การศึกษาผลของ Dy^{3+}ต่อสมบัติของระบบแก้ว Bi_2O_3-B_2O_3-SiO_2
The Study Effect of Dy^{3+} on Properties of Bi_2O_3-B_2O_3-SiO_2 Glass System

สุนิสา สาระไชย[1,2*] ณัฐกฤตาจันทิมา[1,2] จักรพงษ์แก้วขาว[1,2] และ ณรงค์ สังวาระนที[3]

[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[3]สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
[*]bybon_only@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางแสงของระบบแก้วบิสมัทบอโรซิลิเกตจากสูตร $40Bi_2O_3$: $20SiO_2$: (40-x) B_2O_3: xDy_2O_3 โดยการเจือด้วยแร่โลหะหายาก ไทรวาเลนซ์ดิสโพเซียม(Dy^{3+}) ต่อสูตรของแก้วบิสมัทบอโรซิลิเกตโดยเพิ่มปริมาณของไทรวาเลนซ์ดิสโพเซียม(x)เป็น 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ โดยทำการสังเคราะห์แก้วตามสูตรด้วยการหลอมที่อุณหภูมิ 1100องศาเซลเซียสและทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ผลการทดลองพบว่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลของตัวอย่างแก้วมีค่าอยู่ระหว่าง 4.6477 ± 0.0020 ถึง 5.0047 ± 0.0041 g/cm^3และ 45.6608 ถึง 48.6797 cm^3/molตามลำดับ โดยความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลไม่ขึ้นกับปริมาณการเจือ Dy^{3+} จากการวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วที่เจือ Dy^{3+} โดยมีปริมาณความเข้มข้น 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5mol% พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง UV-VIS-NIR พบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 406, 794, 906, 1094, 1276 และ1690 นาโนเมตรซึ่งไม่ส่งผลต่อระบบของแก้ว ตัวอย่างแก้วสามารถดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิลที่ความยาวคลื่น 406 นาโนเมตรดีที่สุดดังนั้นจึงส่งผลให้ตัวอย่างแก้วเป็นสีเหลืองซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทั่วไปของแก้วที่มองเห็นด้วยตาเปล่า

คำสำคัญ: ดิสโพเซียม, แก้ว, สมบัติทางกายภาพ, สมบัติทางแสง

Abstract

In this research, physical properties and optical absorption properties of the glass system in compositions $40Bi_2O_3$: $20SiO_2$: (40-x) B_2O_3: xDy_2O_3 (where x = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 mol %) are studied. The Rare-earth, Dy^{3+} has been doped in Bi_2O_3-SiO_2-B_2O_3 glasses system. Methodology, the melt-quenching technique at 1,100 ºC has been used. The results demonstrate that, the density and molar volume of these glasses were found in the range 4.6477 to 5.0047 g/cm^3 and 45.6608 to 48.6797, respectively. It was confirmed that the values of density and molar volume of these glasses were not depending on the concentration of Dy_2O_3. The optical absorption properties, UV-Vis-NIR spectra, absorption bands at 406, 794, 906, 1094, 1276, and 1690 nm have been observed. For Dy^{3+} doped Bi_2O_3-SiO_2-B_2O_3 glass, emission bands at 406 nm excitation wavelength has shown a strong intensity.

Keywords: dysprosium, glasses, physical properties, optical properties

1. บทนำ

ในการพัฒนาแก้วเชิงแสงในปัจจุบันมีการผลิตแก้วแบบพิเศษที่เน้นคุณสมบัติที่หลากหลาย เพื่อตอบสนองในการประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่นการทำเลเซอร์ กำบังรังสี ท่อนำคลื่นแสง รวมถึงอุปกรณ์กึ่งตัวนำเชิงแสง ซึ่งในกลุ่มของแก้วที่นำมาสร้างเป็นแก้วในปัจจุบัน แก้วบิสมัทบอโรซิลิเกต Bi_2O_3-B_2O_3-SiO_2 หรือ แก้วแข็ง เป็นแก้วที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่โดดเด่นคือมีค่าดัชนีหักเหสูงทนต่อความร้อนทนต่อการกัดกร่อนทางเคมีได้เป็นอย่างดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบเช่นใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและห้องปฏิบัติการรวมทั้งเป็นผลิตภัณฑ์หลอดทดลองต่างๆ(สาธิต หอมหวล, 2549).จากการศึกษางานวิจัยพบว่าแก้วบิสมัทบอโรซิลิเกตเป็นแก้วที่มีค่าดรรชนีหักเหสูงสามารถดูดกลืนแสงได้ดีมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในด้านเซรามิก(N. Srisitipokakn et al., 2555)

แร่โลหะหายาก(Rare earth; RE) เป็นแร่ที่นำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง (ธมลวรรณ วุ่นพันธ์, 2551)ตั้งแต่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม(Petroleum catalysts)เป็นโลหะผสมในอุตสาหกรรมเซรามิกไปจนถึงการนำไปใช้ในการผลิตสารเรืองแสง(Phosphor) สำหรับโทรทัศน์สีจอรับรังสีเอกซ์ที่มีความเข้มสูงหรือวัสดุที่ทำให้เกิดแสงสว่าง Solid-State Lighting (SSL)เป็นเทคโนโลยีทางเลือกที่สำคัญสำหรับการประหยัดพลังงานและสิ่งแวดล้อมSSLกำลังเป็นที่สนใจอย่างมากของนักวิจัยโดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตแหล่งกำเนิดแสงสีขาว ในปัจจุบันแก้วที่เจือไอออนของธาตุหายากได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากการนำไปใช้งานที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพสูงทั้งการนำไปประยุกต์สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์เทคโนโลยีเลเซอร์เส้นใยนำแสงและสารเรืองแสง (ขวัญดาว ทวีเขต, 2554) ซึ่งในกลุ่มของธาตุหายากไทรวาเลนท์ดิสโพเซียม(Trivalent Dysprosium; Dy^{3+})ถือว่าเป็นหนึ่งในแร่โลหะหายากที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตการเปล่งแสงสีขาว (K. Swapna et al, 2556) โดยแก้วที่เจือด้วยDy^{3+}เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการเปล่งแสงสูง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของS. Insitipong et al.(2553)และ P. Chimalawonget al.(2555) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะศึกษาคุณสมบัติของแก้วบิสมัทบอโรซิลิเกต (Bismuth borosilicate)ที่เจือด้วย (Dy^{3+})ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันโดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ดังนี้ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล และการดูดกลืนแสง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แก้วเพื่อการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ในการเปล่งแสงสีขาว และสามารถนำคุณสมบัติที่ได้ไปประยุกต์ใช้ ให้เหมาะสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์แก้วที่มีประโยชน์อื่นต่อไป

2. วิธีการทดลอง

แก้วบิสมัสบอโรซิลิเกตที่เจือด้วย Dy^{3+} ในงานวิจัยนี้ถูกเตรียมขึ้นมาโดยใช้ระบบองค์ประกอบทางเคมีเป็น $40Bi_2O_3$: $20SiO_2$: $(40\text{-}x)B_2O_3$: xDy_2O_3เมื่อ x มีค่าเท่ากับ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ2.5mol% ตามลำดับ แก้วดังกล่าวถูกสังเคราะห์ด้วยเทคนิคการทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว (Melt quenching technique) โดยผสมสารเคมี Bi_2O_3, SiO_2, B_2O_3และDy_2O_3 ที่มีน้ำหนักรวม 20 กรัม ลงในเบ้าหลอม และนำไปหลอมในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นเวลา 3 ชม.โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ2.5°C ต่อนาทีหลังจากนั้นเมื่อครบเวลาที่กำหนดนำเบ้าหลอมออกจากเตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูงเพื่อทำให้แก้วเหลวที่ได้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว(Melt-quenching technique)โดยเทน้ำแก้วลงบนแบบพิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อขึ้นรูปแก้ว นำแก้วที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ500°Cเป็นเวลา3ชั่วโมงจากนั้นปิดเตาอบให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้องจึงนำแก้วออกจากเตาอบ เพื่อลดความเครียดที่เกิดขึ้นจากการเย็นตัวในเนื้อแก้ว นำตัวอย่างแก้วไปตัดและขัดชิ้นตัวอย่างแก้วให้มีขนาด1.0 × 1.5 × 0.3 cm^3เพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์แก้วที่เตรียมได้ถูกนำไปศึกษาความหนาแน่น (ρ) โดยอาศัยหลักการของอาร์คิมิดีส(Archimedes principle) ซึ่งมีการวัดน้ำหนักของแก้วในอากาศและในน้ำโดยใช้อุปกรณ์ไมโครบาลานซ์แบบ 4-digit sensitive (AND, HR-200) หลังจากนั้น ρ ที่วัดได้จะถูกนำไปคำนวณเพื่อหาค่าปริมาตรเชิงโมล(Molar volume; V_M) โดยอาศัยความสัมพันธ์ $V_M = M_T / \rho$ เมื่อ M_T คือ น้ำหนักโมเลกุลโดยรวมขององค์ประกอบทางเคมีในแก้วตัวอย่าง สำหรับสมบัติการดูดกลืนแสงของแก้วนั้น ถูกศึกษาด้วยเครื่อง UV-VIS-NIRสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu, UV-3600)

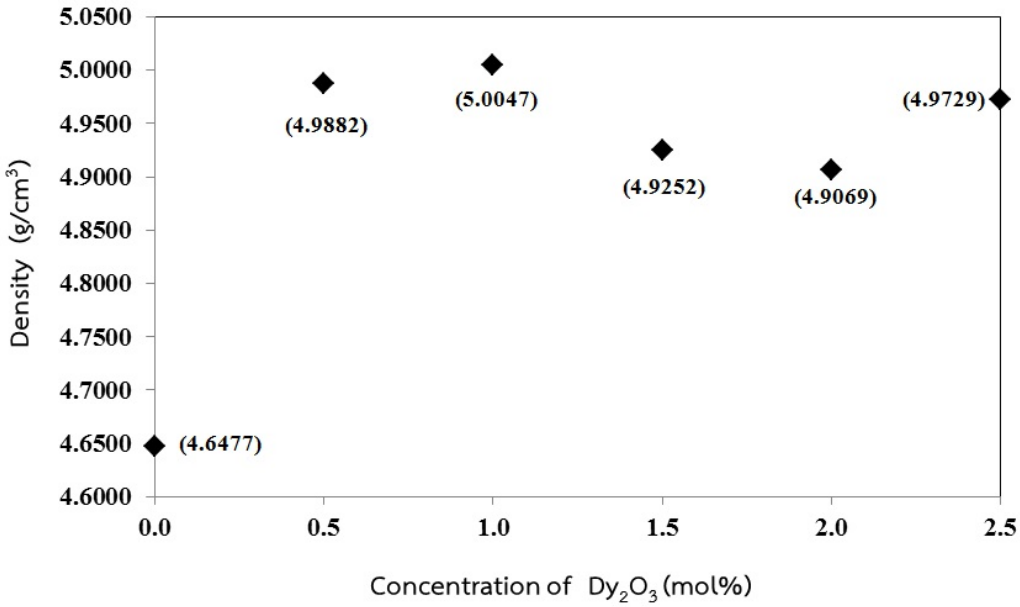
3. ผลการวิจัย

ผลวิเคราะห์ความหนาแน่น

จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วที่เจือ Dy^{3+}โดยมีปริมาณความเข้มข้น0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ2.5mol%พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ$Dy_2O_3$0.5 ถึง1.0 mol%แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเพิ่มเป็น1.5 และ2.0 mol%ความหนาแน่นมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นอีกเมื่อความเข้มข้นของ$Dy_2O_3$2.5 mol%ซึ่งจากข้างต้นไม่พบความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ชัดเจนดังแสดงในตารางที่1 พบว่าความหนาแน่นไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของDy_2O_3โดยค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง4.6477 ± 0.0020ถึง5.0047 ± 0.0041 g/cm^3และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความเข้มเข้นของDy_2O_3ดังแสดงในรูปภาพที่1

ตารางที่ 1 ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วที่เจือDy^{3+}ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นDy_2O_3(mol%)	ความหนาแน่น (g/cm^3)
0.0	4.6477 ± 0.0020
0.5	5.0047 ± 0.0041
1.5	4.9252 ± 0.0003
2.0	4.9069 ± 0.0126
2.5	4.9729 ± 0.0005



รูปภาพที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วกับปริมาณความเข้มข้นของDy_2O_3

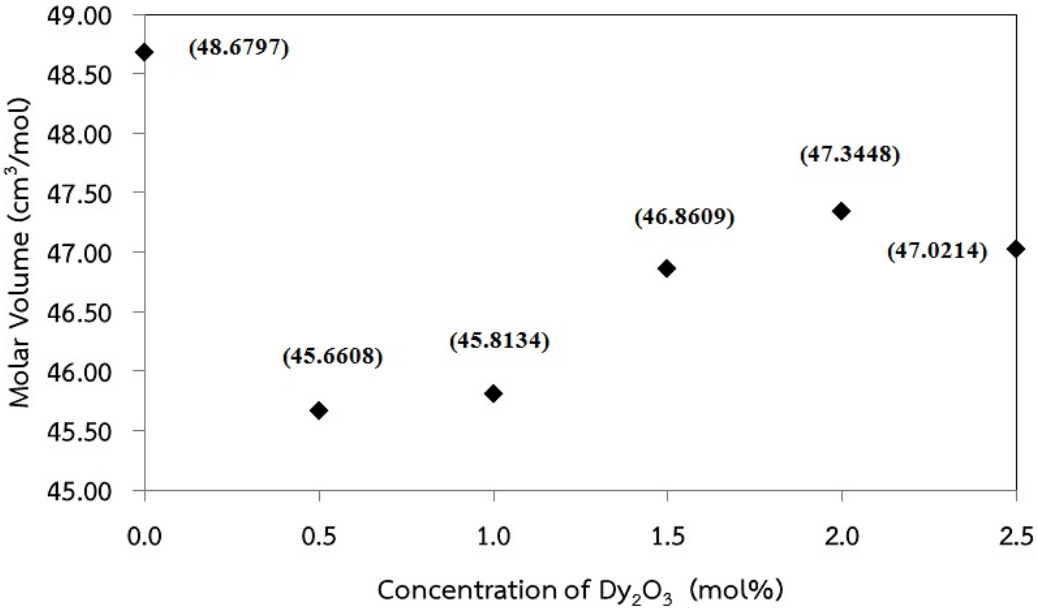
ผลการวิเคราะห์ปริมาตรเชิงโมล

จากการวิเคราะห์หาค่าปริมาตรเชิงโมลของตัวอย่างแก้วที่เจือDy^{3+}โดยมีปริมาณความเข้มข้น0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ2.5mol%พบว่าปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลงเมื่อDy_2O_3มีความเข้มข้น0.5 mol% จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของDy_2O_3เพิ่มขึ้นจาก1.0 ถึง2.0 mol%และมีค่าลดลงอีกครั้งเมื่อความเข้มข้นของ$Dy_2O_3$2.5 mol%ซึ่งไม่พบความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ชัดเจนตารางที่2แสดงให้เห็นว่าค่าปริมาตรเชิงโมลไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของDy_2O_3โดยค่าปริมาตรเชิงโมลมีค่าอยู่

ระหว่าง 45.6608 ถึง48.6797 cm^3/molและเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเชิงโมลกับความเข้มข้นของแก้วที่เจือDy_2O_3ดังแสดงในรูปภาพที่2

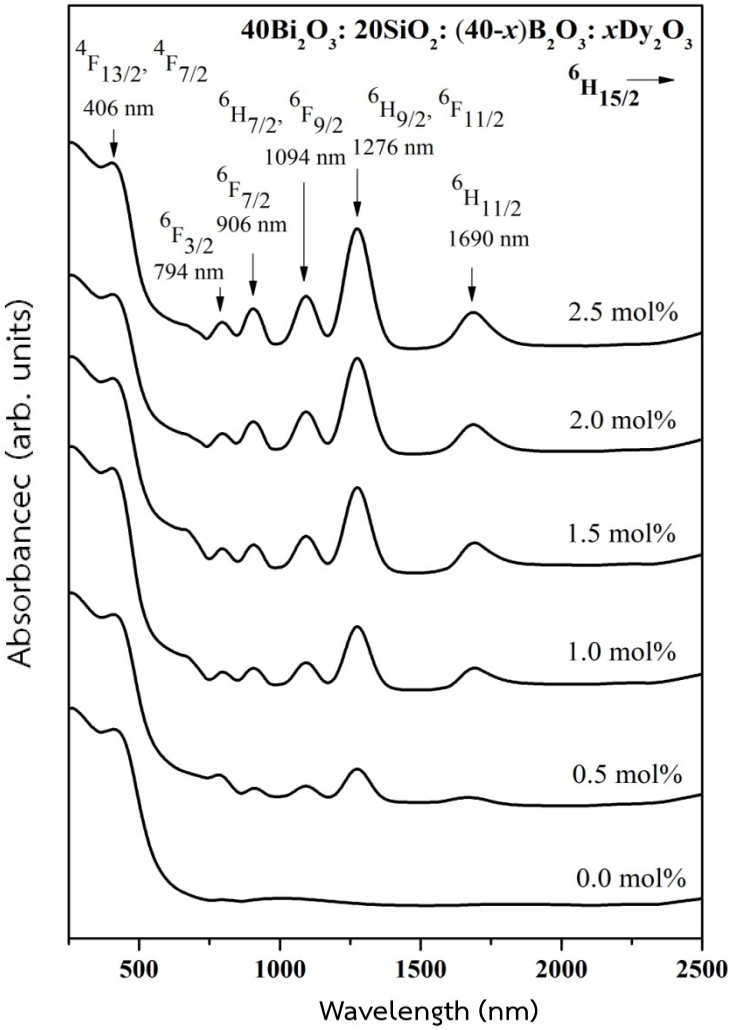
ตารางที่ 2 แสดงค่าปริมาตรเชิงโมลของตัวอย่างแก้วที่เจือDy^{3+}ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นDy_2O_3(mol%)	**ปริมาตรเชิงโมล(cm^3/mol)**
0.0	48.6797
0.5	45.6608
1.5	46.8609
2.0	47.3448
2.5	47.0214



รูปภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเชิงโมลของตัวอย่างแก้วกับปริมาณความเข้มข้นของDy_2O_3

ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสง



รูปภาพที่ 3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วที่เจือDy^{3+}ที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากการวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วที่เจือDy^{3+}โดยมีปริมาณความเข้มข้น0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ2.5mol%พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด6พีคโดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น406นาโนเมตร ($^6H_{15/2} \rightarrow {}^4F_{13/2}$, $^4F_{7/2}$), 794 นาโนเมตร($^6H_{15/2} \rightarrow {}^6F_{3/2}$), 906 นาโนเมตร($^6H_{15/2} \rightarrow {}^6F_{7/2}$), 1094 นาโนเมตร ($^6H_{15/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$, $^6F_{9/2}$), 1276 นาโนเมตร($^6H_{15/2} \rightarrow {}^6H_{9/2}$, $^6F_{11/2}$) และ1690 นาโนเมตร ($^6H_{15/2} \rightarrow {}^6H_{11/2}$) สังเกตพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วส่วนใหญ่เป็นการดูดกลืนในช่วงอินฟราเรดโดยที่ความยาวคลื่น794 ถึง1690 นาโนเมตรซึ่งไม่ส่งผลต่อระบบแก้วแต่เนื่องจากตัวอย่างแก้วสามารถดูดกลืนแสงในช่วงแสงที่ตามองเห็นที่ความยาวคลื่น406 นาโนเมตรดังนั้นจึงส่งผลให้ตัวอย่างแก้วเป็นสีเหลืองนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับตัวอย่างแก้วที่ความเข้มข้นต่างๆของDy_2O_3ดังแสดงในรูปภาพที่3

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของการเจือDy^{3+}ต่อคุณสมบัติของแก้วบิสมัทบอโรซิลิเกตจากสูตร$40Bi_2O_3$: $20SiO_2$:(40-x) B_2O_3: xDy_2O_3เมื่อx= 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ2.5mol%โดยทำการหลอมแก้วที่อุณหภูมิ1100°Cเป็นเวลา3ชั่วโมงจากนั้นเทน้ำแก้วลงบนแม่พิมพ์แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ500°Cเป็นเวลา3ชั่วโมงได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

การทดลองหลอมแก้วที่เจือDy^{3+}ปริมาณความเข้มข้น0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ2.5mol%พบว่าตัวอย่างแก้วที่ไม่ได้เจือDy_2O_3มีสีแดงปนส้มและเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของDy_2O_3 0.5 mol%ตัวอย่างแก้วมีสีเหลืองเข้มจากนั้นสีของตัวอย่างแก้วจะค่อยๆจางลงจนเป็นสีเหลืองตามปริมาณความเข้มข้นของDy_2O_3ที่เพิ่มมากขึ้น

การวิเคราะห์ความหนาแน่นพบว่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ$Dy_2O_3$0.5 ถึง1.0 mol% มีค่าลดลงเมื่อมีความเข้มข้น1.5 ถึง2.0 mol%และเพิ่มอีกครั้งเมื่อความเข้มข้นของ$Dy_2O_3$2.5 mol% โดยค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง4.6477 ± 0.0020ถึง5.0047 ± 0.0041g/cm^3ซึ่งไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนดังนั้นค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วไม่ได้ขึ้นกับความเข้มข้นของ Dy_2O_3

การวิเคราะห์ปริมาตรเชิงโมลพบว่าปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลงเมื่อเจือDy^{3+}และมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของDy_2O_3ซึ่งค่าปริมาตรเชิงโมลจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของ$Dy_2O_3$2.5 mol% ปริมาตรเชิงโมลมีค่าอยู่ระหว่าง45.6608 ถึง 48.6797 cm^3/molซึ่งไปพบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนดังนั้นปริมาตรเชิงโมลไม่ได้ขึ้นกับความเข้มข้นของ Dy_2O_3และยังพบว่าจากสูตรการหาปริมาตรเชิงโมลส่งผลให้ลักษณะของกราฟที่ได้เป็นส่วนกลับของกราฟความหนาแน่น

การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น250 ถึง2500 นาโนเมตรของตัวอย่างแก้วพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสามารถแบ่งออกเป็น6พีคคือที่ความยาวคลื่น406, 794, 906, 1094, 1276 และ1690 นาโนเมตรตามลำดับ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วส่วนใหญ่เป็นการดูดกลืนในช่วงอินฟราเรดคือที่ความยาวคลื่น794 ถึง1690 นาโนเมตรซึ่งไม่ส่งผลต่อระบบแก้วแต่เนื่องจากตัวอย่างแก้วสามารถดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิลที่ความยาวคลื่น406 นาโนเมตรดังนั้นจึงส่งผลให้ตัวอย่างแก้วเป็นสีเหลืองโดยสอดคล้องกับลักษณะทั่วไปของแก้วที่มองเห็นด้วยตาเปล่า

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)สำหรับความร่วมมือและการสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

สาธิต หอมหวล. (2549).**รายงานวิจัยเรื่องการศึกษาการผลิตแก้วจากทรายท้องถิ่นในภาคตะวันตก.** นครปฐม : สถาบันราชภัฏนครปฐม.

N. Srisitipokakn, J. Kaewkhao, W. Chwpradikul and P. Limsuwan. (2555). Comparative Study of Optical and Spectroscopic Properties of Lead and Bismuth on Borosilicate Glasses.Procedia Engineering, 32, 699-705.

ธมลวรรณ วุ่นพันธ์. (2551). **รายงานวิชาการเรื่องปริมาณแร่เอิร์ทออกไซด์ทั้งหมดในโมนาไซต์จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.** กรุงเทพฯ : กรมวิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากร-ธรณี.

ขวัญดาว ทวีเขต. (2554). **รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาสมบัติทางแสงของแก้วบิสมัทบอเรต (Bi2O3:B2O3) เจือธาตุหายาก.**นครปฐม : สถาบันราชภัฏนครปฐม.

K. Swapna, et al. (2556). Optical absorption and luminescence characteristics of Dy^{3+} doped Zinc Alumino Bismusth Borate glasses for lasing materials and white LEDs. **Journal of Luminescence**, 139, 119-124.

S. Insitipong, J. Kaewkhao, T. Ratana and P. Limsuwan. (2553). Optical and Structural Investigation of Bismuth Borate Glasses Doped With Dy^{3+}.**Procedia Engineering,** 8, 195-199.

P. Chimalawong, K. Kirdsiri, J. Kaewkhao, P. Limsuwan. (2555). Investigation on the Physical and Optical Properties of Dy^{3+} Doped Soda-Lime-Silicate Glasses. **Procedia Engineering,** 39, 690-698.