

การศึกษาผลเจือสีไอโดเมียมออกไซด์ในแก้วที่เตรียมโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟ

นรินทร์ สิงคิรินทร์^{1,2*}, อิดารัตน์ ธรรมวรรณ^{1,2} และณัฐพล ศรีสิทธิโชคกุล^{1,2}

¹สาขาวิชาวัสดุและอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*nook.1401@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำเพื่อพัฒนากระบวนการเตรียมแก้วเจือสีไอโดเมียมออกไซด์โดยใช้เทคนิคไมโครเวฟเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับเทคนิคการหลอมด้วยไมโครเวฟ แล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของแก้วได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง และสีในระบบ CIE L*a*b ขึ้น มีค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Nd₂O₃ ที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลง สวนทางกับปริมาณความเข้มข้นของ Nd₂O₃ ที่เพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 250 – 1,000 นาโนเมตร พบว่าพีคของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 - 1000 นาโนเมตร เกิดขึ้นช่วงความยาวคลื่นประมาณ 330 354 341 474 526 582 627 682 747 806 และ 876 นาโนเมตร เกิดจากการดูดกลืนพลังงานในสถานะพื้น ⁴I_{9/2} ไปยังสถานะกระตุ้น ²P_{1/2} ²K_{15/2}+²G_{9/2} ⁴G_{11/2} ⁴G_{9/2} ⁴G_{7/2} ²G_{5/2} ²H_{9/2} ⁴F_{9/2} ⁴F_{7/2} ⁴F_{5/2} และ ⁴F_{3/2} ตามลำดับ

คำสำคัญ: เทคนิคไมโครเวฟ นีโอโดเมียมออกไซด์ ค่าดัชนีหักเห แก้ว

Study of the effect of neodymium oxide doping in glasses prepared using microwave technique

Nakarin Singkiburin ^{1,2*}, Thidarat Thammawan ^{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

*nook.1401@gmail.com

Abstract

This research aims to develop a process for preparing neodymium oxide-doped glass using microwave techniques to identify optimal conditions for microwave melting. The resulting glass properties were analyzed, including density, refractive index, light absorption, and color in the CIE Lab* system. The study found that the density and refractive index tended to increase with higher concentrations of Nd₂O₃, whereas the molar volume showed a decreasing trend, inversely correlated with the Nd₂O₃ concentration. Absorption spectra in the wavelength range of 250–1,000 nanometers revealed peaks at approximately 330 354 341 474 526 582 627 682 747 806 and 876 nm. These absorption peaks correspond to transitions from the ground state ⁴I_{9/2} to the excited states ²P_{1/2}, ²K_{15/2}+²G_{9/2}, ⁴G_{11/2}, ⁴G_{9/2}, ⁴G_{7/2}, ²G_{5/2}, ²H_{9/2}, ⁴F_{9/2}, ⁴F_{7/2}, ⁴F_{5/2} and ⁴F_{3/2} respectively.

Keywords: Microwave technique, Neodymium oxide, Refractive index, Glass

1. บทนำ

ประเทศไทยนับเป็นประเทศที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับแก้วและกระจกมากเป็นอันดับต้น ๆ ถือเป็นศูนย์กลางการผลิตแก้วและกระจกของภูมิภาคอาเซียนที่มีบริษัทขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็กจำนวนมากกว่า 200 โรงงาน โดยอุตสาหกรรมแก้วและกระจกถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ทำเงินรายได้เข้าสู่ประเทศจำนวนมากอย่างต่อเนื่อง จึงนับได้ว่าอุตสาหกรรมแก้วเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอุตสาหกรรมหนึ่งของประเทศ เนื่องจากมียังหลายอุตสาหกรรมที่ต้องพึ่งพาชิ้นส่วนจากวัสดุแก้ว เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า ก่อสร้าง อาหารและเครื่องดื่ม นอกจากนี้ตัวเลขของการส่งออกเฉพาะแก้ว ขวด และเครื่องแก้วบนโต๊ะอาหาร มีแนวโน้มขยายตัวร้อยละ 20-30 ซึ่งคิดเป็นมูลค่ารายได้ที่เข้าประเทศกว่าอีกหลายพันล้านบาท และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบที่มีคุณภาพดีที่มีอยู่ในประเทศ เช่น ทราย หินปูน โดโลไมต์ แร่ฟอสเฟต ได้อย่างคุ้มค่า อีกทั้งวัสดุแก้วยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพราะแก้วเป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด (100% recyclable) แต่ในกระบวนการผลิตแก้วทั้งในอุตสาหกรรมแก้วใส และแก้วสีส่วนมากนิยมผลิตแก้วจากสารซิลิกา ซึ่งมีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง โดยทั่วไปนิยมใช้อุณหภูมิในการหลอมอยู่ที่ 1,600 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตด้านพลังงานมีค่าสูงมาก ซึ่งในบางธุรกิจอาจไม่มีความจำเป็นต้องผลิตแก้วจำนวนมาก หรือขนาดใหญ่ กระบวนการผลิตแบบเดิมจึงทำให้

สิ้นเปลืองต้นทุนการผลิตค่อนข้างมาก ดังนั้นหากสามารถพัฒนากระบวนการหลอมแก้วใหม่ที่สามารถใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่าย การซ่อมบำรุงไม่ซับซ้อนย่อมส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงอย่างมีนัยยะ

การหลอมแก้วด้วยเทคนิคไมโครเวฟมีข้อดีหลายด้านที่ทำให้เทคนิคนี้ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมการผลิตแก้ว โดยเฉพาะในเรื่องของประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการควบคุมกระบวนการที่ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการหลอมแก้วแบบดั้งเดิมที่ใช้เตาเผาแบบฟอสซิลหรือเตาไฟฟ้า การใช้ไมโครเวฟในการหลอมแก้วช่วยให้สามารถควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการหลอมได้อย่างแม่นยำและสม่ำเสมอ โดยไมโครเวฟสามารถให้ความร้อนแก่วัสดุได้อย่างตรงจุดโดยการกระตุ้นโมเลกุลภายในวัสดุแก้ว ทำให้การหลอมแก้วเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงกว่าเทคนิคการใช้ความร้อนจากภายนอก ซึ่งจะทำให้แก้วไม่ต้องใช้เวลานานในการหลอมและสามารถลดเวลาในการผลิตได้อย่างมาก อีกหนึ่งข้อดีคือการประหยัดพลังงาน เนื่องจากไมโครเวฟสามารถให้ความร้อนแก่วัสดุแก้วโดยตรงทำให้ไม่สูญเสียพลังงานไปกับการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเหมือนกับการใช้เตาเผาแบบดั้งเดิม ซึ่งทำให้กระบวนการหลอมแก้วมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและสามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานได้มาก นอกจากนี้ การควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการหลอมแก้วยังทำให้สามารถหลอมแก้วได้ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าในบางกรณี ซึ่งสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในการสร้างอุณหภูมิสูงๆ ได้ อีกทั้งการหลอมแก้วด้วยไมโครเวฟสามารถทำให้กระบวนการเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีความสม่ำเสมอในทุกขั้นตอน ทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพสูงกว่าและมีความสม่ำเสมอมากขึ้นในการหลอมแก้ว เมื่อใช้ไมโครเวฟในกระบวนการหลอมแก้ว ยังสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ เช่น ความหนาของวัสดุที่ต้องการหลอมได้ง่าย ทำให้สามารถผลิตแก้วที่มีคุณสมบัติตรงตามต้องการได้ง่ายขึ้น [1-2]

นีโอโดเมียมออกไซด์ (Nd_2O_3) ในแก้วมักมุ่งเน้นไปที่การศึกษาคุณสมบัติที่นีโอโดเมียมออกไซด์สามารถนำมาปรับปรุงในแก้ว ซึ่งโดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับการเสริมคุณสมบัติทางแสง, การเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้า และการพัฒนาแก้วที่มีความทนทานสูงในสภาพแวดล้อมที่มีความร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว. นีโอโดเมียมออกไซด์เป็นสารที่มีความสำคัญในแง่ของการควบคุมการดูดซับแสงและการปล่อยแสง ซึ่งทำให้มันถูกใช้ในกระบวนการผลิตแก้วที่มีคุณสมบัติพิเศษเช่น แก้วที่ใช้ในเทคโนโลยีแสงหรือเซลล์แสงอาทิตย์ การเติมนีโอโดเมียมออกไซด์ในแก้วสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับและปล่อยแสงในช่วงคลื่นแสงที่ต้องการ ซึ่งทำให้แก้วที่มีนีโอโดเมียมออกไซด์เป็นส่วนประกอบสามารถใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการคุณสมบัติการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือใช้ในแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแสงในช่วงคลื่นที่เฉพาะเจาะจง เช่น ในเลเซอร์หรือไฟฟลูออเรสเซนต์ นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมนีโอโดเมียมออกไซด์ในแก้วยังมีผลต่อการปรับปรุงความเสถียรของแก้วในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง ทำให้แก้วนั้นทนทานต่อความร้อนและการขยายตัวเมื่อสัมผัสกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญในการผลิตแก้วที่ใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีความร้อนสูง เช่น กระงกในอุตสาหกรรมอวกาศหรือการใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการความทนทานต่อความร้อน [3-7]

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลเจือสีของแก้วจากสูตร $10\text{SiO}_2 \cdot (50-x)\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{Na}_2\text{O} \cdot 30\text{ZnO} \cdot x\text{Nd}_2\text{O}_3$ ร้อยละโดยโมล เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของนีโอโดเมียมออกไซด์ (0.0, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล) โดยเริ่มจากคำนวณสารจากสูตรแก้วและชั่งสารใส่เข้าหลอม จากนั้นนำเข้าเตาไมโครเวฟโดยมีขั้นตอนการหลอมแก้วดังนี้ นำส่วนผสมที่เตรียมไว้ใส่เข้าหลอม นำเข้าเตาไมโครเวฟแล้วให้กำลังไฟฟ้ากับตั้งเวลาที่ 1000 วัตต์ เป็นเวลา 25 นาที จากนั้นเมื่อครบเวลาหลอมเปิดฝาเตา นำเอาแก้วหลอมออกจากเตาเผาและเทน้ำแก้วเหลวลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ ทิ้งไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยขั้นตอนการเทแก้วจะต้องทำอย่างรวดเร็ว เนื่องจากน้ำ

2. วิธีการทดลอง

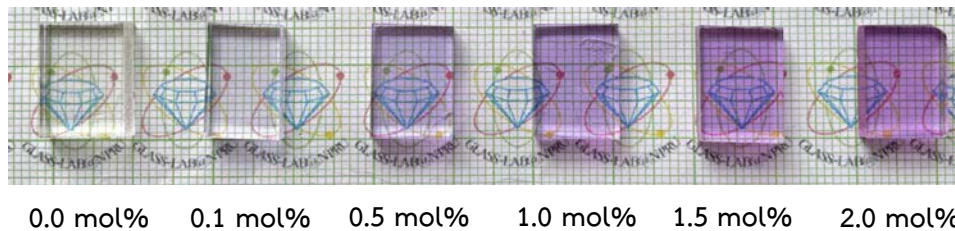
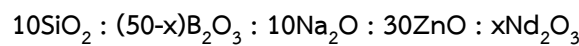
งานวิจัยนี้ทำเพื่อศึกษาผลการเจือสีของแก้วจากสูตร $10\text{SiO}_2 \cdot (50-x)\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{Na}_2\text{O} \cdot 30\text{ZnO} \cdot x\text{Nd}_2\text{O}_3$ ร้อยละโดยโมล เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของนีโอโดเมียมออกไซด์ (0.0, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล) โดยเริ่มจากคำนวณสารจากสูตรแก้วและชั่งสารใส่เข้าหลอม จากนั้นนำเข้าเตาไมโครเวฟโดยมีขั้นตอนการหลอมแก้วดังนี้ นำส่วนผสมที่เตรียมไว้ใส่เข้าหลอม นำเข้าเตาไมโครเวฟแล้วให้กำลังไฟฟ้ากับตั้งเวลาที่ 1000 วัตต์ เป็นเวลา 25 นาที จากนั้นเมื่อครบเวลาหลอมเปิดฝาเตา นำเอาแก้วหลอมออกจากเตาเผาและเทน้ำแก้วเหลวลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ ทิ้งไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยขั้นตอนการเทแก้วจะต้องทำอย่างรวดเร็ว เนื่องจากน้ำ

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

3. ผลการวิจัย

ลักษณะของแก้วตัวอย่าง

จากผลการทดลองหลอมแก้วด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่เจือ Nd_2O_3 พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่เติมออกไซด์ของ Nd_2O_3 มีลักษณะใสไม่มีสี และเมื่อเติมออกไซด์ของ Nd_2O_3 มีลักษณะสี และมีสีม่วงอ่อนๆ ซึ่งสีดังกล่าวจะมีความเข้มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของออกไซด์ของ Nd_2O_3 มากขึ้น ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แก้วตัวอย่างที่เจือ Nd_2O_3 ในความเข้มข้นที่ต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมลและดัชนีหักเห

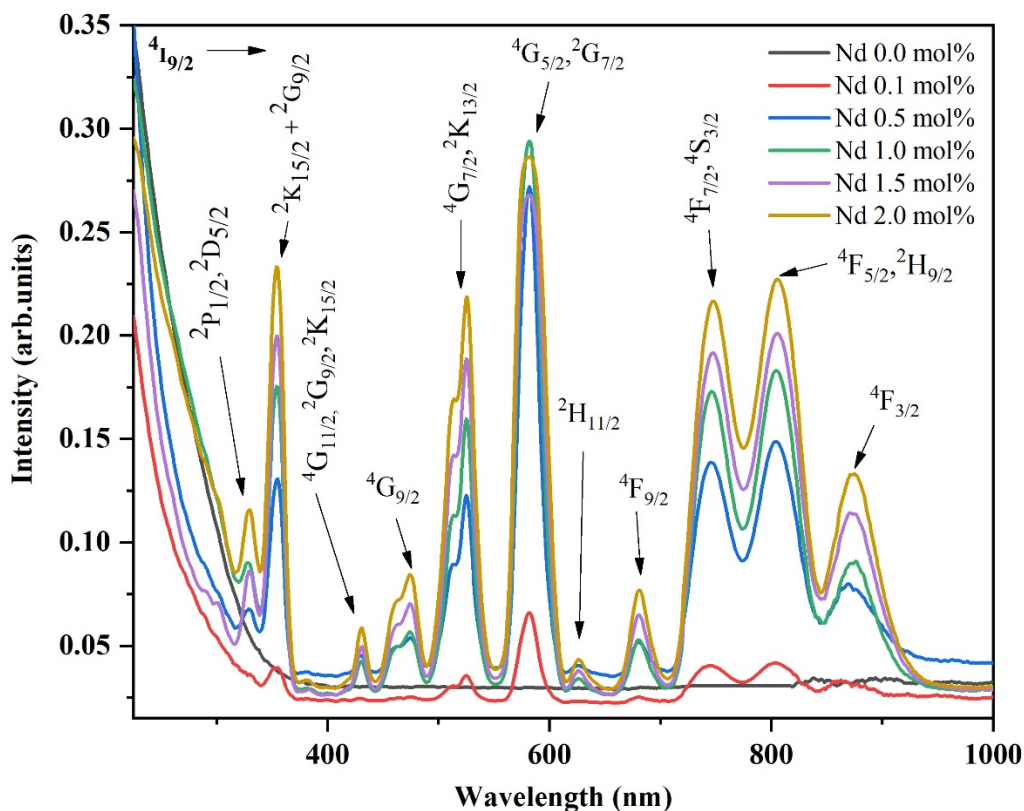
จากการวิเคราะห์แก้วที่เติม Nd_2O_3 ในช่วงความเข้มข้น 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 2.9092 ± 0.0004 ถึง 2.9303 ± 0.0001 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากการแทนที่ B_2O_3 ด้วย Nd_2O_3 ซึ่งมีมวลโมเลกุลมากกว่า ในขณะเดียวกัน ค่าปริมาตรเชิงโมลกลับลดลงจาก 23.9227 ถึง 24.5514 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล แสดงให้เห็นว่า Nd_2O_3 มีบทบาทเป็นสาร intermediate ซึ่งสามารถเข้าไปเชื่อมโครงสร้างด้วยพันธะออกซิเจนแบบเชื่อมโยง (bridging oxygen) ส่งผลให้โครงสร้างแก้วมีความหนาแน่นมากขึ้น และระยะห่างระหว่างอะตอมลดลง นอกจากนี้ ค่าดัชนีหักเหของแก้วยังเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Nd_2O_3 โดยมีค่าระหว่าง 1.6528 ± 0.0001 ถึง 1.6697 ± 0.0000 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีไดอิเล็กตริกแบบดั้งเดิมที่อธิบายว่า ค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของวัสดุและความสามารถในการเกิดขั้วของอะตอมในโครงสร้างเพิ่มขึ้น โดยแสดงค่าทั้งหมดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความหนาแน่น ค่าปริมาตรเชิงโมล และค่าดัชนีหักเหของแก้วที่เติม Nd_2O_3

ความเข้มข้นของ Nd_2O_3 (ร้อยละโดยโมล)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ดัชนีหักเห	ปริมาตรเชิงโมล (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล)
0.0	2.9092 ± 0.0004	1.6528 ± 0.0001	24.5514
0.1	2.9110 ± 0.0001	1.6543 ± 0.0001	24.5135
0.5	2.9170 ± 0.0001	1.6576 ± 0.0001	24.3729
1.0	2.9215 ± 0.0001	1.6623 ± 0.0001	24.2216
1.5	2.9255 ± 0.0001	1.6652 ± 0.0000	24.0751
2.0	2.9303 ± 0.0001	1.6697 ± 0.0000	23.9227

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง (absorption spectra)

จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 250 -1,000 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ Nd_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล พบว่าพีคของการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 - 1000 นาโนเมตร เกิดขึ้นช่วงความยาวคลื่นประมาณ 330 354 341 474 526 582 627 682 747 806 และ 876 นาโนเมตร เกิดจากการดูดกลืนพลังงานในสถานะพื้น $^4I_{9/2}$ ไปยังสถานะกระตุ้น $^2P_{1/2}$ $^2K_{15/2}+^2G_{9/2}$ $^4G_{11/2}$ $^4G_{9/2}$ $^4G_{7/2}$ $^2G_{5/2}$ $^2H_{9/2}$ $^4F_{9/2}$ $^4F_{7/2}$ $^4F_{5/2}$ และ $^4F_{3/2}$ ตามลำดับ [8-10] ดังภาพที่ 2 จากการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ทำให้สีของแก้วที่มองเห็นมีสีม่วง และเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Nd_2O_3 จะมีความเข้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของปริมาณ Nd_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น



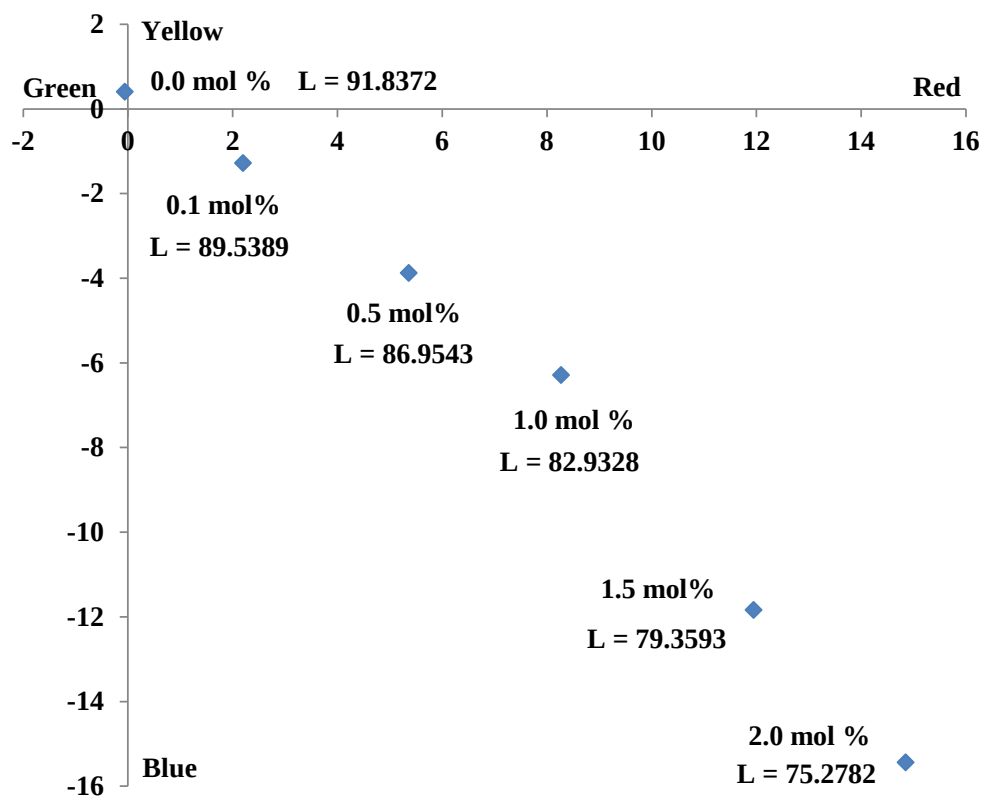
ภาพที่ 2 สเปกตรัมการดูดกลืนของแก้วที่เติม Nd_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ผลการวิเคราะห์สีในระบบ CIE L*a*b*

จากการวิเคราะห์สีในระบบ CIE L*a*b* ของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ Nd_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ Nd_2O_3 ที่เพิ่มขึ้น โดยค่า a^* จะมีค่าอยู่ระหว่าง -0.0580 ถึง 14.8482 ส่วนค่า b^* จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4076 ถึง -15.4358 ในตารางที่ 2 โดยค่าสีมีพิกัดอยู่ในแกน a และ -b ซึ่งเป็นพิกัดของแกนสีเขียว และน้ำเงิน จึงทำให้แก้วตัวอย่างมีสีม่วง ดังภาพที่ 3

ตารางที่ 2 ค่าสีของแก้วที่เติม Nd_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ Nd_2O_3 (ร้อยละโดยโมล)	Color measurement		
	L*	a*	b*
0.0	91.8153	-0.0580	0.4076
0.1	89.5389	2.1983	-1.2782
0.5	86.9543	5.3583	-3.8732
1.0	82.9328	8.2672	-6.2827
1.5	79.3593	11.9428	-11.8359
2.0	75.2782	14.8482	-15.4358



ภาพที่ 3 ค่าสีระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ของแก้วที่เติม Nd_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำเพื่อพัฒนากระบวนการเตรียมแก้วเจือนีโอโดเมียมออกไซด์โดยใช้เทคนิคไมโครเวฟเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับเทคนิคการหลอมด้วยไมโครเวฟ โดยนำส่วนผสมที่เตรียมไว้ใส่เข้าหลอม นำเข้าเตาไมโครเวฟแล้วให้กำลังไฟฟ้ากับตั้งเวลาที่ 1000 วัตต์ เป็นเวลา 25 นาที จากนั้นเมื่อครบเวลาหลอมเปิดฝาดำเนินการนำเอาแก้วหลอมออกจากเตาเผาและเทน้ำแก้วเหลวลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ ทิ้งไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปขัดให้มีขนาด $1.0 \times 1.5 \times 0.3$ ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของแก้วได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง และสีในระบบ CIE L^*a^*b

แก้วที่เติมด้วย Nd_2O_3 ความเข้มข้นร้อยละ 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 โดยโมล พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่เติมออกไซด์ของ Nd_2O_3 มีลักษณะใสไม่มีสี และเมื่อเติมออกไซด์ของ Nd_2O_3 มีลักษณะใส และมีสีม่วงอ่อนๆ ซึ่งสีดังกล่าวจะมีความเข้มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของออกไซด์ของ Nd_2O_3 มากขึ้น มีค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Nd_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลง สวนทางกับปริมาณความเข้มข้นของ Nd_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 250 – 1,000 นาโนเมตร พบว่าพีคของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 - 1000 นาโนเมตร เกิดขึ้นช่วงความยาวคลื่นประมาณ 330 354 341 474 526 582 627 682 747 806 และ 876 นาโนเมตร เกิดจากการดูดกลืนพลังงานในสถานะพื้น $^4\text{I}_{9/2}$ ไปยังสถานะกระตุ้น $^2\text{P}_{1/2}$ $^2\text{K}_{15/2} + ^2\text{G}_{9/2}$ $^4\text{G}_{11/2}$ $^4\text{G}_{9/2}$ $^4\text{G}_{7/2}$ $^2\text{G}_{5/2}$ $^2\text{H}_{9/2}$ $^4\text{F}_{9/2}$ $^4\text{F}_{7/2}$ $^4\text{F}_{5/2}$ และ $^4\text{F}_{3/2}$ ตามลำดับ ทำให้สีของแก้วที่มองเห็นมีสีม่วง และจะมีความเข้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของปริมาณ Nd_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงบรายได้จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ประจำปีงบประมาณ 2567 ภายใต้โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นเลิศทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2567

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] N. Singkiburin, N. Srisittipokakun, R. Rajaramakrissna, N. Intachai, S. Kothan, N. Wongdamnern, J. Kaewkhao, 2024. "Microwave melt-quenching technique to synthesize of CuO -doped B_2O_3 - ZnO - Na_2O - Sm_2O_3 ", *Radiation Physics and Chemistry*, 224, 112029.
- [2] W. Wongwan, P. Yasaka, K. Boonin, H.J. Kim, N. Discharoen, S. Kothan, J. Kaewkhao, 2024. "Microwave-assisted fabrication of $\text{Sr}_2\text{ZnMoO}_6\text{:Sm}_2\text{O}_3$ phosphors in TeO_2 : ZnO : B_2O_3 glass matrix for high-efficiency solid-state lighting applications", *Optik*, 297, 171532.
- [3] Varshneya, A.K., 1994, *Fundamental of Inorganic Glasses*, Academic Press, London, pp. 1-30
- [4] K.J. Rao, 2002, *Structure Chemistry of Glasses*, Elsevier Science, Oxford, pp. 2-7.
- [5] Shand E.B., 1997, *Glass Engineering Handbook*, McGraw-Hill Book, New York & Sons, pp. 301-305.
- [6] A.S. Abouhaswa, T.A.M. Taha, 2024, "Synthesis, optical and magnetic properties of Nd_2O_3 /borate strontium fluoride glasses", *Ceramics International*, Vol. 50(7), pp. 11032-11039
- [7] A.M. Abdelghany, G.M. El-Damrawi, E.G. Elbasuoni, 2023 "Structural and biophysical peculiarities of Nd_2O_3 doped borate bioglass". *Ceramics International*, Vol. 49, pp. 20365-20371.
- [8] X. Lin, H. Liang, X. Jiang, L. Liu, Z. Wang, Y. Luo, T. Liu, T. Ning, A. Lu, 2022. "Thermal and fluorescence properties of Nd_2O_3 -doped Gd_2O_3 - Ga_2O_3 - GeO_2 glass based on the Judd-Ofelt theory", *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol 594, 121810
- [9] O. B. Aljewaw, M. K. A. Karim, H. M. Kamari, M. H. M. Zaid, A. A. Salim, M. H. A. Mhareb, 2022. "Physical and spectroscopic characteristics of lithium-aluminium-borate glass: Effects of varying Nd_2O_3 doping contents", *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, Vol.575, 121214.
- [10] V.Y. Ganvir, H.V. Ganvir, R.S. Gedam, 2022. "Physical and optical study of Nd_2O_3 doped sodium borosilicate glasses", *Optical Materials*, Vol. 51(1), pp. 1201-1205