

การศึกษาผลของ BaSO₄ ที่มีต่อระบบแก้วโซเดียมซิลิโกบอเรต Study Effects of BaSO₄ on Properties of Sodium Silicoborate Glasses

ณัฐกฤตา จันทิมา^{1,2}, สุนิสา สารไชย^{1,2}, ณรงค์ สัจจวาระนที³,
นิตากร สัจจวาระนที⁴ และจักรพงษ์ แก้วขาว^{1,2}

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
³สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
⁴สาขาวิชาคณิตศาสตร์สารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
bybon_only@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางแสงของแก้วโซเดียมซิลิโกบอเรตที่มีปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมซัลเฟต (BaSO₄) แตกต่างกัน คือ 0, 5, 10, 15 และ 20 ร้อยละโดยโมล ตัวอย่างแก้วถูกเตรียมด้วยวิธีการหลอมและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส ผลการทดลองที่ได้พบว่า ตัวอย่างแก้วที่ได้จะมีความใสสม่ำเสมอและเป็นเนื้อเดียวกัน ความหนาแน่นและดรรชนีหักเหของตัวอย่างแก้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ BaSO₄ ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาตรเชิงโมลของตัวอย่างแก้วมีแนวโน้มลดลง เมื่อความเข้มข้นของ BaSO₄ เพิ่มขึ้น ความแข็งของตัวอย่างแก้วจะมีความลดลงเมื่อความเข้มข้นของแบเรียมซัลเฟตเท่ากับ 10 ร้อยละโดยโมล จากนั้นจะมีความเพิ่มขึ้น โดยพบว่าตัวอย่างแก้วที่มีความเข้มข้นของแบเรียมซัลเฟตที่ 20 ร้อยละโดยโมล มีความแข็งสูงสุดเท่ากับ 347.0 HV สำหรับการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วในช่วงความยาวคลื่น 200 - 2500 นาโนเมตร ไม่พบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วส่งผลให้ตัวอย่างแก้วที่ได้มีความใสและไม่มีสี

คำสำคัญ: แก้วซิลิโกบอเรต, แบเรียมซัลเฟต, สมบัติทางกายภาพ, สมบัติทางแสง

Abstract

In this research, physical and optical properties of sodium silicoborate glasses with different concentration of BaSO₄ (0, 5, 10, 15, 20 mol%) were investigated. These glass samples were prepared by the melt-quenching technique at 1400 °C. The results show that the glass samples are clear and homogenous. The density and refractive index of glasses increased with increasing the concentration of BaSO₄. While, the molar volume of glass samples were decreased with increasing the concentration of BaSO₄. The values of hardness were decreased to 10 mol% after that it was turns to increased. It was observed that, the highest value of hardness is 347.0 HV at 20 mol% BaSO₄. The absorption spectra of glass samples in the wavelength range at 200 - 2500 nm was observed. In these wavelengths the spectrum of absorbance of glass sample was not found. This result indicates that the glass samples were clear and colorless.

Keywords: silicoborate glass, barium sulfate, physical properties, optical properties

1. บทนำ

ในปัจจุบันแก้วบอโรซิลิเกตเป็นที่รู้จักและนิยมใช้เป็นแก้วพื้นฐานทั้งในงานอุตสาหกรรม เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ (สาริต หอมทวล, 2549) รวมถึงใช้ในอุปกรณ์เครื่องครัวด้วย เนื่องจากคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิมือคือ มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายอุณหภูมิต่ำ (lower coefficients of thermal expansion) มีความทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิแบบฉับพลัน (Thermal shock) และยังสามารถทนต่อการกัดกร่อนทางเคมีได้ดีอีกด้วย (chemical corrosion) โดยจากการศึกษาพบว่า แก้วบอโรซิลิเกตเป็นแก้วที่ให้ค่าการชนหักเหสูงและสามารถดัดโค้งแสงได้ดีซึ่งเหมาะในการนำไปใช้งานในด้านเซรามิก รวมถึงการทำวัสดุกำบังรังสี (Srisitipokakn et al., 2555: 699)

จากวัสดุต่าง ๆ ในการทำโครงสร้างของแก้วที่ได้ศึกษาพบว่าแร่แบไรท์ (BaSO_4) นิยมใช้กันเป็นอย่างมากในงานอุตสาหกรรมโพลีเมอร์ ผสมในสี การแพทย์ เลนส์ อุปกรณ์ทางแสง (Chen et al., 2008: 974) และนิวเคลียร์ (Mishra, et al., 2008: 3904) เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศไทย เช่น เชียงใหม่ แพร่ ตาก กาญจนบุรี และนครศรีธรรมราช เพราะแร่ชนิดนี้มีสมบัติพิเศษคือ ถ่ายเทความร้อนได้ดี และเป็นสารที่รังสีสามารถดูดกลืนรังสีหรือแสงความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้ จึงนิยมนำมาใช้แทนวัสดุคอนกรีต เพื่อให้แก้วเป็นวัสดุที่สามารถกำบังรังสีได้และมีความโปร่งใส (Ruengsri et al., 2015: 104) รวมถึงความสามารถในการนำมาเป็นส่วนผสมในสารประกอบต่าง ๆ ได้ง่าย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของแก้วแบเรียมโซเดียมซิลิโคโบเรต ที่มีปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) แตกต่างกัน โดยทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางแสงคือ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ความแข็ง และการดูดกลืนแสง เพื่อการศึกษาตัวอย่างแก้วที่ได้ในสมบัติทางด้านรังสี เป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาตัวอย่างแก้ว และสามารถนำคุณสมบัติที่ได้ไปประยุกต์ใช้ ให้เหมาะสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์แก้วที่มีประโยชน์อื่นในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ต่อไป

2. วิธีการทดลอง

แก้วโซเดียมซิลิโคโบเรต ถูกเตรียมขึ้นโดยมีองค์ประกอบทางเคมีคือ $x\text{BaSO}_4 : 15\text{Na}_2\text{O} : 15\text{SiO}_2 : (70-x)\text{B}_2\text{O}_3$ เมื่อ $x = 0, 5, 10, 15$ และ $20 \text{ mol}\%$ แก้วนี้ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีการหลอมและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Melt quenching technique) สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ แบเรียมซัลเฟต (BaSO_4), โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3), ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และ กรดบอริก (H_3BO_3) ผสมสารเคมีในอัตราส่วนที่กำหนดไว้ให้ น้ำหนักรวม 10 กรัม ลงในเบ้าหลอมอะลูมินา ทำการหลอมโดยใช้เตาหลอมไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ $500 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อลดความเค้นของแก้วและปล่อยให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วตามอุณหภูมิห้อง นำแก้วที่ได้ไปตัด และขัดอย่างประณีต ให้ได้ขนาด $1.0 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm} \times 0.3 \text{ cm}$ เพื่อให้เหมาะกับการนำไปศึกษาคุณสมบัติด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ต่อไป แก้วที่ผ่านการตัด และขัดแล้ว จะถูกนำไปวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น (ρ) โดยอาศัย หลักการของอาร์คิมิดีส (Archimedes principle) ซึ่งมีการวัดน้ำหนักของแก้วในอากาศและในน้ำ ด้วยเครื่อง Density measurement apparatus บริษัท AND รุ่น model HR-200 โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการ (1)

$$\rho = \frac{w_a}{w_a - w_w} \times \rho_w \quad (1)$$

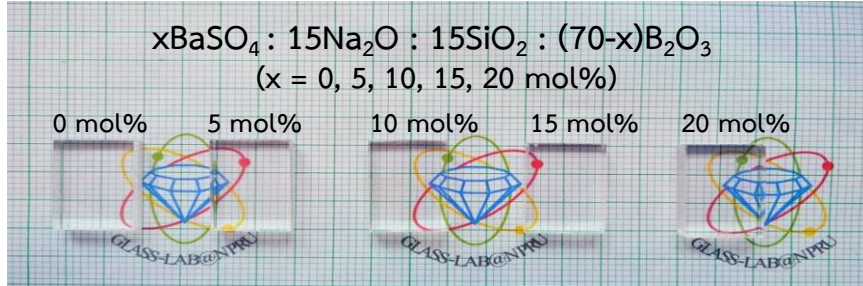
เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของแก้ว (g/cm^3), w_a คือ น้ำหนักที่ชั่งในอากาศ (g), w_w คือ น้ำหนักที่ชั่งในน้ำ (g) และ ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (1.0000 g/cm^3) จากนั้นค่าความหนาแน่น (ρ) ที่ได้จากการวัด จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาตรเชิงโมล (V_M) ของแก้ว ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ (2)

$$V_M = \frac{M_T}{\rho} \quad (2)$$

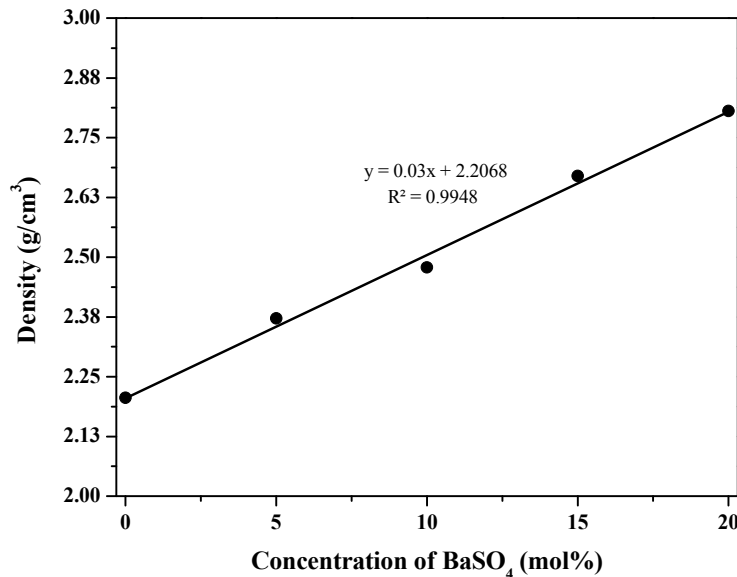
เมื่อ M_T คือ น้ำหนักโมเลกุลโดยรวมขององค์ประกอบทางเคมีในแก้วตัวอย่าง ค่าความแข็งของแก้ว (Hardness) สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวิกเกอร์ ไมโครฮาร์ดเนส (Enkay enterprise) และในการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของแก้ว จะสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง UV-Vis-NIR สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu, UV-3600)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

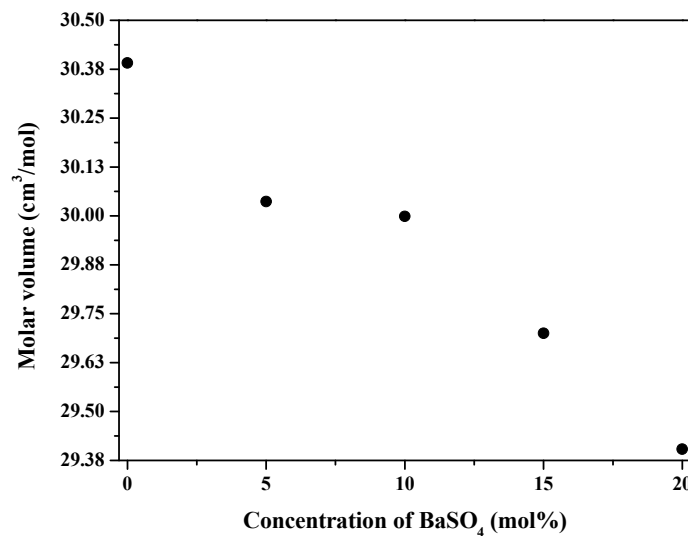
จากการเตรียมแก้วจากสูตร $x\text{BaSO}_4 : 15\text{Na}_2\text{O} : 15\text{SiO}_2 : (70-x)\text{B}_2\text{O}_3$ เมื่อ x เท่ากับ 0, 5, 10, 15 และ 20 mol% จะได้แก้วที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน โปร่งใส ไม่มีสี เมื่อนำไปตัดและขัดอย่างประณีตให้ได้ขนาด $1.0\text{ cm} \times 1.5\text{ cm} \times 0.3\text{ cm}$ จะมีลักษณะดังแสดงในรูปภาพที่ 1



รูปภาพที่ 1 ลักษณะของตัวอย่างแก้วที่เติม BaSO_4 ในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

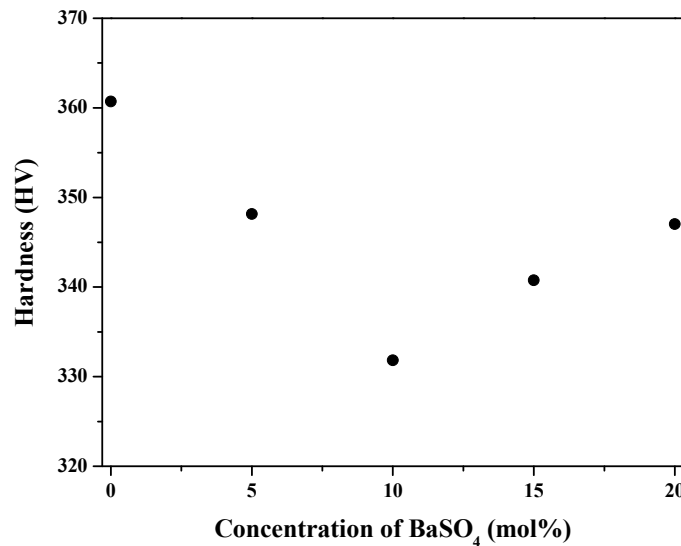


รูปภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วกับความเข้มข้นของ BaSO_4



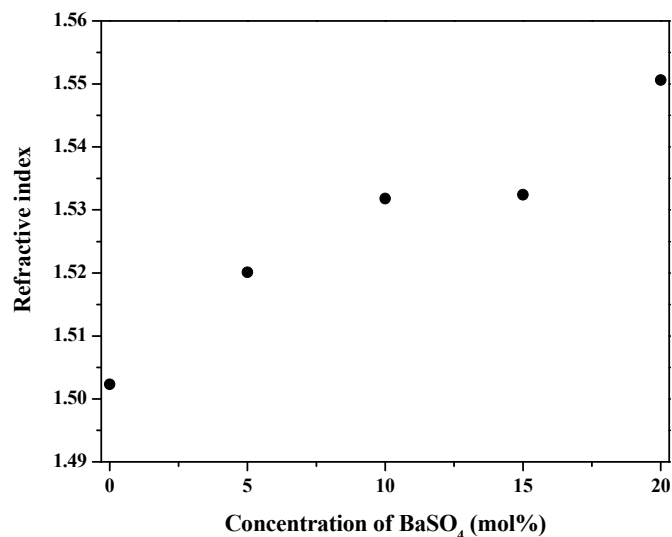
รูปภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเชิงโมลของตัวอย่างแก้วกับความเข้มข้นของ BaSO_4

ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมซิลเฟตที่เพิ่มมากขึ้น โดยค่าที่ได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 2.206 ถึง 2.849 g/cm^3 เนื่องจากการเจือแบเรียมซิลเฟตเข้าไปทำให้เกิดการแทนที่ของสารในโครงข่ายแก้ว โดยแบเรียมซิลเฟตมีน้ำหนักมวลโมเลกุลเฉลี่ยที่สูงกว่าโบรอนออกไซด์ (B_2O_3) ในขณะที่ค่าปริมาตรเชิงโมลของตัวอย่างแก้วที่คำนวณได้กลับมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของ แบเรียมซิลเฟตที่เพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าแบเรียมซิลเฟตทำหน้าที่เข้าไปเป็นตัวเชื่อมพันธะระหว่างออกซิเจนภายในโครงสร้างแก้ว ค่าทั้งหมดที่ได้สามารถแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลของตัวอย่างแก้วกับปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมซิลเฟตที่ความเข้มข้น 0–20 mol% ดังรูปภาพที่ 2 และ 3

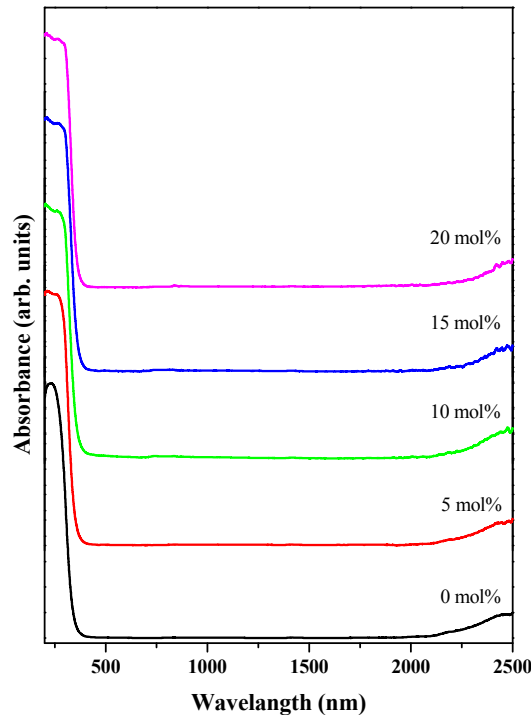


รูปภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของตัวอย่างแก้วกับปริมาณความเข้มข้นของ BaSO₄

จากรูปภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของตัวอย่างแก้วกับปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมซิลเฟตพบว่า ความแข็งของแก้วมีแนวโน้มแบ่งเป็น 2 ช่วง ในช่วงแรกความแข็งของแก้วมีค่าลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมซิลเฟตที่เพิ่มมากขึ้น คือ จาก 0 ร้อยละโดยโมล (มีค่าเท่ากับ 360.73 HV คือค่ามากที่สุด) จนถึง 10 ร้อยละโดยโมล (มีค่าเท่ากับ 331.84 HV คือค่าน้อยที่สุด) และช่วงหลังความแข็งของแก้วมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของแบเรียมซิลเฟตคือที่ 15 และ 20 ร้อยละโดยโมล ซึ่งความสัมพันธ์นี้ไม่ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมซิลเฟต



รูปภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีหักเหของตัวอย่างแก้วกับปริมาณความเข้มข้นของ BaSO₄



รูปภาพที่ 6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วที่เติม BaSO₄ ในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

จากรูปภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรชนีหักเหของตัวอย่างแก้วกับปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมซัลเฟตที่เติมในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน พบว่าดรชนีหักเหของแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมซัลเฟตที่เติมในแก้ว ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 1.5023 ถึง 1.5506 สำหรับการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วที่เติมแบเรียมซัลเฟตในปริมาณความเข้มข้นเท่ากับ 0, 5, 10, 15 และ 20 mol% ตามลำดับ ในช่วงความยาวคลื่น 200–2500 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปภาพที่ 6 ผลที่ได้พบว่าไม่พบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้ว ส่งผลให้ตัวอย่างแก้วที่ได้มีความใสและไม่มีสี

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางแสงของแก้วโซเดียมซิลิโกโบเรตที่มีปริมาณความเข้มข้นของ BaSO₄ ต่างกัน พบว่าตัวอย่างแก้วที่ได้จะมีลักษณะใสเป็นเนื้อเดียวกัน ความหนาแน่นและดรชนีหักเหของตัวอย่างแก้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของแบเรียมซัลเฟตที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแบเรียมซัลเฟตเข้าไปทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมพันธะในโครงสร้างแก้ว แบเรียมซัลเฟตมีน้ำหนักมวลโมเลกุลเฉลี่ยที่สูงกว่า B₂O₃ ซึ่งค่าความหนาแน่นที่ได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 2.206 ถึง 2.849 g/cm³ ปริมาตรเชิงโมลของตัวอย่างแก้วมีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของแบเรียมซัลเฟตที่เพิ่มมากขึ้น การทดสอบความแข็งพบว่า มีแนวโน้มแบ่งเป็น 2 ช่วง ในช่วงแรกความแข็งของแก้วมีค่าลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมซัลเฟตที่เพิ่มมากขึ้น คือที่ 0-10 ร้อยละโดยโมล ช่วงหลังความแข็งของแก้วมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของแบเรียมซัลเฟตคือที่ 15 และ 20 ร้อยละโดยโมล ซึ่งความแข็งที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 360.73 HV และน้อยที่สุดเท่ากับ 331.84 HV ที่ 0 และ 10 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ และการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วในช่วงความยาวคลื่น 200–2500 นาโนเมตร ไม่พบสเปกตรัมการดูดกลืนแสง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับความร่วมมือและการสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

6. 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**, 2555 (32), 699-705.
- Q. Chen, H. Bao, and X. Shen. (2008). Radiolytic synthesis of BaSO₄ microspheres. **Rad. Phys. Chem**, 2008 (77), 974-977.
- R. K. Mishra, et al. (2008). Role of Sulfate in Structural Modifications of Sodium Barium Borosilicate Glasses Developed for Nuclear Waste Immobilization. **J. Am. Ceram. Soc**, 2008 (12), 3903-3907.
- Ruengsri, S., Insiripong, S., Sangwaranatee, N., & Kaewkhao, J. (2015). Development of barium borosilicate glasses for radiation shielding materials using rice husk ash as a silica source. **Progress in Nuclear Energy**, 2015 (83), 99-104.