การศึกษาสมบัติทางแสงของแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติม Fe_2O_3
Study on Optical Properties of Soda Lime Silicate Glasses Doped with Fe_2O_3

ณัฐพล ศรีสิทธิโภคกุล[1,2*] ทัตพงศ์ ศรีทอง[1] ธนพร วัชนาวงษ์[1]
มานิตา รัศมี[1] และ จักรพงษ์ แก้วขาว[1,2]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
**Nattapon2004@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนการเตรียมแก้วและผลของการเติมเหล็กออกไซด์ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เตรียมได้จากสูตร คือ (65-x)SiO_2: 10CaO: 25Na_2O: xFe_2O_3 เมื่อ x คือ ปริมาณของ Fe_2O_3 ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยโมล แก้วตัวอย่างถูกเตรียมขึ้นด้วยเทคนิคการหลอมแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 1,200 °C ผลจากการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของแก้วตัวอย่าง พบว่าแก้วตัวอย่างมีค่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Fe_2O_3 ที่เพิ่มขึ้นในโครงสร้างแก้ว ค่าดรรชนีหักเหของตัวอย่างแก้วมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Fe_2O_3 ซึ่งเป็นไปตามหลักทฤษฎีไดอิเล็กตริกแบบดั้งเดิม ซึ่งค่าดรรชนีหักเหจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และสภาพการเกิดขั้วได้ของอะตอมในวัสดุ

คำสำคัญ: Fe_2O_3, แก้วโซดาลาร์มซิลิเกต, สมบัติทางแสง, ดรรชนีหักเห, ทฤษฎีไดอิเล็กตริกแบบดั้งเดิม

Abstract

The aim of this work is to study the preparation process of glass and to investigate the effect of neodymium oxide on some properties of lutetium borosilicate glasses with the chemical composition of (65-x)SiO_2: 10CaO: 25Na_2O: xFe_2O_3, where x is the concentration of Fe_2O_3 ranging from 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 and 1.0 mol%. The glasses were fabricated by normal melt quenching technique at 1,200 °C and were then investigated their properties. The results showed that the density and molar volume were increased with increasing of Fe_2O_3 concentration. The refractive index of glass samples increases with increasing concentration of Fe_2O_3. This result shows similar trend with the density result. According to the classical dielectric theory, the refractive index depends on density and on polarizability of the atom in a given materials

Keywords: Fe_2O_3, Soda Lime silicate glasses, optical properties, refractive index, classical dielectric theory

1. บทนำ

ปัจจุบันแก้วที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมคือแก้วโซดาไลม์ซิลิเกต (Soda lime silicate glass) ซึ่งมีสมบัติในการฟอร์มตัวเป็นแก้วได้ง่าย ทนต่ออุณหภูมิสูง ใช้อุณหภูมิต่ำในการผลิตแก้ว และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างทันทีทันใดได้ระดับหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีความต้านทานต่อสารเคมีได้พอสมควร โดยปกติแก้วโซดาไลม์จะไม่มีสี แต่สามารถจะทำให้มีสีต่างๆได้โดยการเติมสารออกไซด์ที่มีสีลงไป เช่นสารประกอบของธาตุทรานซิชันบางชนิด

การเตรียมแก้วโซดาไลม์ในปัจจุบันนี้ไม่ยากและใช้เทคโนโลยีไม่ซับซ้อน อีกทั้งแก้วโซดาไลม์เป็นแก้วที่มีราคาถูก จึงเหมาะสมต่อการนำมาศึกษาถึงการเกิดสีในแก้ว โดยการพัฒนาแก้วสีมีความสำคัญมากในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการทำอัญมณีเทียมซึ่งมีมูลค่าการส่งออกหลายพันล้านบาทต่อปี (Ruangthaweep, Y., 2010 : 93-94), (Chimalawong, P., 2010 : 71), (Srisittipokakun, N., 2011 : 8), (Kaewkhao, J., 2012 :103) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาสมบัติทางแสง และทางกายภาพของแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติม Fe_2O_3

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมแก้วตัวอย่าง

แก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติม Fe_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันในงานวิจัยนี้ถูกเตรียมขึ้นมาโดยใช้ระบบองค์ประกอบทางเคมี (65-x)SiO_2: 10CaO: 25Na_2O: xFe_2O_3 เมื่อ x คือ ปริมาณความเข้มข้นของ Fe_2O_3 ในเนื้อแก้ว 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยโมล โดยใช้เทคนิคการหลอมและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยอุณหภูมิที่ 1,200°C เป็นเวลา 3 ชม. หลังจากนั้น สารเคมีที่หลอมเหลวดังกล่าวจะถูกนำออกมาเทลงในแม่พิมพ์เหล็กสเตนเลสที่อุณหภูมิห้องเพื่อจัดรูปเป็นชิ้นงาน ชิ้นงานที่กำลังเย็นตัวถูกนำไปอบความร้อนที่อุณหภูมิ 550 °C นาน 3 ชม. เพื่อลดความเครียดที่เกิดขึ้นจากการเย็นตัวในเนื้อแก้ว นำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปขัดให้มีขนาด 1.0 × 1.5 × 0.3 cm^3 เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ของแก้วต่อไป

2.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

2.2.1 ความหนาแน่น (ρ)

ในการศึกษาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้ว ผู้วิจัยได้นำตัวอย่างแก้วมาวัดความหนาแน่นด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น HR-200 ของบริษัท AND โดยอาศัยหลักของอาร์คิมีดิส ดังนั้นจะสามารถคำนวณค่าความหนาแน่นได้ดังสมการที่ (1)

$$\rho = \frac{w_{air}}{w_{air} - w_{water}} \times \rho_{water} \qquad (g/cm^3) \tag{1}$$

เมื่อ w_{air} และ w_{water} คือ น้ำหนักของตัวอย่างเมื่อชั่งในอากาศและในน้ำ ตามลำดับ โดยความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1.0000 g/cm^3

2.2.2. ปริมาตรเชิงโมล

จากค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้ สามารถนำไปหาค่าปริมาตรเชิงโมล (V_m) โดยใช้สมการที่ (2)

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

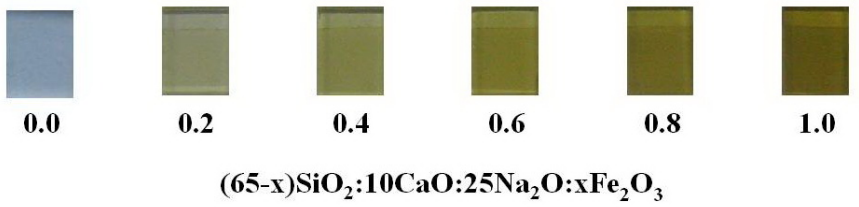
เมื่อ M_T คือ น้ำหนักโมเลกุลรวมของตัวอย่างแก้ว ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$M_T = x_{B_2O_3}Z_{B_2O_3} + x_{Lu_2O_3}Z_{Lu_2O_3} + x_{SiO_2}Z_{SiO_2} + x_{CaO}Z_{CaO} + x_{Nd_2O_3}Z_{Nd_2O_3} \tag{3}$$

เมื่อ x และ Z คือ สัดส่วนโดยโมลและน้ำหนักโมเลกุลของออกไซด์ที่เป็นส่วนผสมของตัวอย่างแก้ว ตามลำดับ

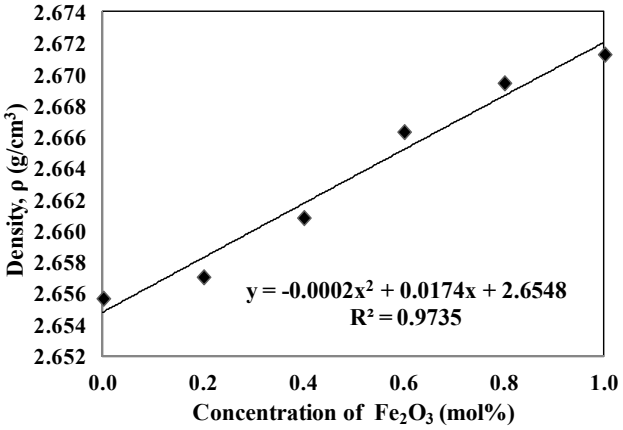
3. ผลการวิจัย

ตัวอย่างแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติม Fe_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่เตรียมได้ พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่ได้เติม Fe_2O_3 แก้วจะมีลักษณะใสไม่มีสี เมื่อเติม Fe_2O_3 จะได้แก้วสีเหลือง และมีสีเหลือง เข้มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Fe_2O_3 ให้มากขึ้น ดังแสดงในรูปภาพที่ 1

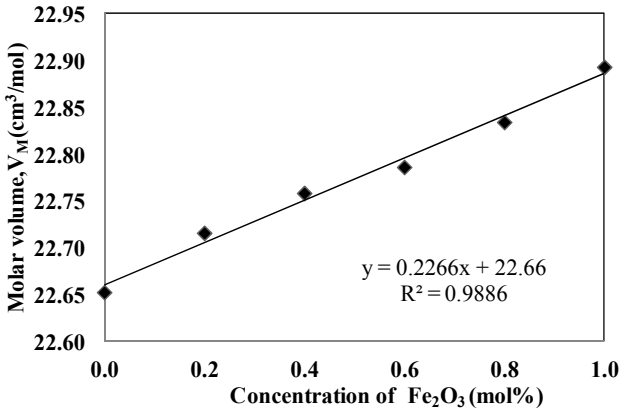


รูปภาพที่ 1 แก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติม Fe_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นพบว่าค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Fe_2O_3 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.6557 ถึง 2.6713 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังแสดงในรูปภาพที่ 2 ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของ Fe_2O_3 เมื่อทำการลดปริมาณของ SiO_2 เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของ Fe_2O_3 มีค่ามากกว่า SiO_2 จากนั้นนำค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างมาคำนวณหาค่าปริมาตรเชิงโมล พบว่าค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Fe_2O_3 ดังแสดงในรูปภาพที่ 3 ทั้งนี้เนื่องจากอะตอมของ Fe_2O_3 เข้าไปแทรกระหว่างพันธะในโครงสร้างแก้วจึงทำให้ช่องว่างภายในโครงสร้างแก้วเพิ่มขึ้น

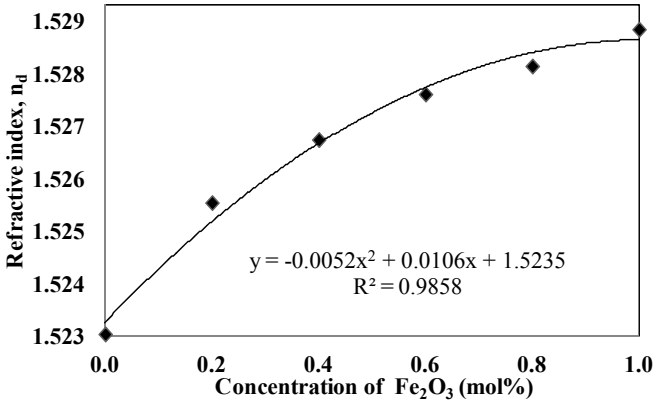


รูปภาพที่ 2 ความหนาแน่นของแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติม Fe_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

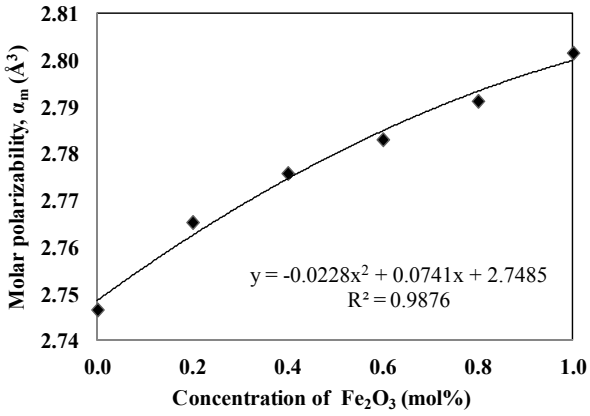


รูปภาพที่ 3 ปริมาตรเชิงโมลของแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติม Fe_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์หาค่าดรรชนีหักเหพบว่าค่าดรรชนีหักเหของตัวอย่างแก้วมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Fe_2O_3 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5232 ถึง 1.5290 ดังแสดงในรูปภาพที่ 3 ซึ่งเป็นไปตามหลักทฤษฎีไดอิเล็กตริกแบบดั้งเดิม ซึ่งค่าดรรชนีหักเหจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และสภาพการเกิดขั้วได้ของอะตอมในวัสดุ (Kaewkhao J., 2011 :18) ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการเกิดขั้วเชิงโมลกับความเข้มข้น จะพบว่าสภาพการเกิดขั้วเชิงโมลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Fe_2O_3 ซึ่งสอดคล้องกัน ดังแสดงในรูปภาพที่ 4



รูปภาพที่ 3 ค่าดรรชนีหักเหของตัวอย่างแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติม Fe_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



รูปภาพที่ 4 สภาพการเกิดขั้วเชิงโมลของตัวอย่างแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติม Fe_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

4. สรุปผลการวิจัย

แก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติม Fe_2O_3 จะมีลักษณะใสไม่มีสี เมื่อเติม Fe_2O_3 จะได้แก้วสีเหลือง และมีสีเหลืองเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Fe_2O_3 ให้มากขึ้น ค่าความหนาแน่นพบว่าค่าความหนาแน่นและค่าค่าดรรชนีหักเหของตัวอย่างแก้วมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Fe_2O_3 ซึ่งเป็นไปตามหลักทฤษฎีไดอิเล็กตริกแบบดั้งเดิม ซึ่งค่าดรรชนีหักเหจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และสภาพการเกิดขั้วได้ของอะตอมในวัสดุ ค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Fe_2O_3 ทั้งนี้เนื่องจากอะตอมของ Fe_2O_3 เข้าไปแทรกระหว่างพันธะในโครงสร้างแก้วจึงทำให้ช่องว่างภายในโครงสร้างแก้วเพิ่มขึ้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

Ruangthaweep, Y., Kittiauchawal, T., Kaewkhao, J., Thamaphat, K. and Limsuwan, P., (2010). The Spectroscopic Analysis of Iron-Doped Soda-Lime-Silica Glass by Spectrophotometer and ESR Spectrometer. **Advanced Materials Research**, Vol. 93-94, pp.312-315.

Chimalawong, P., Kaewkhao, J., Kedkaew, C. and Limsuwan P., (2010). Optical and Electronic Polarizability Investigation of Nd^{3+} Doped Soda-Lime-Silicate Glasses. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, Vol. 71 (7), pp.965-970.

Srisittipokakun, N., Kirdsiri, K, Kaewkhao, J., Kedkaew, C. and Limsuwan, P., (2011). Absorption and Coloration of MnO_2 Doped in Soda-lime-silicate and Soda-lime-borate Glasses. **Procedia Engineering**, Vol. 8, pp. 261-265.

Kaewkhao, J., Srisittipokakun, N., Kirdsiri, K, Kedkaew, C. and Limsuwan, P., (2012). Optical and Physical Investigation of Fe_2O_3 Doped in Soda-Lime Silicate Glass at Different Melting Temperature. **Applied Mechanics and Materials**, Vol. 103, pp. 97-101.

Ruangtaweep, Y., Kaewkhao J., Kirdsiri K., Kedkaew C. and Limsuwan P. (2011). Properties of CoO doped in Glasses Prepared from Rice Hush Fly Ash in Thailand. **Materials Science and Engineering**, (18), 112008.