การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางแสงในแก้วบอเรตที่เติม CuO
Study of Physical and Optical Properties in Borate Glass Doped with Copper Oxide

ยศกิต เรืองทวีป[1,2*] อรอนงค์ แช่มเล็ก[3] พรรษา น้อยทิม[3] และ จักรพงษ์ แก้วขาว[1,2]

[1]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[3]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
[*]Yotsakitt@hotmail.com

บทคัดย่อ

*งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมแก้วบอเรตโดยวิธีการหลอมแล้วทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางแสงของแก้วตัวอย่าง โดยแก้วถูกเตรียมในอัตราส่วน $20Na_2O$: 20CaO : $20Al_2O_3$: (40-x)B_2O_3 : xCuO โดยที่ x คือปริมาณ CuO ที่ใส่ลงไปในปริมาณต่าง ๆกัน คือ 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซนต์โดยโมล ตามลำดับ ผลที่ได้พบว่าแก้วตัวอย่างมีสีโทนน้ำเงินซึ่งสอดคล้องกับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ Cu^{2+} ที่ 760 นาโนเมตร และค่าโคออดิเนตสีในระบบ CIE L*a*b* จากเครื่อง ยูวี – วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ส่วนค่าความหนาแน่นและค่าดรรชนีหักเหมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 2.4158-2.4996 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าดรรชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.5299-1.5484*

คำสำคัญ: แก้วบอเรต, สเปกตรัมการดูดกลืนแสง, สมบัติทางแสง

Abstract

In this work, the glass samples were prepared by the normal melt-quench technique. The physical and optical properties of borate glasses doped with CuO in composition $20Na_2O$: 20CaO : $20Al_2O_3$: (40-x)B_2O_3 : xCuO (where x = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 mol%) have been investigated. The results show that the optical absorption spectra of glass samples were measured by UV-visible spectrophotometer in the wavelength range 300-1100 nm. The absorption peaks locate around 760 for all CuO concentration that are associated to Cu^{2+} ions and produce the blue color. The color of glasses were also measured in CIE L a* b* system. Moreover, the glass samples have a density of 2.4158 to 2.4996 g/cm^3 and the refractive of 1.5299 to 1.5484.*

Keywords: Glasses, Absorption spectra, Optical properties

1. บทนำ

ในปัจจุบันการเติมธาตุโลหะทรานซิชั่นในแก้วชนิดต่าง ๆ เป็นที่นิยมและได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากโครงสร้างอิเล็กตรอนของอะตอมและไอออนของโลหะทรานซิชั่นมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับสมบัติทางกายภาพและทางแสงของแก้ว โดยเฉพาะสมบัติทางแสงสามารถก่อให้เกิดสีสันต่าง ๆในแก้วได้ และที่สำคัญที่สุดของโลหะทรานซิชั่นคือ มีเลขออกซิเดชั่นได้หลายค่าและต่างกัน 1 หน่วย หรือมากกว่า แต่ละเลขออกซิเดชั่นให้สีที่แตกต่างกัน ทำให้ธาตุโลหะทรานซิชั่น

บางชนิดสามารถเกิดสีสันได้หลากหลาย (พินิต รตะนานุกูล, 2549 และ El Batal et al., 2012) คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) เป็นธาตุโลหะทรานซิชั่นที่มีเลขออกซิเดชั่นได้ 2 ค่า คือ Cu^{+} และ Cu^{2+} ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาวะการหลอมแก้ว การเพิ่มอุณหภูมิในการหลอม ระยะเวลาในการหลอม และการเติมสารริดิวซ์บางชนิด Cu^{2+} จะให้สีโทนน้ำเงิน มักเกิดจากการหลอมแก้วในสภาวะบรรยากาศปกติ ส่วน Cu^{+} จะให้สีโทนแดง นิยมใช้ทำแก้วสีแดงทับทิม (Gold Ruby Glass) เกิดจากการหลอมแก้วในสภาวะพิเศษ และมีการเติมสารรีดิวซ์บางชนิดลงไป (Petkova, 2013 และ Bring, 2006) นอกจากนี้อิทธิพลของคอปเปอร์ที่มีต่อสมบัติของแก้วชนิดต่าง ๆ ก็ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันด้วย (Bamford, 1977) ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งสำหรับการศึกษาวิจัย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของคอปเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางแสงในแก้วบอเรต

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การหลอมแก้ว

เตรียมส่วนผสมในการหลอมแก้วจากร้อยละโดยโมลของสารเคมีต่าง ๆ ในสูตร $20Na_2O : 20CaO : 20Al_2O_3 : (40-x)B_2O_3 : xCuO$ โดยที่ x คือปริมาณ CuO ที่ใส่ลงไปในปริมาณต่าง ๆกัน คือ 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซนต์โดยโมล ตามลำดับ จากนั้นผสมสารเคมีทั้งหมดให้เป็นเนื้อเดียวกันลงในเบ้าหลอม และนำเข้าเตาหลอมไฟฟ้าโดยให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ค้างไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้สารประกอบหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกันจะได้น้ำแก้วเหลว หลังจากนั้นเปิดฝาเตานำเอาเบ้าหลอมออกจากเตาเผาและเทน้ำแก้วเหลวลงในแม่พิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิม ทิ้งไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อแก้วเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จะถูกนำไปตัดและขัดให้มีขนาด 1.0×1.5×0.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของแก้ว

2.2 การวัดคุณสมบัติแก้ว

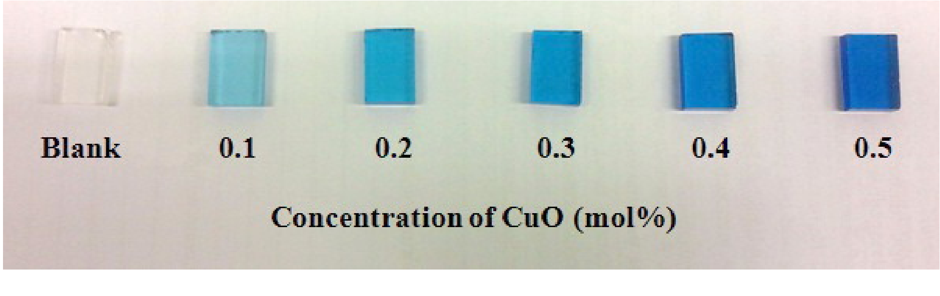
งานวิจัยได้ทำการวัดค่าดรรชนีหักเหของแสงด้วยเครื่อง Abbe Refractometer (ATAGO 3-T) และหาความหนาแน่นของแก้วด้วยหลักอาคิมีดีส ดังสมการที่ 1

$$\rho = \frac{w_A}{w_A - w_B} \times \rho_{water} \qquad (1)$$

เมื่อ w_A คือน้ำหนักของแก้วในอากาศและ w_B คือน้ำหนักของแก้วในไซลีน และความหนาแน่นของไซลีน (ρ_{water}) มีค่าเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตัวอย่างแก้วไปวัดการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Variance Cary-50) ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-1100 นาโนเมตร และวัดสีของแก้วในระบบ CIE L*a*b*

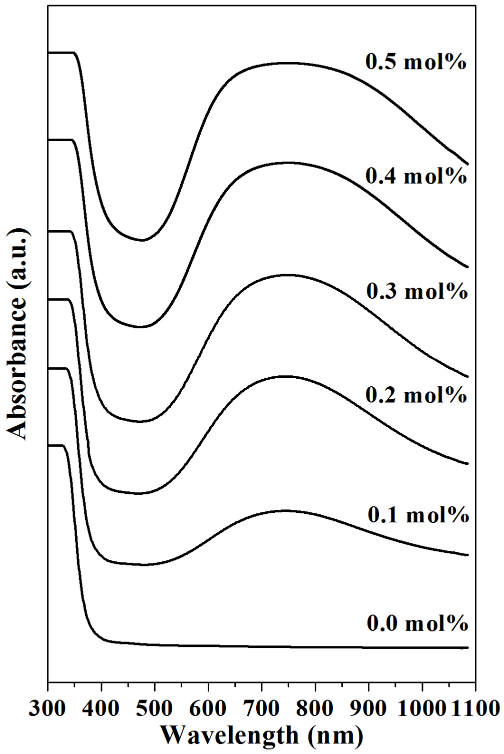
3. ผลการวิจัย

จากการทดลองหลอมแก้วที่เติม CuO ในปริมาณ 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซนต์โดยโมล ตามลำดับ พบว่าแก้วตัวอย่างที่ได้มีลักษณะใสและสีเป็นเนื้อเดียวกัน โดยแก้วที่ไม่เติม CuO จะมีลักษณะใสไม่มีสี และสังเกตเห็นสีโทนน้ำเงินในแก้วที่มีการเติม CuO โดยความเข้มของสีเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ CuO ดังแสดงในรูปภาพที่ 1

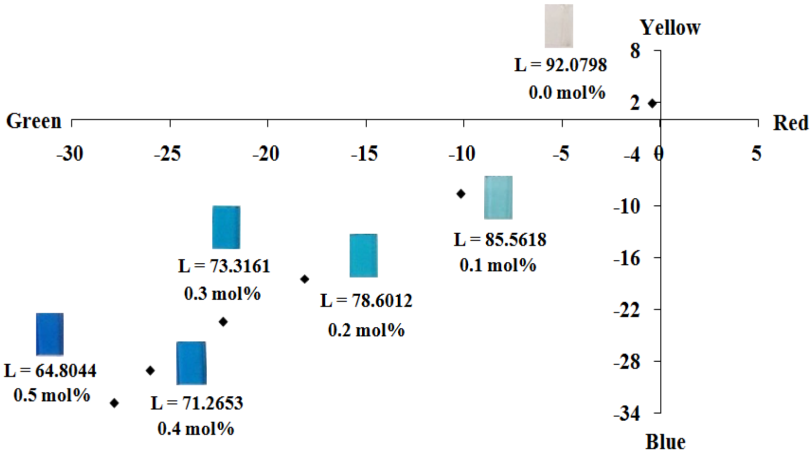


รูปภาพที่ 1 แก้วตัวอย่างที่เติม CuO ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เมื่อนำแก้วตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 300 – 1,100 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี – วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่ามีช่วงการดูดกลืนของ Cu^{2+} อยู่ในบริเวณ 760 นาโนเมตร แสดงดังรูปภาพที่ 2 โดยมีเปลี่ยนแปลงของระดับชั้นพลังงานจาก $^2B_{1g}$ ไปยัง $^2B_{2g}$ ของแก้วตัวอย่างทุกความเข้มข้น ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องการเกิดสีโทนน้ำเงินในแก้วของ Kaewkhao J. et al. (2008) สำหรับค่าโคออดิเนตสีในระบบ CIE L*a*b* ของแก้วตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3 พบว่าค่าสีที่ได้สอดคล้องกับสีของแก้วที่เห็นด้วยตาเปล่า และยังพบอีกว่าค่าสีน้ำเงินของแก้วจะสูงสุดที่ความเข้มข้นที่ 0.5 เปอร์เซนต์โดยโมล



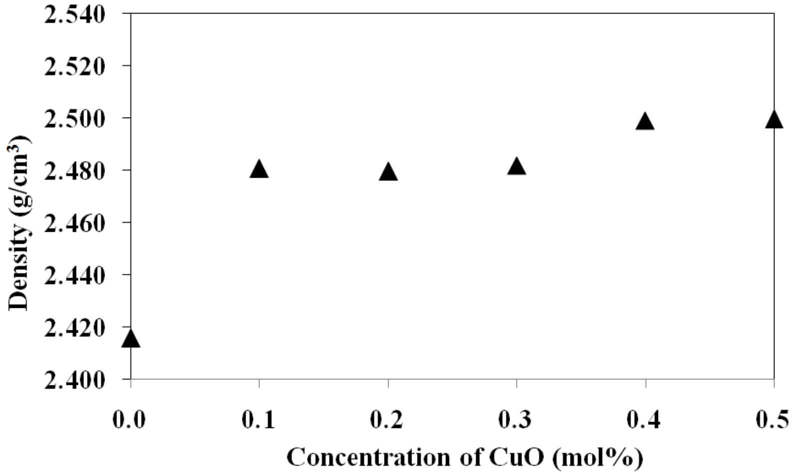
รูปภาพที่ 2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง 300 – 1,100 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่าง



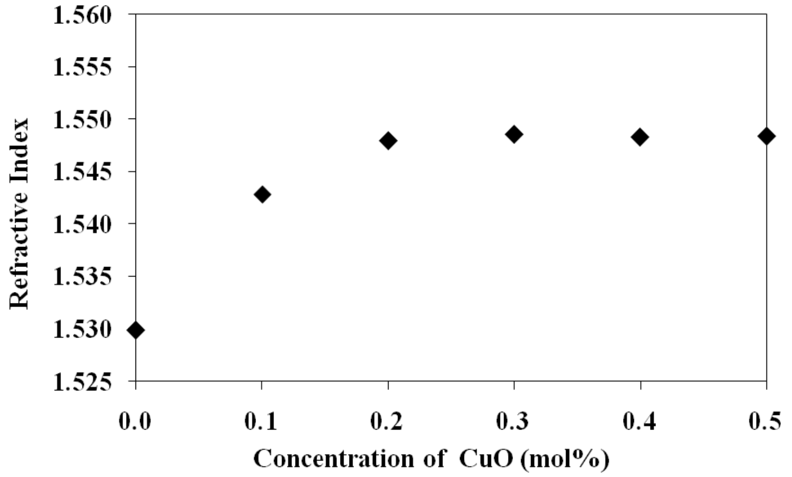
รูปภาพที่ 3 ค่าโคออดิเตสีในระบบ CIE L*a*b* ของแก้วตัวอย่าง

สำหรับค่าความหนาแน่นและค่าดรรชนีหักเหของแก้วตัวอย่าง พบว่าความหนาแน่นแก้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณความเข้มข้นของ CuO เพิ่มขึ้น โดยค่าความหนาแน่นที่วัดได้มีค่าตั้งแต่ 2.4158-2.4996 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นนี้ ยังส่งผลให้ค่าดรรชนีหักเหของแก้วเพิ่มขึ้นอีกด้วย โดยการเพิ่มขึ้นของดรรชนีหักเห

ตามค่าความหนาแน่นเป็นไปตามทฤษฎี ไดอิเลกตริกแบบคลาสสิก (classical dielectric theory) (Marler, 1988) ที่อธิบายว่าค่าดรรชนีหักเหนั้นขึ้นกับความหนาแน่นและค่าโพลาไรเซบิลิตี้ของตัวกลาง ซึ่งค่าดรรชนีหักเหที่วัดได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่น โดยมีค่าตั้งแต่ 1.5299-1.5484 แสดงดังรูปที่ 4-5



รูปภาพที่ 4 ความหนาแน่นของแก้วตัวอย่าง



รูปภาพที่ 5 ค่าดรรชนีหักเหของแก้วตัวอย่าง

4.สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการหลอมแก้วในสูตร $20Na_2O$: 20CaO : $20Al_2O_3$: $(40\text{-}x)B_2O_3$: xCuO โดยที่ x คือปริมาณ CuO ที่ใส่ลงไปในปริมาณต่าง ๆกัน คือ 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซนต์โดยโมล โดยทำการหลอมที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ค้างไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางแสงของแก้วตัวอย่าง ผลที่ได้พบว่าแก้วมีสีโทนน้ำเงินในแก้วที่มีการเติม CuO ทุกความเข้มข้น โดยความเข้มของสีเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ CuO เพิ่มขึ้น สำหรับค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่าง พบว่าช่วงการดูดกลืนแสงอยู่ในบริเวณ 760 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าโคออดิเตสีในระบบ CIE L*a*b* ส่วนค่าความหนาแน่นและค่าดรรชนีหักเหมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 2.4158-2.4996 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าดรรชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.5299-1.5484

5. เอกสารอ้างอิง

พินิต รตะนานุกูล. (2549). **เคมี 2 (ธาตุเรพรีเซนเททีฟ กลุ่ม S ธาตุเรพรีเซนเททีฟ กลุ่ม P ธาตุทรานซิชัน แลนทาไนด์และออกทีไนด์ ของแข็ง).** กรุงเทพฯ : มูลนิธิ สอวน.

Bamford, C.R. (1977). **Colour Generation and Control in Glass**. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

ElBatal, H. A., Abdelghany, A. M., & Ali, I. S. (2012). Optical and FTIR studies of CuO-doped lead borate glasses and effect of gamma irradiation. **Journal of Non-Crystalline Solids,** 358 (4), 820-825.

Marler, B. (1988). On the Relationship between Refractive Index and Density for SiO_2-polymorphs. **Physics and Chemistry of Minerals**, 16 (3), 286-290.

Petkova, P., Touiri, H., & Soltani, M. T. (2013). Spectroscopic Properties of Cu Doped (80-x)Sb_2O_3-20Li_2O-xMoO_3 Glasses. **Acta Physica Polonica,** 123(2), 205-206.

Bring, T. (2006). **Red glass coloration – The colrimatric and structural study**. Doctoral Thesis in Chemistry, Stockholm, Sweden.

Kaewkhao, J., Rhianphumikarakit, S., & Udomkan, A. (2008). ESR and Optical Absorption Spectra of Copper (II) Ions in Glasses. **Advanced Materials Research,** 55-57, 849-852.