การศึกษาผลของการเติมเซอร์คอนเนียมไดออกไซด์ต่อค่าดรรชนีหักเหในแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกต

นครินทร์ สิงคิบุรินทร์[1,2*], จินต์ ใจมีหวัง[1,2] และ ณัฐพล ศรีสิทธิโภคกุล[1,2]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์
*Nattapon2004@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและ สมบัติทางแสงของแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เจือด้วย ZrO_2 โดยเตรียมแก้วจากสูตร $(50\text{-}x)SiO_2 : 20B_2O_3 : 10Na_2O : 10CaO : 5BaO : 5Al_2O_3\ xZrO_2$ เมื่อ x เป็นความเข้มข้นของ ZrO_2 (0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 ร้อยละโดยโมล) ที่ถูกเตรียมขึ้นด้วยกระบวนการหลอมแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่น, ปริมาตรเชิงโมล และ ดรรชนีหักเห มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ ZrO_2 เพิ่มขึ้น สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วในช่วงความยาวคลื่น 300 ถึง 1100 นาโนเมตร ไม่พบพีคการดูดกลืนแสง และเมื่อเปรียบเทียบแก้วตัวอย่างที่เจือด้วย ZrO_2 กับ PbO ในอัตราส่วนเดียวกัน พบว่าค่าความหนาแน่น และ ดรรชนีหักเห ของแก้วที่เจือด้วย PbO มีค่าสูงกว่าแก้วที่เจือด้วย ZrO_2 ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วที่เจือด้วย PbO พบว่ามีแนวโน้มลดลง โดยส่วนทางกับค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วที่เจือด้วย ZrO_2 ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: แก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกต ความเข้มข้นของ ZrO_2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางแสง

Effect of zirconium dioxide on refractive index in soda lime borosilicate glass.

Nakarin Singkiburin[1,2*] , Jin Jaimiwhang[1,2] and Nattapon Srisittipokakun[1,2]

[1]Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University
[2]Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM),
Nakhon Pathom Rajabhat University
* Nattapon2004@gmail.com

Abstract

In this research, the physical and optical properties of soda lime borosilicate glass doped with ZrO_2 in the formula (50-x)SiO_2 : 20B_2O_3 : 10Na_2O : 10CaO : 5BaO : 5Al_2O_3 xZrO_2 (where x is the concentration of ZrO_2 = 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 and 10.0 mol%) were determined by annealing and rapid cooling processes. The study found that the values of density, molar volume and refractive index tended to increase with increasing ZrO_2 concentration. In the wavelength range from 300 to 1100 nm, the glass absorption spectrum contains no absorption peaks. Comparing glass samples containing the same concentrations of ZrO_2 and PbO dopants. PbO-doped glass exhibited higher density and refractive index than ZrO_2-doped glass, while its molar volume decreased. The molar volume of ZrO_2-doped glass tends to increase.

Keywords: soda lime borosilicate glass, concentration of ZrO_2, physical and optical properties

1. บทนำ

วัสดุแก้วในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานในหลายๆด้านแตกต่างกันไป เช่น บรรจุภัณฑ์ กระจก เครื่องแก้วสำหรับห้องปฏิบัติการ แก้วเพื่อการตกแต่ง (Lead crystal glass) เลนส์แก้ว (Glass lens) ไฟเบอร์กลาส (Glass fiber) หรือใยแก้วนำแสง (Optical fiber) หลอดไฟต่าง ๆ แก้วพรุน (Porous glass) และแก้วเชื่อมประสาน (Sealing glass) เป็นต้น แก้วที่ใช้งานเชิงแสง (Optical glass) คือ แก้วที่ใช้งานในอุปกรณ์หรือเครื่องมือขั้นสูงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องปฏิกิริยาระหว่างแสงกับแก้ว เช่น การดูดกลืนแสง การส่องผ่านแสง และการหักเหแสง เป็นต้น โดยแก้วจะต้องผ่านกระบวนการผลิตที่มีการควบคุมคุณภาพอย่างเคร่งครัดและผ่านการเทียบมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าดัชนีหักเหแสง (Refractive index) เป็นต้น แก้วที่มีค่าดรรชนีหักเหสูงมีความเป็นวัสดุที่นิยมมากในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ ถึงแม้จะมีบางโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถผลิตแก้วที่มีค่าดรรชนีหักเหสูงได้ส่วนใหญ่ยังคงใช้ตะกั่วเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มดรรชนีหักเหให้เกิดความแวววาว เวลาหลอมแก้วตะกั่วจะปนเปื้อนในบรรยากาศ ก่อให้เกิดอันตรายอย่างยิ่งต่อชีวิตและสภาพแวดล้อม

แก้วบอเรต (borate glass) ลักษณะที่น่าสนใจของแก้วบอเรต คือ โปร่งใสสูง มีจุดหลอมเหลวต่ำ เสถียรภาพความร้อนสูง นอกจากนี้กลุ่มธาตุหายากยังสามารถละลายได้ดีในการหลอมเป็นแก้ว และแสดงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างโครงสร้างแก้ว และคุณสมบัติทางกายภาพ ซิลิกา หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (silica) เป็นสารประกอบของซิลิกอน และออกซิเจน มีลักษณะเป็นผลึก ไม่มีสี หรือเป็นผลึกสีขาวไม่มีกลิ่น และรส พบมากในดินและหิน เป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับ 2

บนเปลือกโลกรองจากออกซิเจน และถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น เป็นสารดูดซับความชื้น เป็นสารเพิ่มความเงาเป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้าง และใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น แก้วที่มีปริมาณของ SiO_2 สูง จะทำให้แก้วนั้นมีโครงสร้างที่แข็งแรงทนต่อความร้อนและสารเคมี แต่ทำการผลิตได้ยากเนื่องจากต้องใช้การหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูง และขึ้นรูปได้ยาก เนื่องจากมีความหนืดสูง ทั้งนี้ในปัจจุบันได้มีการหาแหล่งซิลิกาจากวัสดุอื่นเพื่อมาแทนที่ทรายซึ่งมีปัญหาขาดแคลนมาเป็นระยะเวลานาน ซึ่งขี้เถ้าแกลบถูกค้นพบว่ามีปริมาณซิลิกาอยู่ในปริมาณค่อนข้างมากจึงเป็นที่สนใจในการนำขี้เถ้าแกลบมาประยุกต์ใช้แทนแหล่งซิลิกาในปัจจุบัน แบเรียมออกไซด์ (BaO) มีความน่าสนใจ มีลักษณะทางโครงสร้างทางแสง และทางคุณสมบัติทางทางไฟฟ้า อีกทั้งมีเสถียรภาพทางเคมีค่อนข้างสูงคือไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีชนิดอื่น ๆ มีจุดหลอมเหลวต่ำ มีสภาพต้านทานและสภาพนำไฟฟ้าที่เหมาะสม แก้วที่มี BaO จะช่วยในการขึ้นรูป ทำให้แก้วคงตัว (set) เร็วขึ้นเมื่อเย็นลง และเพิ่มความทนต่อสารเคมีปูนขาว (lime) มีชื่อเรียกทางเคมีว่า แคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide) และมีสูตรทางเคมี คือ CaO ลักษณะโดยทั่วไปเป็นผงสีขาว มีฤทธิ์เป็นด่าง กัดกร่อนได้ โดยปกติแล้ว แก้วที่มี CaO จะช่วยในการขึ้นรูป ทำให้แก้วคงตัวเร็วขึ้นเมื่อเย็นลง และเพิ่มความทนต่อสารเคมีเช่นเดียวกับ BaO [1-2] เซอร์คอนเนียมไดออกไซด์ (Zirconium dioxide) เป็นสสารที่หนาแน่น จากค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 5.6 ถึง 6.0 ต่างจากเพชรเพียง 1.6 คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือค่อนข้างแข็ง ความแข็งตามโมส์สเกลคือ 8 ซึ่งแข็งมากกว่าอัญมณีธรรมชาติอื่นๆ ค่าดัชนีหักเหมีค่าสูงอยู่ในช่วง 2.15–2.18 (เมื่อเปรียบเทียบกับเพชร ซึ่งมีค่าดัชนีหักเห 2.42) และวาวแบบเพชร

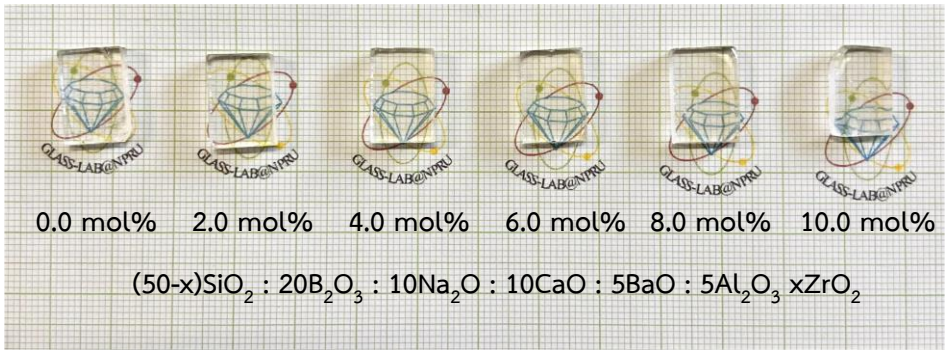
จากความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เจือด้วย ZrO_2 ที่มีความเข้มข้น เมื่อ x คือ 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 ร้อยละโดยโมล แล้วทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แก้วในด้านต่าง ๆ ต่อไป

2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำเพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสงของแก้วแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เจือด้วย ZrO_2 และเตรียมแก้วจากสูตร $(50\text{-}x)SiO_2 : 20B_2O_3 : 10Na_2O : 10CaO : 5BaO : 5Al_2O_3\ xZrO_2$ เมื่อ x เป็นความเข้มข้นของ ZrO_2 (0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 ร้อยละโดยโมล) โดยหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 ºC ใช้เวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำเบ้าหลอมออกจากเตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง เพื่อทำให้แก้วเหลวได้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว โดยเทน้ำแก้วลงบนแบบพิมพ์แกรไฟต์รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อขึ้นรูป นำแก้วที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 500 ºC นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นปิดเตาให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จึงนำแก้วออกจากเตา นำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปขัดให้มีขนาด 1.0 cm × 1.5 cm × 0.3 cm หลังจากนั้นจึงมาศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง

3. ผลการวิจัย

จากการทดลองหลอมแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เจือด้วย ZrO_2 ที่เตรียมจากสูตรสูตร $(50\text{-}x)SiO_2 : 20B_2O_3 : 10Na_2O : 10CaO : 5BaO : 5Al_2O_3\ xZrO_2$ โดยมีปริมาณความเข้มข้นของ ZrO_2 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ พบว่าแก้วที่ได้มีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบ ใสไม่มีสี ดังภาพที่ 1



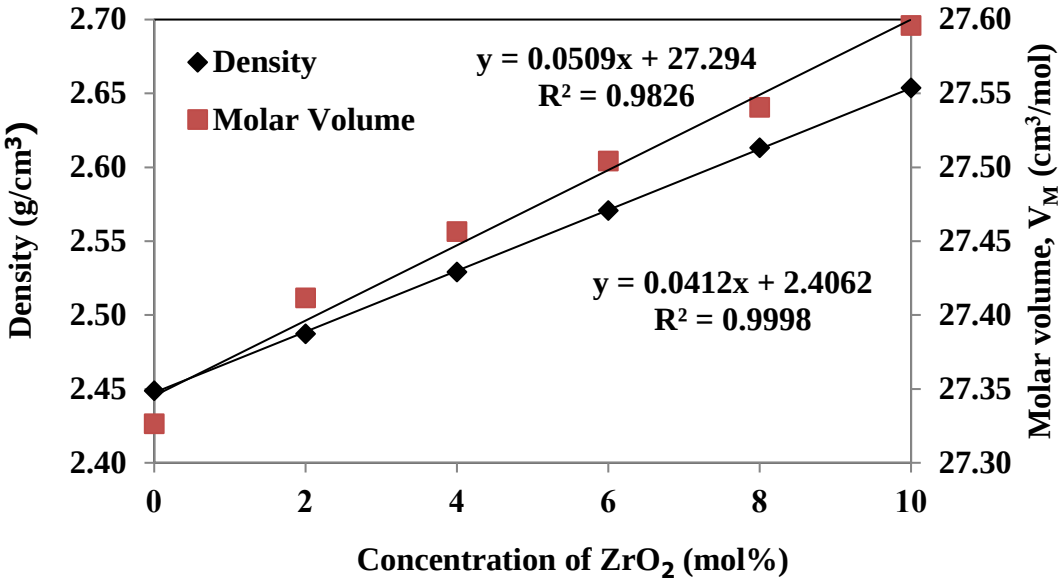
ภาพที่ 1 แก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เติม ZrO_2 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

จากการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เจือด้วย ZrO_2 ที่มีความเข้มข้น 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 และ 10.0 ร้อยละโดยโมล โดยใช้หลักการของอาร์คิมีดิส พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ ZrO_2 ที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 2.4489 ± 0.0001 ถึง 2.6537 ± 0.0002 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากออกไซด์ของ ZrO_2 ซึ่งมีมวลโมเลกุลมากกว่าเข้าไปแทนที่ออกไซด์ของ SiO_2 และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นกับความเข้มข้นของแก้วที่เติมออกไซด์ของ ZrO_2 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 กราฟที่ได้จะมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9998 จากการคำนวณค่าปริมาตรเชิงโมล ตามอัตราส่วนระหว่างมวลโมเลกุลต่อความหนาแน่นของแก้ว ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ ZrO_2 ที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 27.3265 ถึง 27.5960 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล นั่นสามารถสันนิฐานได้ว่า ZrO_2 ได้เข้าไปทำลายสะพานเชื่อมออกซิเจน (non-bridging oxygen) ในโครงสร้างแก้วมากขึ้น[3-4] ส่งผลให้ปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่างเพิ่มขึ้น และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรเชิงโมลกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม ZrO_2 ดังแสดงในภาพที่ 2

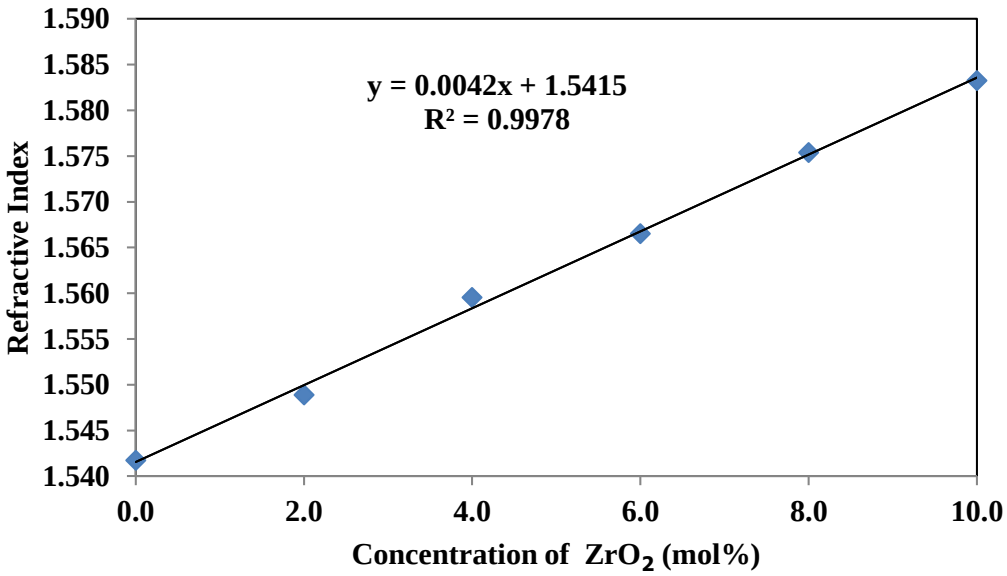
จากผลการวิเคราะห์ค่าดรรชนีหักเหของแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เจือด้วย ZrO_2 ที่มีความเข้มข้น 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 และ 10.0 ร้อยละโดยโมล โดยใช้เครื่อง Abbe refractometer พบว่าค่าดรรชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ ZrO_2 ที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5417 ± 0.0001 ถึง 1.5833 ± 0.0001 โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีไดอิเล็กตริกแบบดั้งเดิมที่ว่าค่า ดรรชนีหักเหจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และสภาพการเกิดขั้วได้ของอะตอมในวัสดุ และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม ZrO_2 ดังแสดงในภาพที่ 3 กราฟที่ได้จะมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9978

ตารางที่ 1 ค่าความหนาแน่น ค่าปริมาตรเชิงโมล และค่าดรรชนีหักเหของแก้วที่เติม ZrO_2 ในความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้นของ ZrO_2 (ร้อยละโดยโมล)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาตรเชิงโมล (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล)	ดรรชนีหักเห
0.0	2.4489 ± 0.0001	27.3265	1.5417 ± 0.0001
2.0	2.4873 ± 0.0003	27.4116	1.5489 ± 0.0001
4.0	2.5293 ± 0.0000	27.4566	1.5595 ± 0.0002
6.0	2.5708 ± 0.0002	27.5043	1.5665 ± 0.0001
8.0	2.6132 ± 0.0001	27.5406	1.5754 ± 0.0001
10.0	2.6537 ± 0.0002	27.5960	1.5833 ± 0.0001

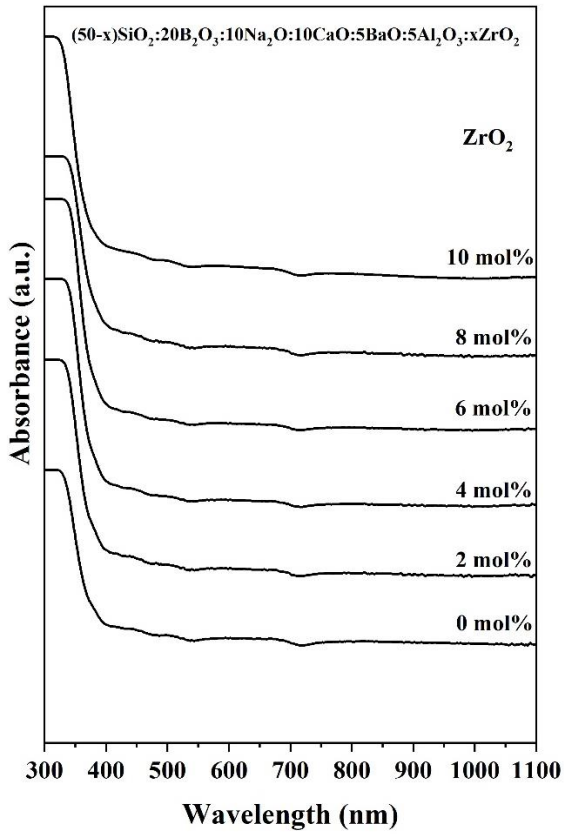


ภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลกับค่าความเข้มข้นของ ZrO_2



ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีหักเหกับค่าความเข้มข้นของ ZrO_2

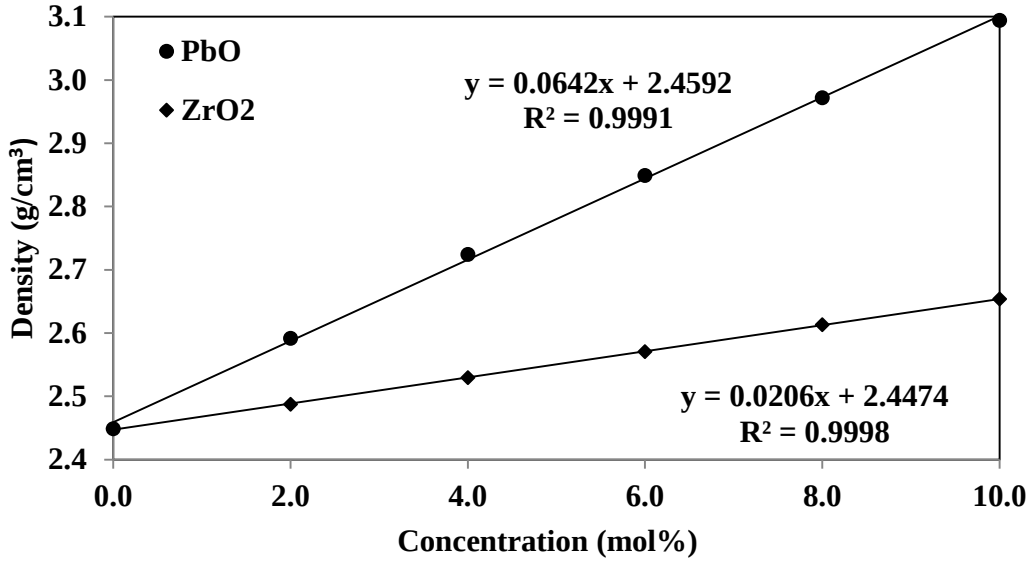
จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1,100 นาโนเมตร ของแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เจือด้วย ZrO_2 ที่มีความเข้มข้น 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 และ 10.0 ร้อยละโดยโมล แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสง พบว่าไม่พบค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300–1,100 นาโนเมตร ของแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เจือด้วย ZrO_2 แสดงได้ในภาพที่ 4 เนื่องจากแสงที่ตกกระทบแก้วตัวอย่างอาจจะเกิดการดูดกลืนแสง การสงผาน การกระจาย และการสะท้อนกลับ ดังนั้นเมื่อแสงที่ผ่านตัวกลาง เช่นแก้วตัวอย่างที่มีความใส ไม่มีสี จึงทำให้ไม่พบค่าการดูดกลืนแสง



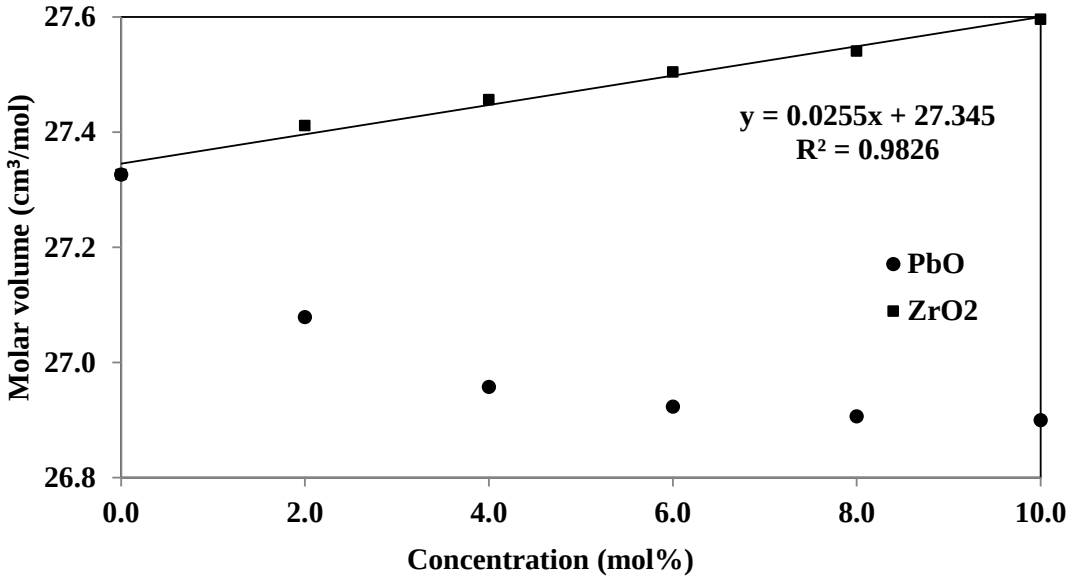
ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนกับความยาวคลื่นของแก้วที่เติม ZrO_2

จากการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เจือด้วย ZrO_2 ที่มีความเข้มข้น 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 และ 10.0 ร้อยละโดยโมล กับค่าความหนาแน่นของแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เจือด้วยPbO ที่มีความเข้มข้น 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 และ 10.0 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความหนาแน่นของแก้วที่เจือ ZrO_2 กับแก้วที่เจือ PbOมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ ZrO_2 แล PbO ที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5 จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นของแก้วที่เจือด้วย PbO มีค่าสูงกว่าแก้วที่เจือด้วย ZrO_2 เนื่องจากออกไซด์ของ PbO (223.2 g/mol) ซึ่งมีมวลโมเลกุลมากกว่า ZrO_2 (123.2 g/mol) จึงทำให้ค่าความหนาแน่นของแก้วที่เจือด้วย PbO มีค่าสูงกว่าแก้วที่เจือด้วย ZrO_2 และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟกราฟเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของแก้วที่เติม ZrO_2 กับแก้วที่เติม PbO สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5

จากการคำนวณค่าปริมาตรเชิงโมล ตามอัตราส่วนระหว่างมวลโมเลกุลต่อความหนาแน่นของแก้ว ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ ZrO_2 ที่เพิ่มมากขึ้น นั่นสามารถสันนิฐานได้ว่า ZrO_2 ได้เข้าไปทำลายสะพานเชื่อมออกซิเจน (non-bridging oxygen) ในโครงสร้างแก้วมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่างเพิ่มขึ้น ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลได้จากการคำนวณ ตามอัตราส่วนระหว่างมวลโมเลกุลต่อความหนาแน่นของแก้ว ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ PbO ที่ลดลง นั่นสามารถสันนิฐานได้ว่า PbO ได้เข้าไปเชื่อมพันธะระหว่างออกซิเจนกับโครงสร้างแก้ว (bridging oxygen) [5] ส่งผลให้ปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่างลดลงและเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟการเปรียบเทียบค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วที่เติม ZrO_2 กับแก้วที่เติม PbO ดังแสดงในภาพที่ 6

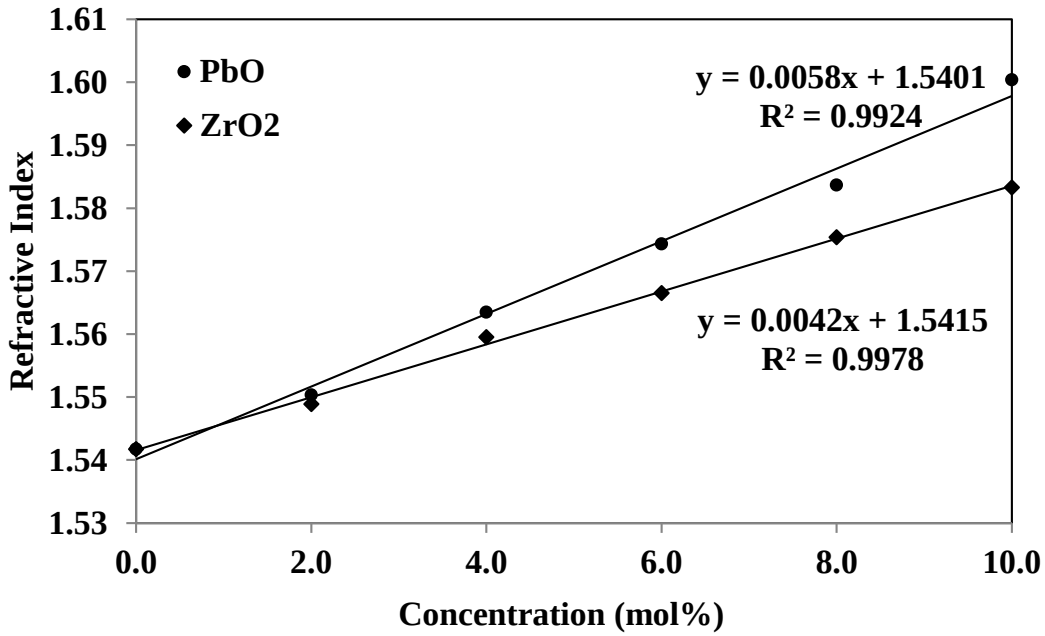


ภาพที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของแก้วที่เติม ZrO_2 กับแก้วที่เติม PbO



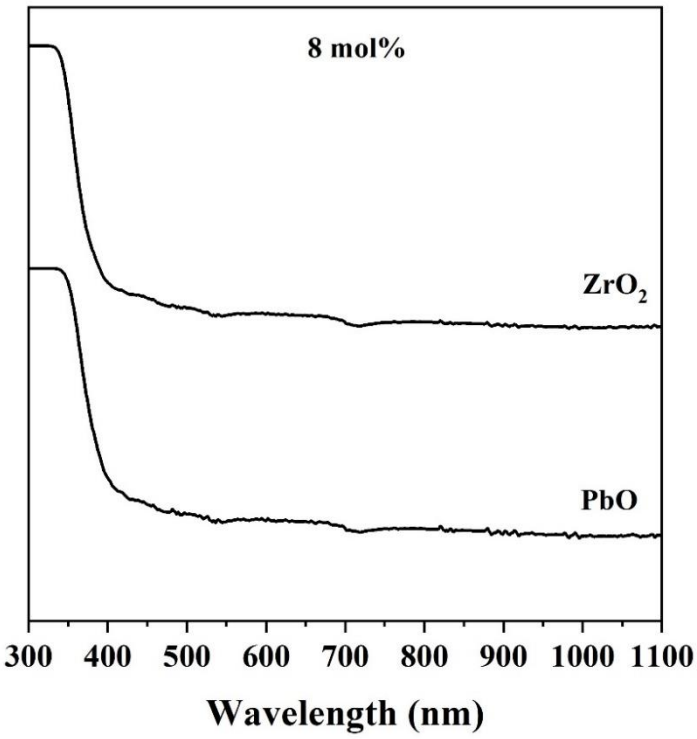
ภาพที่ 6 กราฟเปรียบเทียบค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วที่เติม ZrO_2 กับแก้วที่เติม PbO

จากผลการวิเคราะห์ค่าดรรชนีหักเหของแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เจือด้วย ZrO_2 กับค่าดรรชนีหักเหของแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เจือด้วย PbO ที่มีความเข้มข้น 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 และ 10.0 ร้อยละโดยโมล โดยใช้เครื่อง Abbe refractometer พบว่าค่าดรรชนีหักเหของแก้วที่เจือด้วย ZrO_2 และแก้วที่เจือด้วย PbO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีไดอิเล็กตริกแบบดั้งเดิมที่ว่าค่าดรรชนีหักเหจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และสภาพการเกิดขั้วได้ของอะตอมในวัสดุ และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟกราฟเปรียบเทียบค่าดรรชนีหักเหของแก้วที่เติม ZrO_2 กับแก้วที่เติม PbO พบว่าค่าดรรชนีหักเหของแก้วที่เจือด้วย PbO มีค่าสูงกว่าค่าดรรชนีหักเหของแก้วที่เจือ ZrO_2 ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กราฟเปรียบเทียบค่าดรรชนีหักเหของแก้วที่เติม ZrO_2 กับแก้วที่เติม PbO

จากการวิเคราะห์กราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของแก้วที่เติม ZrO_2 กับแก้วที่เติม PbO ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยโมล ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1,100 นาโนเมตร ของแก้ว พบว่าไม่พบค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300–1,100 นาโนเมตร ของแก้วที่เติม ZrO_2 กับแก้วที่เติม PbO แสดงได้ในภาพที่ 8 เนื่องจากแสงที่ตกกระทบแก้วตัวอย่างอาจจะเกิดการดูดกลืนแสง การสงผาน การกระจาย และการสะท้อนกลับ ดังนั้นเมื่อแสงที่ผ่านตัวกลางเช่นแก้วตัวอย่างที่มีความใส ไม่มีสี จึงทำให้ไม่พบค่าการดูดกลืนแสง



ภาพที่ 8 กราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของแก้วที่เติม ZrO_2 กับแก้วที่เติม PbO ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยโมล

4. สรุปผลการวิจัย

ในการทดลองนี้ทางผู้วิจัยดำเนินการศึกษาผลของแก้วโซดาลาห์มบอโรซิลิเกตที่เจือด้วย ZrO_2 ที่เตรียมจากสูตรสูตร $(50\text{-}x)SiO_2 : 20B_2O_3 : 10Na_2O : 10CaO : 5BaO : 5Al_2O_3 : xZrO_2$ โดยมีปริมาณความเข้มข้นของ ZrO_2 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางแสงของแก้วที่ได้พัฒนาขึ้น พบว่าแก้วที่ได้มีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบ ใสไม่มีสี จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล และดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ ZrO_2 ที่เพิ่มมากขึ้น จากการวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1,100 นาโนเมตร สเปกตรัมการดูดกลืนแสง พบว่าไม่พบค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300–1,100 นาโนเมตร จากการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่น และค่าดรรชนีหักเหของแก้วที่เจือด้วย ZrO_2 กับแก้วที่เจือด้วย PbO พบว่าค่าความหนาแน่น และค่าดรรชนีหักเหของแก้วที่เจือด้วย PbO มีค่าสูงกว่าแก้วที่เจือด้วย ZrO_2 จากการคำนวณค่าปริมาตรเชิงโมล ตามอัตราส่วนระหว่างมวลโมเลกุลต่อความหนาแน่นของแก้ว ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ ZrO_2 ที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลได้จากการคำนวณ ตามอัตราส่วนระหว่างมวลโมเลกุลต่อความหนาแน่นของแก้ว ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ PbO ที่ลดลง จากการวิเคราะห์กราฟการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของแก้วที่เติม ZrO_2 กับแก้วที่เติม PbO ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยโมล ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1,100 นาโนเมตร ของแก้ว พบว่าไม่พบค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300–1,100 นาโนเมต จากการทดลองและศึกษางานวิจัยนี้ต้องพัฒนาแก้วที่เพิ่มค่าดรรชนีหักเหต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงบรายได้จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ประจำปีงบประมาณ 2566 ภายใต้โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นเลิศทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2566

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Natthaphon Laorodphan,(2015) Glass Production Industry. Department of Industrial Chemistry and Textile Technology Faculty of Science Mae Jo University

[2] R. Hidayatc, N. Sangwaranateed, J. Kaewkhao, N. Srisittipokakun, **Optical and physical properties of MnO_2 doped soda-lime- barium silicate glasses with industrial scales**. (2018)

[3] N. Luewarasirikula, Y. Ruangthaweep, J. Kaewkhao, **Preparation and Spectroscopic Studies of Cr^{3+}-doped Aluminium Calcium Sodium Borate Glasses**. (2019)

[4] N. Singkiburin, N. Srisittipokakun, Y. Sangsawat, W. Boonpa, H. J. Kim, A. Prasatkhetragarn, J. Rajagukguk, W. Thowladda and J. Kaewkhao, **Effect of Soaking Time and Sb_2O_3 Concentration on Number of Bubble and Optical Properties of Borosilicate Glasses**. (2022)

[5] Ashraf A. Abul-Magd, H.Y. Morshidy , A.M. Abdel-Ghany, **The role of NiO on the structural and optical properties of sodium zinc** (2020)