สมบัติการดูดกลืนแสงของแก้วอัลคาไลน์ อะลูมิเนียมฟอสเฟตที่เจือไอออนของนีโอดีเมียม
Absorption properties of alkali aluminium phosphate glass doped with Nd^{3+} ions

ณัฐกฤตา จันทิมา[1,2*] ขวัญชนก รังกุพันธุ์[3] อรไท จีนอนงค์[3] และจักรพงษ์ แก้วขาว[1,2]

[1]สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[3]ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[*]natthakridta@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของแก้วอัลคาไลน์ อะลูมิเนียม ฟอสเฟตที่เจือด้วยไอออนของนีโอดีเมียมที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ตัวอย่างแก้วถูกเตรียมด้วยวิธีการหลอมและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ผลการเตรียมตัวอย่างแก้วพบว่า ตัวอย่างแก้วที่ได้มีลักษณะของเนื้อแก้วเป็นเนื้อเดียวกัน และมีสีม่วงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของนีโอดีเมียม การศึกษาการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วในช่วงความยาวคลื่น 250-2500 นาโนเมตร พบว่าตัวอย่างแก้วสามารถดูดกลืนแสงที่มีความเข้มของสัญญาณสูงสุดที่ความยาวคลื่น 353, 581 และ 803 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล และอินฟาเรดใกล้ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าความเข้มของการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของนีโอดีเมียม

คำสำคัญ: แก้วฟอสเฟต นีโอดีเมียม สมบัติทางแสง

Abstract

In this research, absorption properties of alkaline aluminium phosphate glasses doped with different concentrations of Nd^{3+} ions have been investigated. Glass samples were prepared by the melt-quenching technique at 1200 °C. The results indicated that all glass samples were tranparent, homogenous and purple colour increased with increasing of Nd_2O_3 concentration. The absorption spectra were investigated in the wavelength region from 250-2000 nm. It was found that the highest absorption peak centered at 353, 581 and 803 nm in the ultraviolet, visible and near infrared region, respectively. Also the intensity of absorption peaks increased with increasing Nd_2O_3 concentrations.

Keywords: phosphate glass, neodymium, optical properties

1. บทนำ

แก้วเป็นวัสดุที่มีลักษณะพิเศษซึ่งไม่มีวัสดุใดเหมือน เป็นวัสดุที่โปร่งแสง แข็งแรงและทนทานต่อการกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ดังนั้น แก้วจึงได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น อุตสาหกรรมเครื่องประดับ อุตสาหรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสากรรมการแพทย์และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

แก้วฟอสเฟต (phosphate glass) เป็นแก้วที่มีฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5) เป็นส่วนผสมด้วยเกือบทั้งหมดทำให้แก้วมี P_2O_5 เป็นองค์ประกอบหลัก แก้วประเภทนี้มีสมบัติทนต่อกรดไฮโดรฟลูออริกซึ่งปกติเป็นสารเคมีที่สามารถละลายซิลิกาหรือกัดกร่อนแก้วได้ แก้วประเภทนี้จึงถูกใช้ประโยชน์ในงานที่มีกรดไฮโดรฟลูออริก เช่น ในกระบวนการเติมฟลูออรีนเข้าไปในโมเลกุลสารอินทรีย์ (fluorination) ใช้ทำหน้าต่างสำหรับดูในอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานหรือในการขนย้ายสารยูเรเนียมที่แยกได้ไปใช้ในงานทางนิวเคลียร์ เช่น ระเบิดปรมาณู เป็นต้น (ประสิทธิ์ ปุระชาติ, 2006) นอกจากนี้การเติมอะลูมิเนียม (aluminium) ไปเพราะมีจุดหลอมเหลวที่สูง เป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อย สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่เสี่ยงต่อรอยร้าวและการแตกหัก ไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อน โดยเฉพาะการนำมาผสมกับโลหะอื่น ๆ แล้วจะทำให้คุณสมบัติต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น เช่น จุดหลอมเหลวของอะลูมิเนียมผสมจะอยู่ที่ 1140-1205 องศาเซลเซียส จึงนิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ รวมถึงวัสดุหรือภาชนะที่เกี่ยวข้องกับอาหาร (Unchalee;siamchemi) นอกจากนั้นการเติมอัลคาไลน์:ลิเทียม (Li) โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) ไปในแก้วเพราะเป็นตัวช่วยหลอมและช่วยเพิ่มการไหลตัวของเคลือบขณะหลอมเพิ่มความมันวาว แต่ถ้าใช้ในปริมาณที่มากไป ทำให้แก้วมีความทนทานต่อสภาพอากาศและสารเคมีลดลง แก้วจะเกิดเป็นฝ้าขาวที่เรียกว่า สนิมแก้ว (bloom) เมื่อใช้ไปนาน ๆ ในกลุ่มนี้ Na_2O ซึ่งได้มาจากโซดาแอช (Na_2CO_3) เป็นตัวที่นิยมใช้ที่สุด แต่ในการทำแก้วคริสตัลต้องใช้ K_2O ช่วยเพิ่มความมันวาวด้วย (เทพีวรรณ จิตรวัชรโกมล, 2005) แก้วที่เจือด้วยนีโอดีเมียม มักพบอยู่ร่วมกับสารประกอบ Lanthanum เป็นสารเติมให้แก้วมีสีม่วง ใช้ทำเลเซอร์ ทำตัวจุและแม่เหล็ก (สุทัศน์ ยกส้าน, 2014)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะสามารถเปลี่ยนโครงสร้างของแก้วได้โดยการเติมธาตุเข้าไปในระบบของแก้วอะลูมิเนียมฟอสเฟต แต่อย่างไรก็ตามการเติมสารเคมีเหล่านี้ก็ไม่ได้เกิดการฟอร์มตัวเป็นแก้วเสมอไป ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาเกี่ยวกับสมบัติการดูดกลืนแสง เพื่อเป็นข้อมูลทำวัสดุที่สำคัญในการประยุกต์ใช้งานระดับสูงต่อไป

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การหลอมแก้ว

จากการทดลองการหลอมแก้วอัลคาไลน์ อะลูมิเนียมฟอสเฟตโดยใช้สูตร $15R_2O : 20Al_2O_3 : (65\text{-}x)P_2O_5 : xNd_2O_3$ เมื่อ R คือ Li_2O, Na_2O และ K_2O (LiNd, NaNd และ KNd ตามลำดับ) โดยที่ x เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.00 ร้อยละโดย (mol%) หลอมที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นสารที่หลอมจะถูกนำไปเทลงในแม่พิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิมที่อุณหภูมิห้องเพื่อขึ้นรูปแก้วเป็นชิ้นงาน นำตัวอย่างแก้วที่ได้ไปตัดและขัดแก้ว

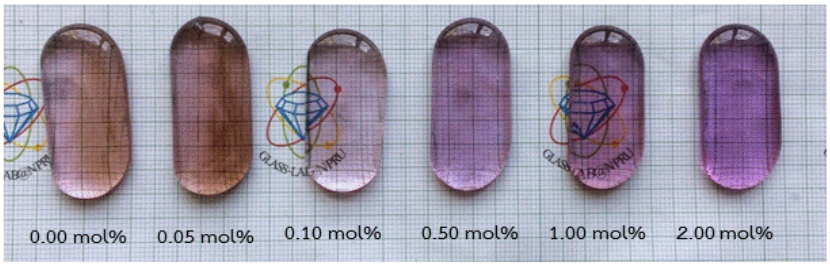
2.2 การศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสง

การศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้ว LiNd, NaNd และ KNd ที่ได้นำไปตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV–Vis–NIR spectrophotometer ในช่วงความยาวคลื่น 250–2500 นาโนเมตร

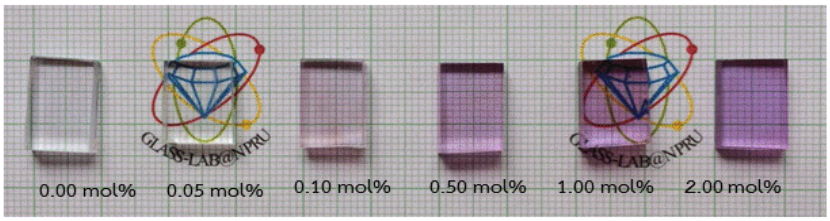
3. ผลการศึกษาและการวิจัย

3.1 ลักษณะตัวอย่างแก้วที่ได้จากการหลอม

จากการหลอมแก้วอัลคาไลน์ อะลูมิเนียมฟอสเฟตพบว่าลักษณะของตัวอย่างแก้วที่ได้มีความโปร่งแสง เมื่อเจือ Nd^{3+} แล้วจะให้สีที่เป็นสีม่วงและสีม่วงที่เพิ่มขึ้นเกิดจากความเข้มข้นขึ้นของ Nd^{3+} และจากรูปที่มีสีน้ำตาลปนอยู่เกิดจากเบ้าหลอมไม่สะอาดในขั้นตอนการหลอมแก้วจึงทำให้มีสีน้ำตาล แสดงดังภาพที่ 1-3 ตามลำดับ

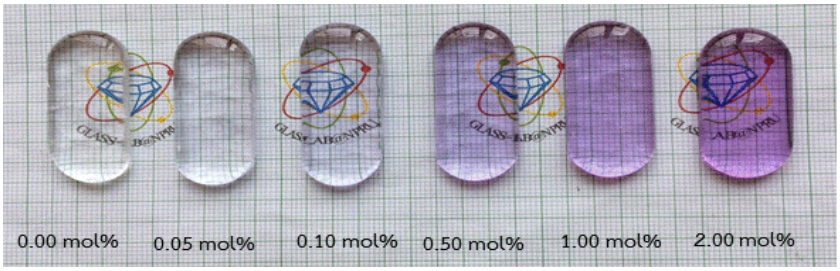


(ก)

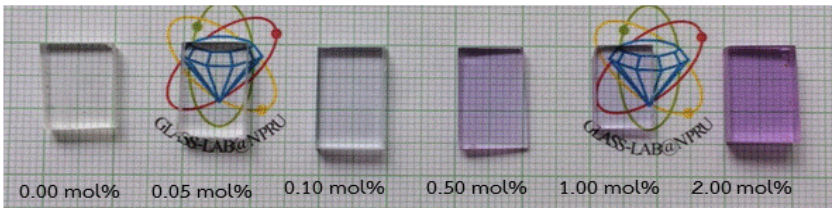


(ข)

ภาพที่ 1 ลักษณะของตัวอย่างแก้ว LiNd (กหลังตัดและขัดแก้ว (ข) ก่อนขัดแก้ว (

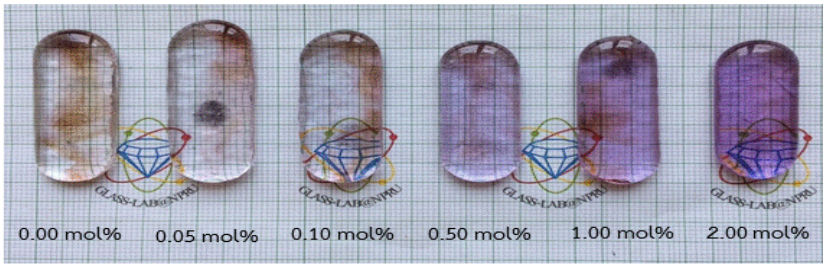


(ก)

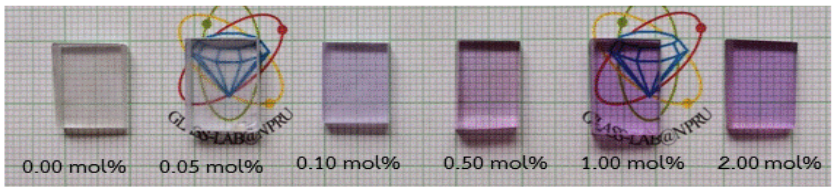


(ข)

ภาพที่ 2 ลักษณะของตัวอย่างแก้ว NaNd (กหลังตัดและขัดแก้ว (ข) ก่อนขัดแก้ว (



(ก)

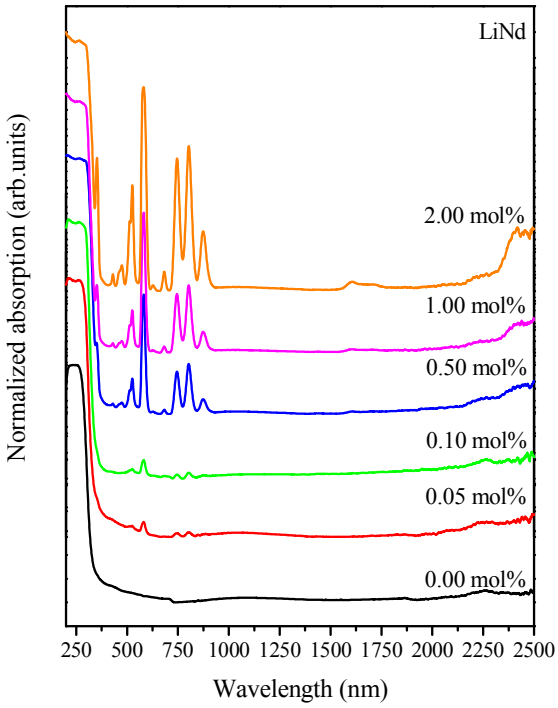


(ข)

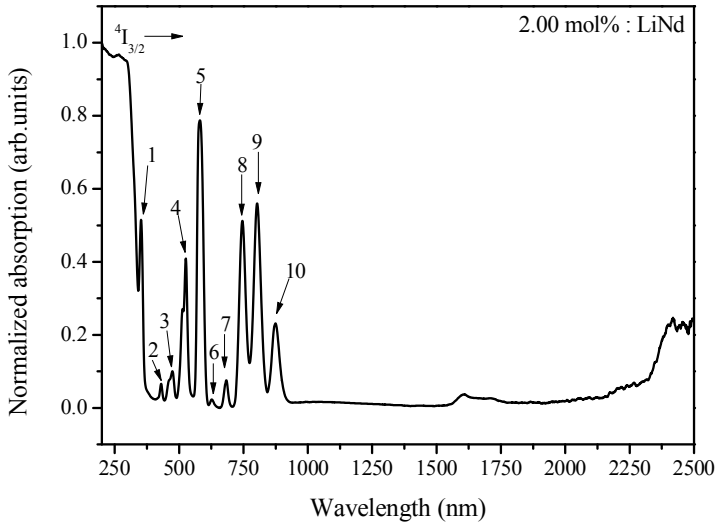
ภาพที่ 3 ลักษณะของตัวอย่างแก้ว KNd (ก) ก่อนขัดแก้ว และขัดแก้วหลังตัด (ข)

3.2 ผลการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสง

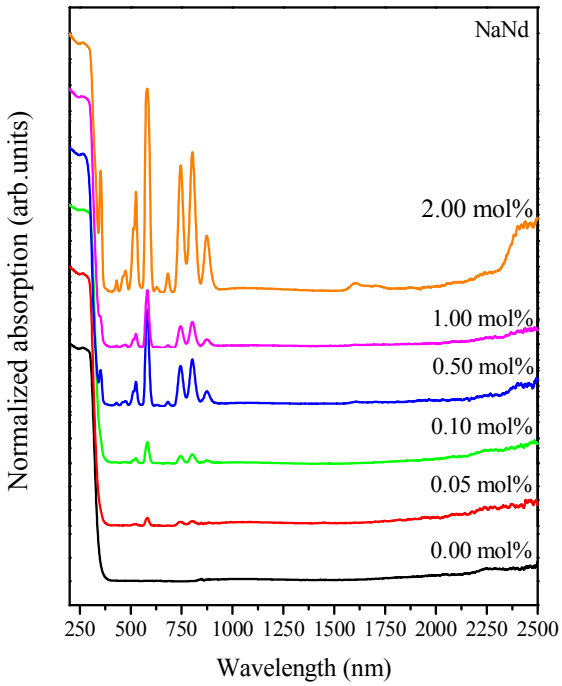
จากการวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วอัลคาไลน์ อะลูมิเนียมฟอสเฟตด้วยเครื่อง UV–Vis–NIR spectrophotometer สามารถพบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วในช่วงความยาวคลื่น 250–2500 นาโนเมตร แสดงดังภาพที่ 4–9



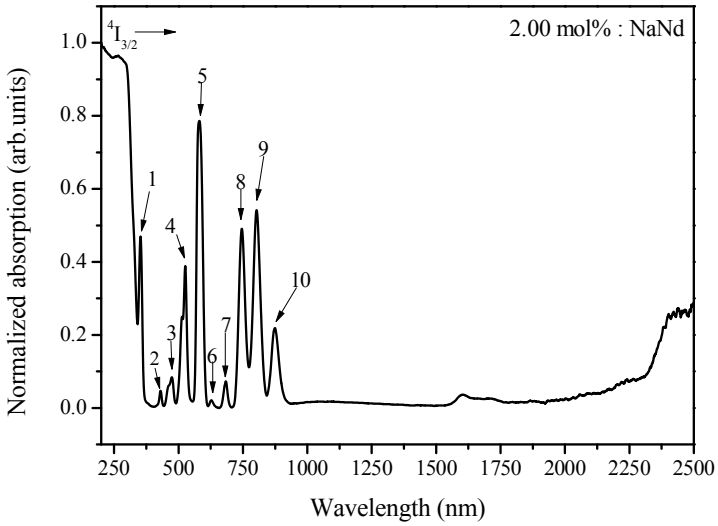
ภาพที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้ว LiNd ลักษณะกราฟซ้อนเป็นชั้นตามความเข้มข้นของ Nd_2O_3



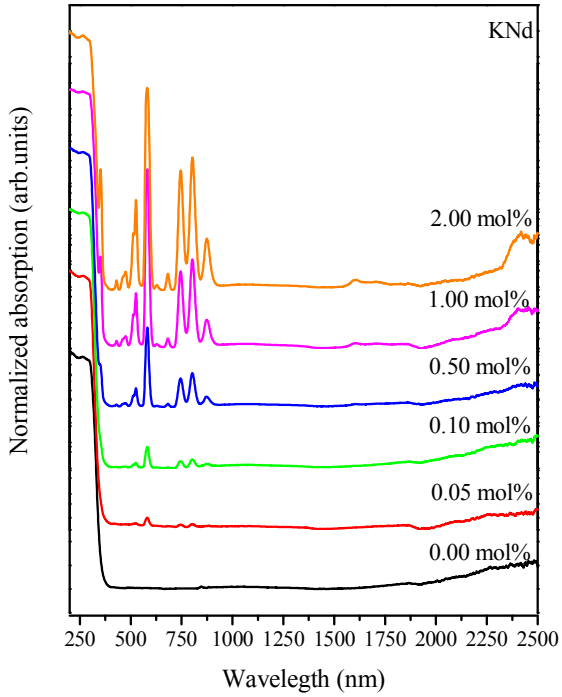
ภาพที่ 5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้ว LiNd ที่ความเข้มข้นของ Nd_2O_3 เท่ากับ 2.00 mol%



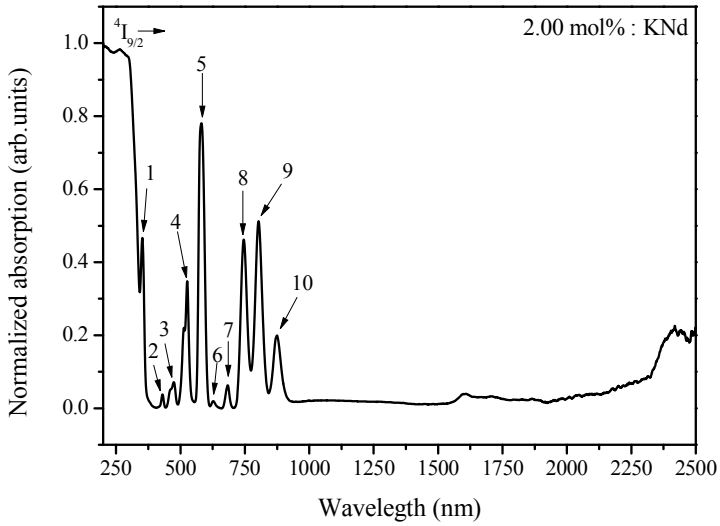
ภาพที่ 6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้ว NaNd ลักษณะกราฟซ้อนเป็นชั้นตามความเข้มข้นของ Nd_2O



ภาพที่ 7 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้ว NaNd ที่ความเข้มข้นของ Nd_2O_3 เท่ากับ 2.00 mol%



ภาพที่ 8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้ว KNd ลักษณะกราฟซ้อนเป็นชั้นตามความเข้มข้นของ Nd_2O_3



ภาพที่ 9 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้ว KNd ที่ความเข้มข้นของ Nd_2O_3 เท่ากับ 2.00 mol%

ตารางที่ 1 ระดับชั้นพลังงานการดูดกลืนแสงของ Nd^{3+}

ระดับชั้นพลังงาน $^4I_{9/2}\longrightarrow$	$^4D_{5/2}$	$^2P_{1/2}$	$^2G_{9/2}$	$^4G_{7/2}$	$^4G_{5/2}$	$^2H_{11/2}$	$^4F_{9/2}$	$^4F_{7/2}$	$^4F_{5/2}$	$^4F_{3/2}$
พีค	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
LiNd	353	431	474	526	581	627	683	746	803	874
NaNd	352	431	475	526	581	628	683	746	803	874
KNd	352	430	475	526	581	628	683	746	803	874

จากการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้ว LiNd, NaNd และ KNd พบว่าตัวอย่างแก้วสามารถดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเลต ช่วงที่ตามองเห็นและช่วงอินฟราเรดใกล้ (นวลทิพย์ วันทนะ, 2015) โดยแก้วสามารถดูดกลืนแสงได้ทั้งหมด 10 พีคซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานจากสถานะพื้น $^4I_{9/2}$ ไปยังสถานะกระตุ้นดังนี้ $^4D_{5/2}$, $^2P_{1/2}$, $^2G_{9/2}$, $^4G_{7/2}$, $^4G_{5/2}$, $^2H_{11/2}$, $^4F_{9/2}$, $^4F_{7/2}$, $^4F_{5/2}$ และ $^4F_{3/2}$ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-9 พบว่าที่ความเข้มข้นของ Nd_2O_3 เท่ากับ 0.00 mol% ตัวอย่างแก้วไม่มีการดูดกลืนแสงเนื่องจากลักษณะของสเปกตรัมที่ได้เป็นเส้นราบเรียบและเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Nd_2O_3 ตั้งแต่ 0.05 ถึง 2.00 mol% โดยความเข้มการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วทั้ง 3 แก้ว ที่มีค่ามากที่สุด 3 ค่า อยู่ในความยาวคลื่นที่ 353, 581 และ 803 นาโนเมตร สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดในช่วงอัลตราไวโอเลต ช่วงที่ตามองเห็นและช่วงอินฟราเรดใกล้ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นของ Nd_2O_3 เพิ่มขึ้น การดูดกลืนแสงของแก้วนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น

4. สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วอัลคาไลน์ อะลูมิเนียมฟอสเฟตในช่วงความยาวคลื่น 250–2500 นาโนเมตร พบสเปกตรัมการดูดกลืนของแก้ว LiNd, NaNd และ KNd ได้ทั้งหมดอย่างละ 10 พีค ดังแสดงตารางที่ 1 โดยความเข้มการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วทั้ง 3 แก้ว ที่มีค่ามากที่สุด 3 ค่า อยู่ในความยาวคลื่นที่ 353, 581และ 803 นาโนเมตร สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดในช่วงอัลตราไวโอเลต ช่วงที่ตามองเห็นและช่วงอินฟราเรดใกล้ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นของ Nd_2O_3 เพิ่มขึ้น ทำให้การดูดกลืนแสงของแก้วนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกลางเลเซอร์จากแก้ว

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับความร่วมมือและการสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

ประสิทธิ์ ปุระชาติ (2006). **การเป่าแก้วเบื้องต้น.** ค้นเมื่อ 28 มกราคม 2561 จาก http://library.tru.ac.th/images/academic /book/b45252/05g2-p.pdf

Unchalee ; siamchemi **อะลูมิเนียม.** ค้นเมื่อ 28 มกราคม 2561 จาก http://www.siamchemi.com/A1/

เทพีวรรณ จิตรวัชรโกมล (2005). **แก้วตะกั่วกับพลอย.** ค้นเมื่อ 28 มกราคม 2561 จาก http://glass.dss.go.th/publication /country/ArtC-7.pdf

สุทัศน์ ยกส้าน (2014). **นีโอดิเนียม.** ค้นเมื่อ 28 มกราคม 2561 จาก https://www.manager.co.th/Science/ViewNews. aspx?NewsID=9570000081154&Html=1&TabID=1&

นวลทิพย์ วันทนะ (2015). **การเตรียมและศึกษาสมบัติของแก้ว Li_2O-La_2O_3-B_2O_3 ที่เจือด้วย Dy^{3+}, Sm^{3+} และ Eu^{3+}.** วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.