

สมบัติทางกายภาพและทางแสงที่เจือด้วยเออร์เบียมออกไซด์ของแก้ว โซเดียมอะลูมิเนียมฟอสเฟต

Physical and Optical Properties for Er₂O₃ Doped Sodium Aluminium Phosphate Glasses

ณัฐกฤตา จันทิมา^{1,2} นุชจรี คิวสกุลกาญจน์^{1,2} เยาวลักษณ์ ทาริวงศ์^{1,2} และจักรพงษ์ แก้วขาว^{1,2}

¹สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

natthakridta@webmail.npru.ac.th and b.njr.kskk@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางแสงของ Er³⁺ เจือในแก้วโซเดียมอะลูมิเนียมฟอสเฟต ที่ความเข้มข้นของ Er₂O₃ แตกต่างกัน ด้วยเทคนิคการหลอมและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ผลการเตรียมตัวอย่างแก้วพบว่า ลักษณะของตัวอย่างแก้วที่ได้ เนื้อแก้วจะมีความใสสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันและมีสีชมพูเข้มมากขึ้นตามความเข้มข้นของ Er₂O₃ ที่เพิ่มขึ้น ผลการศึกษสมบัติทางกายภาพ พบว่าความหนาแน่นมีแนวโน้มขึ้นกับความเข้มข้นของ Er₂O₃ และปริมาตรเชิงโมลของตัวอย่างแก้วไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของ Er₂O₃ จากการศึกษาการดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่น 200-1700 นาโนเมตร พบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงทั้งหมด 11 พีก โดยที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 1537 นาโนเมตร เป็นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุดในช่วงอินฟราเรดใกล้ นอกจากนี้พบว่าความเข้มการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ Er₂O₃

คำสำคัญ: ฟอสเฟต เออร์เบียม สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง

Abstract

In this research, the physical and optical properties of Er³⁺ doped sodium aluminum phosphate glasses have been investigated in different concentration of Er₂O₃. The glass sample were prepared by melt-quenching technique at 1200 °C. The results show that all glass samples are clear, homogenous and increased pink color with increasing the concentration of Er₂O₃. The physical properties indicated that the density depending on the concentration of Er₂O₃ doped and the molar volume are not depending on the concentration of Er₂O₃ doped in glass samples. The absorption spectra in the wavelength range at 200-1700 nm was observed. It has been observed that the absorption bands have 11 peaks and absorption band at 1537 nm is highest absorption spectra in near-infrared (NIR) region and also it can be observed that the intensity of absorption bands increased on increase of Er₂O₃ concentrations.

Keywords: phosphate glass, erbium, physical properties, optical properties

1. บทนำ

วัสดุแก้ว (glass material) ถูกทำขึ้นมาเป็นครั้งแรกในประเทศอียิปต์ เมื่อหลายปีก่อนคริสต์ศักราชแต่แก้วได้รับความนิยมนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางเมื่อประมาณ 3,500 ปีหลังจากค้นพบ ต่อมาได้มีการพัฒนาสูตรแก้วเพื่อประยุกต์ใช้ทำกระจกเงา ฉนวนความร้อน ใช้ในอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมเครื่องใช้ในครัวเรือน อุตสาหกรรมยานยนต์ นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาแก้วเพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัย

แก้วฟอสเฟตเป็นแก้วที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันเนื่องจากมีสมบัติที่เฉพาะตัวหลายอย่าง เช่น มีความโปร่งใสสูง จุดหลอมเหลวต่ำ และการกระจายของแสงต่ำ (R. Vijaya et al., 2013: 85-92) นอกจากนี้จากการศึกษางานวิจัยพบว่า แก้วฟอสเฟตเป็นแก้วที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดกลืนแสง และการเปล่งแสงของกลุ่มธาตุหายาก (rare earth) ได้เป็นอย่างดี (M. Sobczyk et al., 2016: 194-798) โซเดียมออกไซด์ (sodium oxide: Na₂O) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide: Al₂O₃) ถูกเติมลงในแก้วฟอสเฟต เพื่อช่วยเพิ่มความเสถียรภาพทางเคมี ลดการดูดความชื้น และช่วยปรับปรุงสมบัติทางความร้อนของแก้วฟอสเฟต กลุ่มธาตุหายากที่เจือในวัสดุแก้วถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางตั้งแต่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเป็นโลหะผสมในอุตสาหกรรมเซรามิกไปจนถึงการนำไปใช้ในการผลิตสารเรืองแสง เนื่องจากการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงมีความคมชัด (X. Yu et al., 2009: 1645–1649) เออร์เบียม (erbium: Er³⁺) เป็นหนึ่งในกลุ่มธาตุหายากที่มีความสำคัญ เหมาะสำหรับประยุกต์ใช้ทำอุปกรณ์การสื่อสารโทรคมนาคม เส้นใยแก้วนำแสง อินฟราเรดเลเซอร์ เป็นต้น (D.V.R. Murthy et al., 2010: 349–353)

จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางแสงของ Er³⁺ ที่เจือในแก้วโซเดียมอะลูมิเนียมฟอสเฟต ที่มีความเข้มข้นของ Er₂O₃ แตกต่างกัน สำหรับพัฒนาเป็นวัสดุทางแสงต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมแก้ว

การเตรียมแก้วระบบโซเดียมอะลูมิเนียมฟอสเฟตโดยใช้สูตร 15Na₂O : 20Al₂O₃ : (65-x)P₂O₅ : xEr₂O₃ โดยที่ x เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.50, 1.00, 2.00 และ 3.00 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate : Na₂CO₃) แทนโซเดียมออกไซด์ (sodium oxide : Na₂O), อะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide : Al₂O₃), อะลูมิเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Ammonium dihydrogen phosphate : NH₄H₂PO₄) แทนฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (phosphorus pentoxide : P₂O₅) และเออร์เบียมออกไซด์ (erbium Oxide : Er₂O₃) โดยการเตรียมสารเคมีที่เป็นส่วนผสมทั้งหมด 20 กรัม ลงในบ้ำหลอมและคนสารเคมีให้เข้ากันนำไปหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และเมื่อครบเวลาที่กำหนด เทน้ำแก้วลงบนแบบพิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อขึ้นรูปแก้ว นำแก้วที่ได้ไปอบ (anneal) ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นปิดเตาอบให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จึงนำแก้วออกจากเตาอบ นำตัวอย่างแก้วไปตัดและขัดให้มีขนาด 1.0 × 1.5 × 0.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์

2.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างแก้วในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความหนาแน่น (density) โดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่นรุ่น ANDHR-200 ของบริษัท Dietheim จากนั้นนำไปคำนวณตามสมการ

$$\rho = \frac{w_a}{w_a - w_w} \times \rho_w \quad g/cm^3 \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } w_a &= \text{น้ำหนักของตัวอย่างแก้วเมื่อชั่งในอากาศ (g)} \\
 w_w &= \text{น้ำหนักของตัวอย่างแก้วเมื่อชั่งในน้ำ (g)} \\
 w_a - w_w &= \text{น้ำหนักที่หายไปหรือน้ำหรือหมายถึงน้ำหนักของน้ำที่ปริมาตรเท่ากัน} \\
 \rho &= \text{ความหนาแน่นของวัตถุ} \\
 \rho_w &= \text{ความหนาแน่นของน้ำ (1 g/cm}^3\text{)}
 \end{aligned}$$

จากค่าความหนาแน่นของแก้วสามารถนำมาคำนวณหาค่าปริมาตรเชิงโมลได้ตามสมการ

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

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } M_T &= \text{น้ำหนักโมเลกุลรวมของแก้วตัวอย่าง} \\
 \rho &= \text{ความหนาแน่นของตัวอย่างแก้ว} \\
 V_M &= \text{ปริมาตรเชิงโมล}
 \end{aligned}$$

เมื่อ M_T หมายถึงผลรวมทั้งหมดของน้ำหนักโมเลกุลโดยหาได้จาก

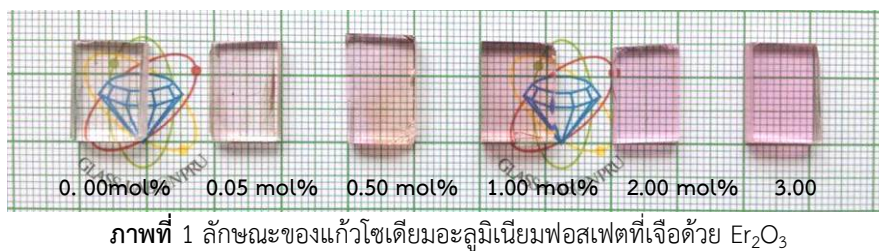
$$M_T = x_{Na_2O} Z_{Na_2O} + x_{Al_2O_3} Z_{Al_2O_3} + x_{P_2O_5} Z_{P_2O_5} + x_{Er_2O_3} Z_{Er_2O_3} \quad (3)$$

2.3 การศึกษาสมบัติทางแสง

การศึกษาสมบัติทางแสงของตัวอย่างแก้วได้ศึกษาด้วยการดูดกลืนแสง (absorption) ช่วง UV-Vis โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer รุ่น Cary ของบริษัท Varian และช่วง UV-Vis-NIR โดยใช้เครื่อง UV-Vis-NIR spectrophotometer รุ่น UV 3600 ของบริษัท Bara Scientific นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วที่วัดได้ไปพล็อตกราฟเพื่อแสดงค่าการดูดกลืนแสงของแก้ว

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการทดลองหลอมแก้วพบว่าตัวอย่างแก้วที่ได้มีลักษณะ เป็นเนื้อเดียวกัน สีสม่ำเสมอและมีสีชมพูเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของ Er_2O_3 ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเออร์เบียมออกไซด์เป็นสารเคมีที่ให้สีชมพู ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Er_2O_3 จึงส่งผลให้ตัวอย่างแก้วมีสีชมพูเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 1



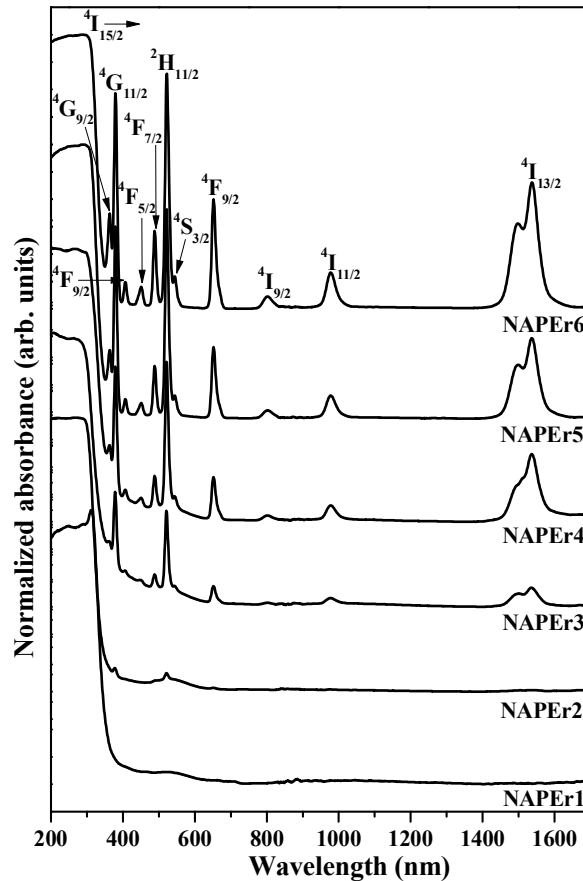
จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ของแก้วโซเดียมอะลูมิเนียมฟอสเฟตที่เจือด้วย Er_2O_3 ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.05, 0.50, 1.00, 2.00 และ 3.00 ร้อยละโดยโมล พบว่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้ว NAPER มีค่าเท่ากับ 2.6172, 2.5975, 2.6202, 2.6432, 2.7007 และ 2.7482 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ โดยพบว่าความหนาแน่นของแก้วมีแนวโน้มขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ Er_2O_3 โดยที่ความเข้มข้น 0.05 ร้อยละโดยโมล มีความหนาแน่นต่ำที่สุด เท่ากับ 2.5975 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความเข้มข้น 3.00 ร้อยละโดยโมล มีความหนาแน่นสูงที่สุด เท่ากับ 2.7482 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 1 และจากการวิเคราะห์ค่าปริมาตรเชิงโมล พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้น 0. - 001.0 0

ร้อยละโดยโมล ลดลงที่ความเข้มข้น 2.0 ร้อยละโดยโมล และเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่ความเข้มข้น 3.00 ร้อยละโดยโมล ดังนั้นตัวอย่างแก้ว NAPER จะไม่ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ Er_2O_3 โดยที่ความเข้มข้น 0.00 ร้อยละโดยโมล มีปริมาตรเชิงโมลต่ำที่สุด เท่ากับ 46.5970 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล และความเข้มข้น 1.00 ร้อยละโดยโมล มีปริมาตรเชิงโมลสูงที่สุด เท่ากับ 47.0485 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล ดังแสดงในตารางที่ 1 ค่าปริมาตรเชิงโมลของตัวอย่างแก้ว NAPER ที่ความเข้มข้นที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจาก Er_2O_3 เข้าไปทำลายสะพานเชื่อมออกซิเจน (non-bridging oxygen) ในโครงสร้างของแก้วฟอสเฟตมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่างเพิ่มขึ้น และสำหรับตัวอย่างแก้ว NAPER ที่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของ Er_2O_3 อาจเนื่องมาจาก Er_2O_3 เข้าไปเชื่อมสะพานออกซิเจน (bridging oxygen) ในโครงสร้างของแก้วฟอสเฟตมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่างไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของ Er_2O_3

ตารางที่ 1 ค่าความหนาแน่น และค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้ว NAPER ที่เจือ Er_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ตัวอย่างแก้ว	สัดส่วนสารเคมี	สมบัติทางกายภาพ	
		ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์-เซนติเมตร)	ปริมาตรเชิงโมล (ลูกบาศก์-เซนติเมตรต่อโมล)
NAPER1	15Na ₂ O : 20Al ₂ O ₃ : 65P ₂ O ₅	2.6172 ± 0.0148	46.5970
NAPER2	15Na ₂ O : 20Al ₂ O ₃ : 64.95P ₂ O ₅ : 0.05Er ₂ O ₃	2.5975 ± 0.0050	46.9964
NAPER3	15Na ₂ O : 20Al ₂ O ₃ : 64.50P ₂ O ₅ : 0.50Er ₂ O ₃	2.6202 ± 0.0024	47.0023
NAPER4	15Na ₂ O : 20Al ₂ O ₃ : 64.00P ₂ O ₅ : 1.00Er ₂ O ₃	2.6432 ± 0.0010	47.0485
NAPER5	15Na ₂ O : 20Al ₂ O ₃ : 63.00P ₂ O ₅ : 2.00Er ₂ O ₃	2.7007 ± 0.0043	46.9378
NAPER6	15Na ₂ O : 20Al ₂ O ₃ : 62.00P ₂ O ₅ : 3.00Er ₂ O ₃	2.7482 ± 0.0004	47.0023

จากการศึกษาสมบัติทางแสง ของแก้วโซเดียมอะลูมิเนียมฟอสเฟตที่เจือด้วย Er_2O_3 ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.05, 0.50, 1.00, 2.00 และ 3.00 ร้อยละโดยโมล พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้ว NAPER ในช่วง UV-Vis-NIR จะได้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้ว NAPER แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้ว NAPER ในช่วงความยาวคลื่น 200– 1700 นาโนเมตร
แบบเรียงกันตามความเข้มข้นของ Er_2O_3

จากภาพที่ 2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้ว NAPER เจือด้วย Er_2O_3 ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.05, 0.50, 1.00, 2.00 และ 3.00 ร้อยละโดยโมล ในช่วงความยาวคลื่น 200-1700 นาโนเมตร พบว่าตัวอย่างแก้วสามารถดูดกลืนแสงช่วงอินฟราเรดใกล้ (UV-Vis-NIR) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงทั้งหมด 11 พีค คือ ที่ความยาวคลื่น 363 ($^4I_{15/2} \rightarrow ^4G_{9/2}$), 379 ($^4I_{15/2} \rightarrow ^4G_{11/2}$), 406 ($^4I_{15/2} \rightarrow ^4F_{9/2}$), 451 ($^4I_{15/2} \rightarrow ^4F_{5/2}$), 488 ($^4I_{15/2} \rightarrow ^4F_{7/2}$), 522 ($^4I_{15/2} \rightarrow ^2H_{11/2}$), 544 ($^4I_{15/2} \rightarrow ^4S_{3/2}$), 652 ($^4I_{15/2} \rightarrow ^4F_{9/2}$), 802 ($^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$), 978 ($^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$) และ 1537 ($^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$) นาโนเมตร (V.B. Sreedhar et al., 2017: 1001-1008) โดยความเข้มข้นของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ Er_2O_3 ซึ่งที่ความยาวคลื่น 1537 นาโนเมตร เป็นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสูงที่สุดในช่วงอินฟราเรดใกล้ ที่ความเข้มข้นของ 0.00 ร้อยละโดยโมล Er_2O_3 จะไม่พบสเปกตรัมการดูดกลืนแสง ในขณะที่ความเข้มข้นของ Er_2O_3 ที่ 3.00 ร้อยละโดยโมล จะให้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงสูงที่สุด

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการเจือ Er_2O_3 ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางแสงของแก้วโซเดียมอะลูมิเนียมฟอสเฟต จากสูตร $15\text{Na}_2\text{O} : 20\text{Al}_2\text{O}_3 : (65-x)\text{P}_2\text{O}_5 : x\text{Er}_2\text{O}_3$ เมื่อ x เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.50, 1.00, 2.00 และ 3.00 ร้อยละโดยโมล ตัวอย่างแก้วถูกเตรียมด้วยวิธีการหลอมและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (melt quenching) โดยหลอมแก้วที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ผลการเตรียมตัวอย่างแก้วพบว่า ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ Er_2O_3 และค่า

ปริมาณเชิงโมลของตัวอย่างแก้วไม่ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ Er_2O_3 การดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วในช่วงความยาวคลื่น 200-17 μm ดูดกลืนแสงทั้งหมดนาโนเมตร พบสเปกตรัมการ 0011 พีค โดยความยาวคลื่น 1537 นาโนเมตร เป็นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงอินฟราเรดใกล้ นอกจากนี้พบว่าความเข้มการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ Er_2O_3 จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า แก้วโซเดียมอะลูมิเนียมฟอสเฟต เจือด้วย Er_2O_3 มีแนวโน้มสำหรับเป็นวัสดุทางแสง (optical materials) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ณัฐกฤตา จันทิมา และนางสาวเยาวลักษณ์ ทาริวังศ์ สำหรับข้อเสนอแนะและความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านในการทำงานวิจัย โดยเฉพาะเกี่ยวกับแก้วโซเดียมอะลูมิเนียมฟอสเฟต ที่ให้คำแนะนำเป็นประโยชน์สำหรับการปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยในครั้งนี้ และศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

6. เอกสารการอ้างอิง

- Vijaya, R., Venkatramu, V., Babu, P., Jayasankar, C.K., Rodríguez-Mendoza, U.K. and Lavín, V., 2013, "Spectroscopic properties of Sm^{3+} ions in phosphate and fluorophosphate glasses", **Journal of Non-Crystalline Solids**, Vol. 365, pp. 85-92.
- Sobczyk, M., Szymański, D., Guzik, M., and Legendziewicz, J., 2016, "Optical behavior of samarium doped potassium yttrium double phosphate", **Journal of Luminescence**, Vol. 169, pp. 194-798.
- Yu, X., Song, F., Zou, C., Luo, L., Ming, C., Wang, C., Cheng, Z., Han, L., Sun, T. and Tian, J., 2009, "Temperature dependence of luminescence behavior in $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ co-doped transparent phosphate glass ceramics", **Optical Materials**, Vol. 31, pp. 1645-1649.
- Murthy, D.V.R., Mohan Babu, A., Jamalaih, B.C., Rama Moorthy, L., Jayasimhadri, M., Jang, K., Sueb Lee, H., Soo Yi, S. and Hyun Jeong, J., 2010, "Photoluminescence properties of Er^{3+} -doped alkaline earth titanium phosphate glasses", **Journal of Alloys and Compounds**, Vol. 491, pp. 349-353.
- Sreedhar, V.B., Vijaya, N., Ramachari, D. and Jayasankar, C.K., 2017, "Luminescence studies on Er^{3+} -doped zincfluorophosphate glasses for 1.53 μm laser applications", **Journal of Molecular Structure**, Vol. 1130, pp. 1001-1008.