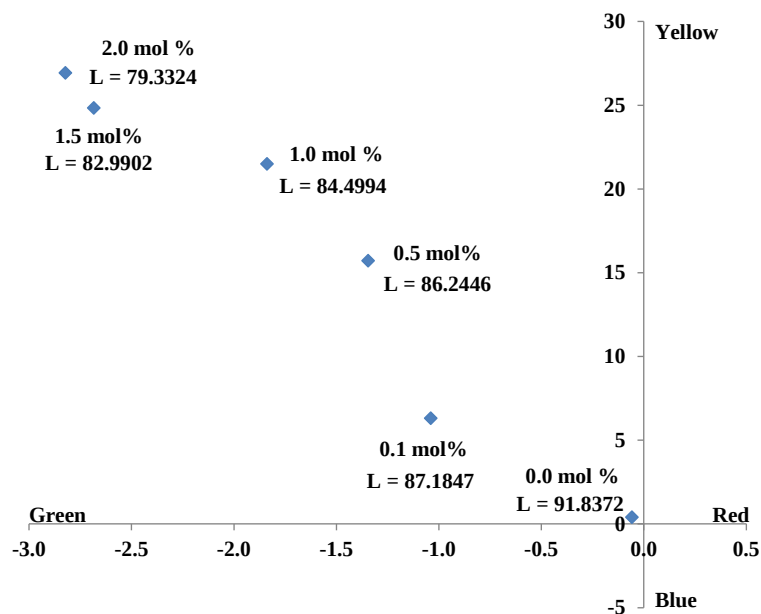
ภาพที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนของแก้วที่เติม Ho_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ผลการวิเคราะห์สีในระบบ CIE L*a*b*

จากการวิเคราะห์สีในระบบ CIE L*a*b* ของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ Ho_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.0, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ Ho_2O_3 ที่เพิ่มขึ้น โดยค่า a^* จะมีค่าอยู่ระหว่าง -0.0580 ถึง -2.8229 ส่วนค่า b^* จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4076 ถึง 26.9388 ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยค่าสีมีพิสัยอยู่ในแกน $-a$ และ $+b$ ซึ่งเป็นพิสัยของแกนสีเขียว และสีเหลือง จึงทำให้แก้วตัวอย่างมีสีส้ม ดังแสดงในภาพที่ 5.

ตารางที่ 2 ค่าสีของแก้วที่เติม Ho_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ Ho_2O_3 (ร้อยละโดยโมล)	Color measurement		
	L^*	a^*	b^*
0.0	91.8153	-0.0580	0.4076
0.1	87.1847	-1.0402	6.3080
0.5	86.2446	-1.3450	15.7144
1.0	84.4994	-1.8384	21.5002
1.5	82.9902	-2.6838	24.8382
2.0	79.3324	-2.8229	26.9388



ภาพที่ 5 ค่าสีระบบ CIE L*a*b* ของแก้วที่เติม Ho_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

4. สรุปผลการวิจัย

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยพบว่าแก้วที่เติมด้วย Ho_2O_3 ความเข้มข้นร้อยละ 0.0, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยโมล พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่เติมออกไซด์ของ Ho_2O_3 มีลักษณะใสไม่มีสี และเมื่อเติมออกไซด์ของ Ho_2O_3 มีลักษณะใส และมีสีส้มอ่อนๆ ซึ่งสีดังกล่าวจะมีความเข้มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของออกไซด์ของ Ho_2O_3 มากขึ้น มีค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Ho_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลง ส่วนทางกับปริมาณความเข้มข้นของ Ho_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 250 – 1,000 นาโนเมตร พบว่าพีคของการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 250 – 2,500 นาโนเมตร เกิดขึ้นช่วงความยาวคลื่นประมาณ 289, 334,

362, 419, 452, 486, 539, 643, 901, 1,159 และ 1,954 นาโนเมตร เกิดจากการดูดกลืนพลังงานในสถานะพื้น 5I_8 ไปยังสถานะกระตุ้น 5G_4 , 5G_5 , 5G_6 , 5F_2 , 5F_3 , 5F_4 , $^5F_4(^5S_2)$, 5F_5 , 5I_5 , 5I_6 และ 5I_7 ตามลำดับ ทำให้สีของแก้วที่มองเห็นมีสีเหลือง และเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Ho_2O_3 จะมีความเข้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของปริมาณ Ho_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงบรายได้จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ประจำปีงบประมาณ 2568 ภายใต้โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นเลิศทางวิชาการ ประจำปีงบประมาณ 2568

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] The Gem and Jewelry Institute of Thailand, 2563, Global Imitation Gemstone Jewelry Market Trends 2020 – 2027, Searched 2022 February 8, from <https://infocenter.git.or.th/business-news/business-news20200918-1-2-3>.
- [2] Shand E.B., 1997, Glass Engineering Handbook, McGraw-Hill Book, New York & Sons, pp. 301-305.
- [3] S.K. Mohapatra, H.S. Maharana, S. Khan, S. Chakraborty, K. Annapurna, 2022. “ Ho^{3+} -activated calcium zinc silico-aluminate glass for 2 μm and 533 nm laser application”, Materials Today Communications, Vol. 37, 107477.
- [4] J. Cao, Y. Wu, Y. Cong, Y. Bai, D. Zhou, Y. Ban, Y. Liao, 2024. “ $\sim 2\mu m$ luminescence and energy transfer mechanism in highly Ho^{3+}/Tm^{3+} co-doped bismuth glass”, Infrared Physics & Technology, Vol.141, 105507.
- [5] H.T. ZHU, H.R. GUO, Q.J. ZHENG, C.Y. GUAN, L.P. ZHU, H.B. LI, J.Y. YANG, 2023, “Synthesis and up-conversion luminescence of Ho^{3+} and Yb^{3+} co-doped $La_7P_3O_{18}$ phosphors”, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Vol. 33(4), pp. 1205 – 1213.
- [6] Varshneya, A.K., 1994, Fundamental of Inorganic Glasses, Academic Press, London, pp. 1-30.
- [7] K.J. Rao, 2002, Structure Chemistry of Glasses, Elsevier Science, Oxford, pp. 2-7.
- [8] Doremus, R.H., 1994, Glass Science, 2nd^{ed}, John Wiley and Sons Inc., New York, pp. 1-27.
- [9] T. Srikumar, Ch. Srinivasa Rao, M.C. Rao, R. Raja Priyanka, T. Vennela, J. Saidurga, B. Karthik, 2018, “Absorption and emission features of Ho^{3+} ion in Nb_2O_5 mixed Lithium zirconium silicate glasses”, Materials Today: Proceedings, Vol. 5 (13), pp. 26411 – 26416. (absorption).
- [10] K. Bhargavi, M. Sundara Rao, Ch. Srinivasa Rao, Y. Gandhi, 2018, “Influence of some sesquioxides on up conversion in $Ho^{3+}-Er^{3+}$ co-doped $PbO-SiO_2$ glass system”, Materials Today: Proceedings, Vol. 5(13), pp. 26207 – 26216.