

## สมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ของแก้วซิงค์โซเดียมอะลูมิเนียมบอเรต ที่เจือด้วยดิสโพรเซียมออกไซด์

### Physical, Optical and Luminescence Properties of Zinc Sodium Aluminium Borate Glasses Doped with Dysprosium Oxide

ภัทรวิจิ ยะสะกะ<sup>1,2\*</sup> ดวงรักษ์ โชติช่วง<sup>1</sup> และจักรพงษ์ แก้วขาว<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

<sup>2</sup>ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

\*pyasaka@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

แก้วซิงค์โซเดียมอะลูมิเนียมบอเรตที่เจือด้วยดิสโพรเซียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของดิสโพรเซียมออกไซด์ ตั้งแต่ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมลที่องค์ประกอบ  $10\text{ZnO} - 10\text{Na}_2\text{O} - 10\text{Al}_2\text{O}_3 - (70-x)\text{B}_2\text{O}_3 - x\text{Dy}_2\text{O}_3$  ด้วยเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูงและปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคูสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ของระบบแก้วซิงค์โซเดียมอะลูมิเนียมบอเรต ผลที่ได้พบว่า ความหนาแน่นของระบบแก้วที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาตรเชิงโมลเพิ่มขึ้นและลดลง ตามปริมาณความเข้มข้นของดิสโพรเซียมออกไซด์ เมื่อวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง พบว่า ค่าความเข้มของพีการดูดกลืนแสงสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของดิสโพรเซียมออกไซด์ นอกจากนี้ได้ตรวจสอบคุณสมบัติการเปล่งแสงของ  $\text{Dy}^{3+}$  ที่เจือในระบบแก้วซิงค์โซเดียมอะลูมิเนียมบอเรต จากการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 452 นาโนเมตร

**คำสำคัญ:** แก้วซิงค์บอเรต โซเดียมออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ ดิสโพรเซียมออกไซด์

#### Abstract

The zinc sodium aluminium borate glasses with  $\text{Dy}^{3+}$  which varies  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  concentration are 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 mol% of the composition  $10\text{ZnO} - 10\text{Na}_2\text{O} - 10\text{Al}_2\text{O}_3 - (70-x)\text{B}_2\text{O}_3 - x\text{Dy}_2\text{O}_3$  have been synthesized by conventional melt quenching technique. The physical, optical and luminescence properties were investigated. The results shown that the density increased whereas the molar volume increased and decreased with  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  concentrations. The intensity of optical absorption spectra were increased with increasing  $\text{Dy}_2\text{O}_3$ . In addition, the luminescence properties of  $\text{Dy}^{3+}$  dope zinc sodium aluminium borate glasses system were carried out using excitation wavelengths of 452 nm.

**Keywords:** zinc borate glasses, sodium oxide, aluminium oxide, dysprosium oxide

## 1. บทนำ

แก้วบอเรต (Borate Glass) มีลักษณะที่น่าสนใจ คือมีการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติของโครงสร้างเมื่อเติมกลุ่มธาตุหายากลงไป โครงสร้างแก้ว จะทำให้โครงสร้างของแก้วบอเรตไม่จับกันแบบสุ่มซึ่งจะจับกันของโครงสร้างเป็นแบบสามเหลี่ยม  $\text{BO}_3$  และโครงสร้างเตตระไฮดรอรัล  $\text{BO}_4$  ซึ่งการรวมตัวประเภทนี้จะมีลักษณะที่เสถียร เช่น  $\text{BO}_3(2+)$   $\text{BO}_3(3+)$   $\text{BO}_3(4+)$  เป็นต้นโดยลักษณะดังกล่าวของกลุ่มบอเรตจะเป็นโครงสร้างแบบสามมิติ สิ่งเหล่านี้ทำให้แก้วบอเรตเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการเติมกลุ่มธาตุหายากลงในโครงสร้างแก้วแก้วบอเรตสามารถนำมาผลิตเป็นวัสดุทางแสงร่วมกับการเติมกลุ่มธาตุหายาก เนื่องจากจะทำให้มีคุณสมบัติที่โปร่งใสสูง มีจุดหลอมเหลวต่ำ เสถียรภาพความร้อนสูง นอกจากนี้กลุ่มธาตุหายากยังสามารถละลายได้ดีในการหลอมเป็นแก้วและแสดงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างโครงสร้างแก้ว และคุณสมบัติทางกายภาพ (Wagh et al., 2015: 696-706)

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่าง เช่น อุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ วัสดุเปล่งแสง ไดโอด เลเซอร์ ซึ่งจะเปล่งแสงออกมาในช่วงวิซิเบิล และมีแถบพลังงานกว้างการเติมซิงค์ออกไซด์ในแก้วบอเรตได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้งานทางด้านผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ จอพลาสมา เนื่องจากมีคุณภาพสูง ซิงค์ออกไซด์ได้รับการยอมรับในการใช้เป็นตัวเลือกสำหรับผลิตจอโทรทัศน์และจอคอมพิวเตอร์ จากรายงานวิจัย พบว่าซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงไปในโครงสร้างแก้วจะเข้าไปทำหน้าที่เป็นโครงร่างตาข่ายเชื่อมพันธะกับออกซิเจนและปรับปรุงคุณสมบัติทางแสงของแก้ว (Ahmad et al., 2014: 250-255)

อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium Oxide) นิยมนำมาทำเป็นสารเคลือบในอุตสาหกรรมแก้วและเซรามิก เนื่องจากมีความมันวาว และมีคุณสมบัติเสถียรภาพทางเคมี ทางความร้อนสูง นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ในกระบวนการโซลเจลซึ่งกระบวนการโซลเจลสามารถนำมาใช้ประโยชน์จากไอระเหยของสารเคมีที่เคลือบบนผิวของแก้ว ข้อดีของกระบวนการนี้คือต้นทุนในการผลิตต่ำ (Chien et al., 2013: 273-276) แก้วที่มีปริมาณ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  สูง จะทำให้แก้วนั้นมีความทนทานต่อการสึกกร่อนและสารเคมีได้ดีขึ้น (บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว, 2559: online และ วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2559: online)

โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) เป็นสารประกอบเกลือของกรดคาร์บอนิก มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น สามารถดูดความชื้นจากอากาศได้ดี ละลายได้ในน้ำ มีฤทธิ์เป็นด่างแก่เมื่อละลายน้ำ ละลายได้เล็กน้อยในแอลกอฮอล์ พบในขี้เถ้าของพืชหลายชนิดและสาหร่ายทะเล (จึงได้ชื่อว่า โซดา แอช เนื่องจาก แอช ในภาษาอังกฤษ หมายถึง ขี้เถ้า) เป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด (หนังสือสารานุกรมธาตุ, 2559: online)

แร่โลหะหายาก (Rare Earth) ปัจจุบันนี้แก้วที่เติมไอออนของธาตุหายาก (Rare Earth) ได้รับการศึกษาอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้งานด้านเทคโนโลยีทางแสง เช่น อุปกรณ์ทางแสง เทคโนโลยีเลเซอร์ ตัวเก็บข้อมูลทางแสง และการพัฒนาคุณภาพของสารกัมมันตรังสี โดยจากการประยุกต์ใช้งานเหล่านี้มีความเป็นไปได้ที่นำมาใช้งานได้จริง ซึ่งจะศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีของแก้วที่เติมกลุ่มธาตุหายาก เช่น การให้ความร้อน ความต้านทานเชิงกล เสถียรภาพทางเคมี และสมบัติทางแม่เหล็ก คุณสมบัติเหล่านี้เป็นที่น่าสนใจต่อการพัฒนาอุปกรณ์ทางแสง (Pascuta et al., 2008: 5475-5479)

ดิสโพรเซียม (Dysprosium) คือธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 66 และสัญลักษณ์คือ Dy ดิสโพรเซียมเป็นธาตุโลหะเอิร์ธหายากมีลักษณะสีเงินวาวอ่อนนุ่มสามารถตัดได้ด้วยมีดมีความเสถียรในอากาศที่อุณหภูมิห้องละลายได้ดีในกรดเจือจางและเข้มข้น โดยจะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนออกมา (หนังสือสารานุกรมธาตุ, 2559: online)

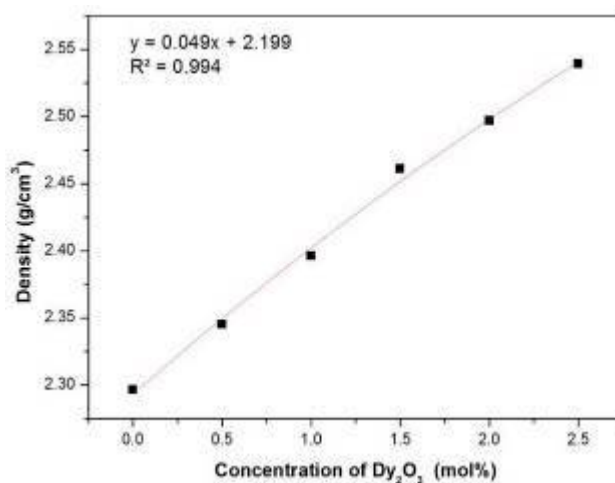
จากความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติด้านต่างๆ ของแก้วซิงค์โซเดียมอะลูมิเนียมบอเรตที่เจือด้วยดิสโพรเซียมออกไซด์ ที่มีความเข้มข้น 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ โครงสร้าง แสง และลูมิเนสเซนซ์ ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล โครงสร้างออสซิลโลแกรม สเปกตรัมอินฟราเรด การดูดกลืนแสง และการลูมิเนสเซนซ์ของแสง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แก้วที่มีประโยชน์ต่อไป

## 2. วิธีการทดลอง

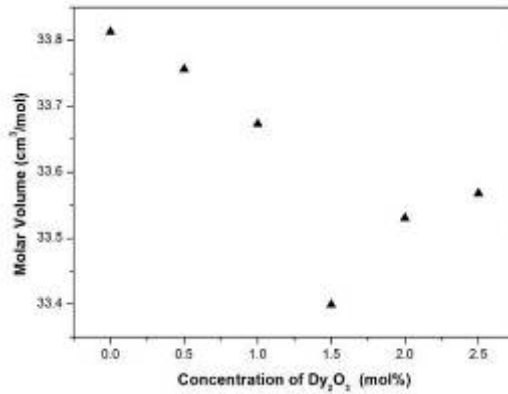
แก้วซิงค์โซเดียมคาบอเนตอะลูมิเนียมบอเรต  $10\text{ZnO} - 10\text{Na}_2\text{O} - 10\text{Al}_2\text{O}_3 - (70-x)\text{B}_2\text{O}_3 - x\text{Dy}_2\text{O}_3$  (เมื่อ  $x$  คือ 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล) หลอมด้วยเทคนิคการหลอมแก้วที่อุณหภูมิสูงและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Melt Quenching Technique) ต่อมาทำการบดสารเคมีทั้งหมดให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกันด้วยโกร่งบดสาร บรรจุในแก้ว หลอมอะลูมินา จากนั้นนำเข้าเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างแก้วที่ได้เข้าเตาอบ เพื่อปล้ความเครียดของแก้วที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง โดยปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง ขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมแก้วตัวอย่าง คือการนำไปตัดและขัดให้มีขนาด 1.0 ซม. x 1.5 ซม. x 0.3 ซม. สำหรับวิเคราะห์ความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลโดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่น (รุ่น AND HR-200 บริษัท Dietheim) การวิเคราะห์สมบัติการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสเนียร์ไออาร์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น UV-3600 บริษัท Bara Scientific) การวิเคราะห์สมบัติการเปล่งแสงโดยใช้เครื่อง Fluorescence Spectrophotometer (รุ่น Cary Eclipse บริษัท Agilent Technologies)

## 3. ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้ว ที่แตกต่างกันซิงค์โซเดียมอะลูมิเนียมบอเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  ตั้งแต่ 0.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  ซึ่ง จากความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่าง โดยค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง  $2.2964 \pm 0.0101$  ถึง  $2.5391 \pm 0.0043$  กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1 และค่าปริมาตรเชิงโมลจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 ที่ความเข้มข้นของ  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  0.0 ถึง 1.0 เปอร์เซ็นต์โมล จะมีค่าปริมาตรเชิงโมลลดลง คือ 33.8129 ถึง 33.6736 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล เนื่องจาก  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  ประพฤติตัวเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างแก้วซึ่งทำให้อะตอมในโครงสร้างแก้วอยู่ชิดกันมากขึ้นส่งผลให้ค่าปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลง ทั้งนี้  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  ยังทำให้เกิด bridging oxygens (BO) และช่วงที่ 2 ที่ความเข้มข้นของ  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  1.5 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล จะมีค่าปริมาตรเชิงโมลเพิ่มขึ้น 33.3992 ถึง 33.5680 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล เนื่องจาก  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  ทำให้เกิด non - bridging oxygens (NBO) ดังนั้นจึงทำให้ค่าปริมาตรเชิงโมลเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 2

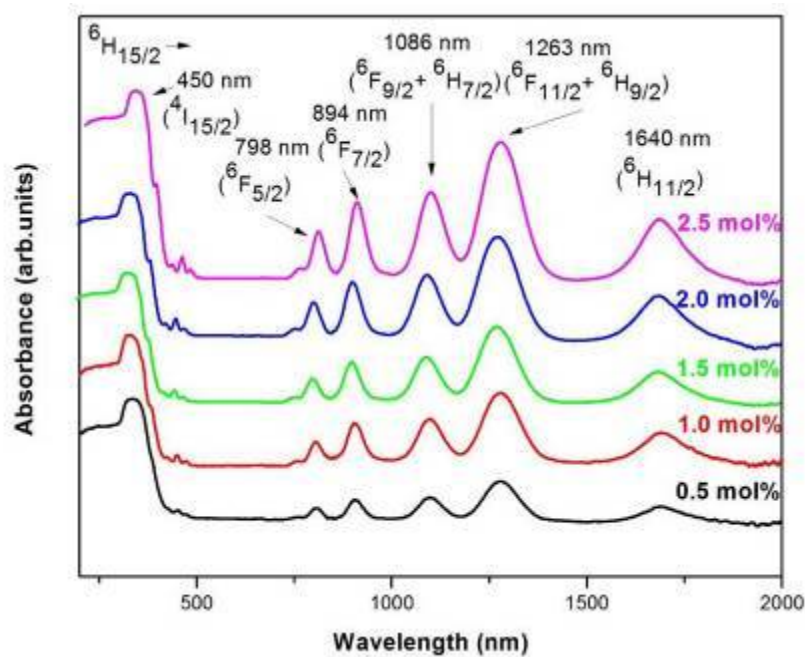


ภาพที่ 1 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของแก้ว  $10\text{ZnO}-10\text{Na}_2\text{O}-10\text{Al}_2\text{O}_3-(70-x)\text{B}_2\text{O}_3$  ที่เจือด้วย  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



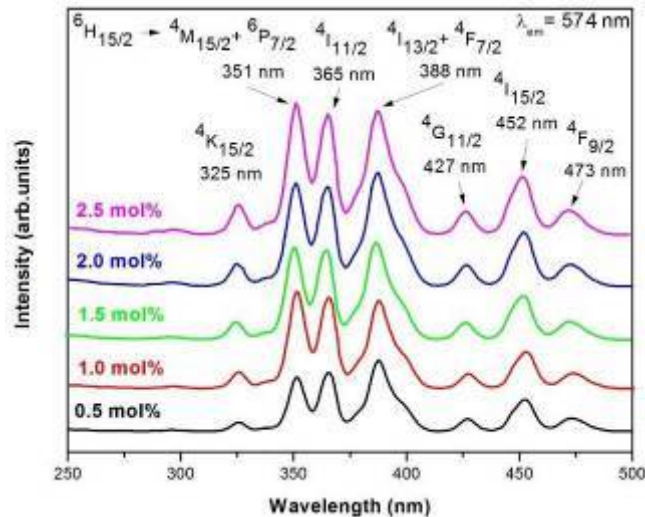
ภาพที่ 2 กราฟแสดงค่าปริมาณเชิงโมลของแก้ว 10ZnO-10Na<sub>2</sub>O-10Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(70-x)B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่เจือด้วย Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ผลจากการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วซิงค์โซเดียมอะลูมิเนียมโบเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงดังภาพที่ 3 พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 6 พีก โดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร (<sup>4</sup>L<sub>15/2</sub>) 798 นาโนเมตร (<sup>6</sup>F<sub>5/2</sub>) 894 นาโนเมตร (<sup>6</sup>F<sub>7/2</sub>) 1,086 นาโนเมตร (<sup>6</sup>F<sub>9/2</sub> + <sup>6</sup>H<sub>7/2</sub>) 1,263 นาโนเมตร (<sup>6</sup>F<sub>11/2</sub> + <sup>6</sup>H<sub>9/2</sub>) และ 1,640 (<sup>6</sup>H<sub>11/2</sub>) สังเกตพบว่าการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่าง ส่วนใหญ่เป็นการดูดกลืนในช่วงซิลิเบิลจนถึงช่วงอินฟราเรด โดยที่ความยาวคลื่น 451 ถึง 1,640 นาโนเมตร



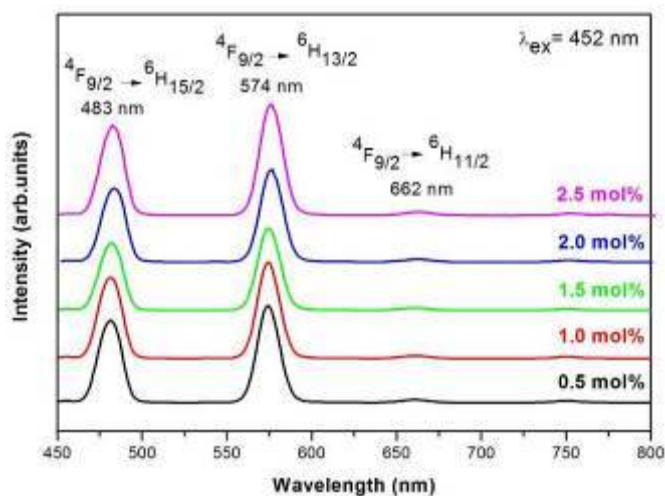
ภาพที่ 3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้ว 10ZnO-10Na<sub>2</sub>O-10Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(70-x)B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่เจือด้วย Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ผลจากการศึกษาสเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้วซิงค์โซเดียมอะลูมิเนียมโบเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล สเปกตรัมการกระตุ้นถูกบันทึกในช่วงความยาวคลื่นแสดงดังภาพที่ 4 พบว่าสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 7 พีก โดยใช้การเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 574 นาโนเมตร ซึ่งพีกการกระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง (<sup>4</sup>K<sub>15/2</sub>) 325 นาโนเมตร (<sup>4</sup>M<sub>15/2</sub> + <sup>6</sup>P<sub>7/2</sub>) 351 นาโนเมตร (<sup>4</sup>L<sub>11/2</sub>) 365 นาโนเมตร (<sup>4</sup>L<sub>13/2</sub> + <sup>4</sup>F<sub>7/2</sub>) 388 นาโนเมตร (<sup>4</sup>G<sub>11/2</sub>) 427 นาโนเมตร (<sup>4</sup>L<sub>15/2</sub>) 452 นาโนเมตร และ (<sup>4</sup>F<sub>9/2</sub>) 473 นาโนเมตร

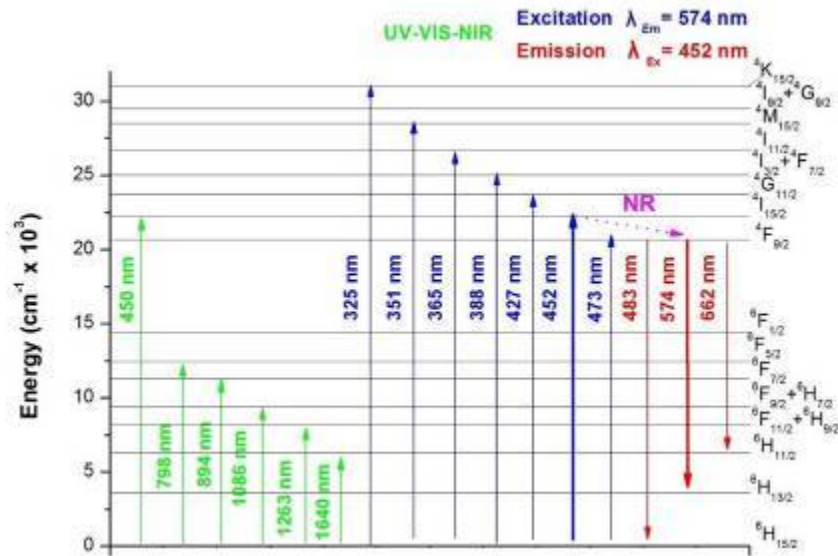


ภาพที่ 4 สเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้ว  $10\text{ZnO}-10\text{Na}_2\text{O}-10\text{Al}_2\text{O}_3-(70-x)\text{B}_2\text{O}_3$  ที่เจือด้วย  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ผลจากการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วซิงค์โซเดียมอะลูมิเนียมโบรเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล สเปกตรัมการเปล่งแสงถูกบันทึกในช่วงความยาวคลื่น 450 ถึง 700 นาโนเมตร ความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้น คือ 452 นาโนเมตร แหล่งกำเนิดของแสง คือ หลอดไฟแฟลช (xenon flash lamp) แสดงดังภาพที่ 5 จากรูปพบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 3 พีก ในช่วง VIS ถึง NIR โดยการเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 483 นาโนเมตร ( ${}^4\text{F}_{9/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{15/2}$ ) 574 นาโนเมตร ( ${}^4\text{F}_{9/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{13/2}$ ) และ 662 นาโนเมตร ( ${}^4\text{F}_{9/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{11/2}$ ) สเปกตรัมการเปล่งแสงที่มีความเข้มข้นของสัญญาณสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 574 นาโนเมตร ( ${}^4\text{F}_{9/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{13/2}$ ) โดยสอดคล้องกับรูปแบบระดับพลังงานของ  $\text{Dy}^{3+}$  ดังแสดงในภาพที่ 6 จากรูปจะแสดงไดอะแกรมของระดับพลังงานไอออน  $\text{Dy}^{3+}$  ที่ถูกดูดกลืนแสง กระตุ้นแสง เปล่งแสง และการปล่อยพลังงานในรูปของความร้อน (Nonradiative) เมื่อไอออนของ  $\text{Dy}^{3+}$  ถูกกระตุ้นที่ระดับพลังงานต่าง ๆ จะเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานจากชั้น  ${}^4\text{F}_{9/2}$  ไปยังสถานะอื่น ๆ



ภาพที่ 5 สเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้ว  $10\text{ZnO}-10\text{Na}_2\text{O}-10\text{Al}_2\text{O}_3-(70-x)\text{B}_2\text{O}_3$  ที่เจือด้วย  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



ภาพที่ 6 ไดอะแกรมระดับพลังงานสำหรับการดูดกลืนแสง การกระตุ้นแสง และการเปล่งแสงของ  $Dy^{3+}$

#### 4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาแกว่งรังสีโซเดียมอะลูมิเนียมโบรไมด์ที่เจือด้วยดิสโพรเซียมออกไซด์พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ  $Dy_2O_3$  จากความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของ  $Dy_2O_3$  มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่าง โดยค่าความหนาแน่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 ที่ความเข้มข้นของ  $Dy_2O_3$  0.0 ถึง 1.0 เปอร์เซ็นต์โมล จะมีค่าปริมาตรเชิงโมลลดลง และช่วงที่ 2 ที่ความเข้มข้นของ  $Dy_2O_3$  1.5 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล จะมีค่าปริมาตรเชิงโมลเพิ่มขึ้น สเปกตรัมการดูดกลืนแสง ปรากฏทั้งหมด 6 พีก โดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร 798 นาโนเมตร 894 นาโนเมตร 1,086 นาโนเมตร 1,263 นาโนเมตร และ 1,640 สเปกตรัมการกระตุ้นแสงปรากฏทั้งหมด 7 พีก โดยใช้การเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 574 นาโนเมตร ซึ่งพีคการกระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง 325 นาโนเมตร 351 นาโนเมตร 365 นาโนเมตร 388 นาโนเมตร 427 นาโนเมตร 452 นาโนเมตร และ 473 นาโนเมตร สเปกตรัมการเปล่งแสงปรากฏทั้งหมด 3 พีก โดยใช้การกระตุ้นแสงที่ความยาวคลื่น 452 นาโนเมตร พบพีคการเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 483 นาโนเมตร 574 นาโนเมตร และ 662 นาโนเมตร สเปกตรัมการเปล่งแสงที่มีความเข้มของสัญญาณสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 574 นาโนเมตร การเปล่งแสงสูงสุดที่ความเข้มข้นของ  $Dy_2O_3$  2.5 เปอร์เซ็นต์โมล

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่อำนวยความสะดวกและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย

## 6. เอกสารอ้างอิง

1. บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว(2559). **ความหมายของแก้ว**. ค้นเมื่อ 17 กันยายน 2559 จาก <http://www2.mtec.or.th>
2. วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี(2559). **Glass**. ค้นเมื่อ 17 กันยายน 2559 จาก <https://en.wikipedia.org>
3. Wagh, A., Raviprakash, Y., Upadhyaya, V., and Kamath, S. D., 2015, “**Composition Dependent Structural and Optical Properties of PbF<sub>2</sub>-TeO<sub>2</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Glasses**”, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, Vol. 151, pp. 696-706.
4. Ahmad, F., Aly, E.H., Atef, M., and ElOkr, M.M., 2014, “**Study the Influence of Zinc Oxide Addition on Cobalt Doped Alkaline Earth Borate Glasses**”, Journal of Alloys and Compounds, Vol. 593, pp. 250-255.
5. Chien, H.H., Ma, K.J., Kuo, C.H., and Huang, S.W., 2013, “**Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coated Glass Preform on Glass-Mold Sticking Behavior**”, Surface & Coatings Technology, Vol. 231, pp. 273-276.
6. หนังสือสารานุกรมธาตุ(2559). **โซเดียมคาบอเนต**. ค้นเมื่อ 19 กันยายน 2559 <https://web.ku.ac.th>
7. Pascuta, P., Borodi, G., and Culea, E., 2008, “**Influence of Europium Ions on Structure and Crystallization Properties of Bismuth Borate Glasses and Glass Ceramics**”, Journal of Non-Crystalline Solids, vol. 354, pp. 5475-5479.
8. หนังสือสารานุกรมธาตุ(2559). **ธาตุดีสโพรเซียม**. ค้นเมื่อ 19 กันยายน 2559 <https://web.ku.ac.th>