การศึกษาสมบัติของเบ้าหลอมแก้วที่ผ่านการใช้แล้ว

อานนท์ อางนานนท์[1,2,*], ณัฐพล ศรีสิทธิโภคกุล[1,2] และ จักรพงษ์ แก้วขาว[1,2]

[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์, นครปฐม
* em.anon1121@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของเบ้าหลอมแก้วที่ผ่านการใช้งานแล้ว เบ้าหลอมได้รับการวัดค่าความหนาแน่น อาศัยหลักการของอาร์คิมิดีส องค์ประกอบทางเคมีได้รับการวิเคราะห์ด้วยเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์สเปกโทรมิเตอร์ แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer; EDXRF) โครงสร้างผลึกได้รับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโทรมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer; XRD) ผลการทดลองแสดงคุณสมบัติของเบ้าหลอมใหม่และเบ้าหลอมที่ผ่านการใช้งานแล้ว เบ้าหลอมที่ใช้กับอุณหภูมิ 1200 และ 1600 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่น 2.4 และ 3.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ องค์ประกอบหลักทางเคมีของเบ้าหลอมทั้งสองชนิด คือ Al_2O_3 และ SiO_2 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวอย่างเบ้าหลอม 1,200 และ 1600 องศาเซลเซียส แสดงรูปแบบของ SiO_2 (JCPDs No.046-1045) และ Al_2O_3 (JCPDs No.046-1212) ตามลำดับ

คำสำคัญ: เบ้าหลอม อะลูมิเนียมออกไซด์ ซิลิกอนไดออกไซด์

Study Properties of Used Glass Melting Crucible

A. Angnanon[1,2,*], N. Srisittipokakun[1,2], and J. Kaewkhao[1,2]

[1]Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand
[2]Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand
*em.anon1121@gmail.com

Abstract

In this research, the properties of the used glass crucibles were investigated. The crucible has been measured for density based on Archimedes' principle. The chemical composition was analyzed with Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer. Crystal structures were analyzed with an X-Ray diffractometer. The results show the properties of the new crucible and the used crucible. The crucible used at 1200 and 1600 °C had a density of 2.4 and 3.8 g/cm^3, respectively. The main chemical composition of both types of the crucible is Al_2O_3 and SiO_2. The X-ray diffraction of crucible samples applied to temperatures of 1,200 and 1600 °C shows the forms of SiO_2 (JCPDs No.046-1045) and Al_2O_3 (JCPDs No.046-1212), respectively.

Keywords: crucible, Al_2O_3, SiO_2

1. บทนำ

งานวิจัยและพัฒนาถือได้ว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเพื่อประสิทธิภาพของวัสดุสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเทคโนโลยีสมัยใหม่ แก้วนับเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีการคิดค้นและสร้างขึ้นมาตั้งแต่สมัยอดีต โดยปัจจุบันวัสดุแก้วมีการประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น การประดับตกแต่งผนังอาคาร การทำหน้าต่าง ขวดบรรจุน้ำ เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติของวัสดุแก้วนั้นมีความโปร่งใส แข็งแรง และทนต่อการสึกกร่อนจากสารเคมีได้ดี ทั้งนี้ในอุตสาหกรรมมักนิยมใช้ SiO_2 เป็นโครงสร้างแก้วหลัก แต่เนื่องจาก SiO_2 นั้นมีจุดหลอมเหลวที่สูงจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน การปรับปรุงสมบัติของแก้วนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเติมอนินทรีย์สารเข้าไปในสูตรแก้วเพื่อลดจุดหลอมเหลวให้ต่ำลง (B. Damdeea et al., 2017) หรือใช้วิธีการเพิ่มอุณหภูมิการหลอมให้สูงขึ้น โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมแก้วมักนิยมหลอมแก้วที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1200 ถึง 1600 องศาเซลเซียส ตามแต่อัตราส่วนของสารอนินทรีย์ที่นำมาผสมกัน ซึ่งในขั้นตอนการหลอมละลายนั้นจำเป็นต้องมีภาชนะสำหรับรองรับสารอนินทรีย์หลอมเหลวเหล่านั้น โดยภาชนะนั้นจะต้องสามารถทนต่อการหลอมละลายได้ เมื่อนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1600 องศาเซลเซียส (F. Zaman et al., 2018) สำหรับในงานวิจัยสำหรับงานหลอมแก้วนั้น มีเบ้าที่นิยมอยู่ 2

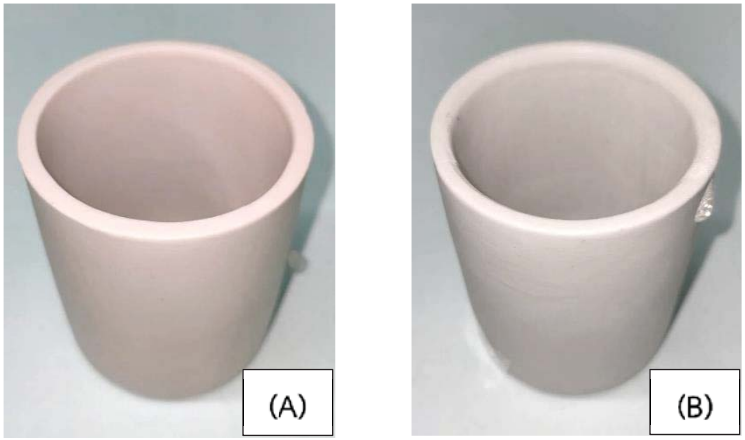
ชนิด โดยชนิดแรกสามารถทดต่อการเผาที่ อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสได้ (L. Shamshad et al., 2017) และชนิดที่สองสามารถทดต่อการหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1600 องศาเซลเซียสได้ดี (K. Kirdsiri et al., 2018) โดยปกติเบ้าหลอมแก้วเหล่านั้นจะสามารถใช้ได้เพียงครั้งเดียวจึงก่อให้เกิดขยะจากการใช้เบ้าหลอมเหล่านี้เกิดขึ้น ถ้าสามารถนำเบ้าหลอมเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่ได้จะส่งผลให้ปริมาณขยะจากเบ้าหลอมนั้นลดปริมาณลงได้ ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางโครงสร้างผลึกและองค์ประกอบทางเคมีของเบ้าที่ผ่านการใช้งานและยังไม่ได้ใช้งาน ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และเครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์สเปกโทรมิเตอร์ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาและหาวิธีการนำเบ้าหลอมที่ผ่านการใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

2. วิธีการทดลอง

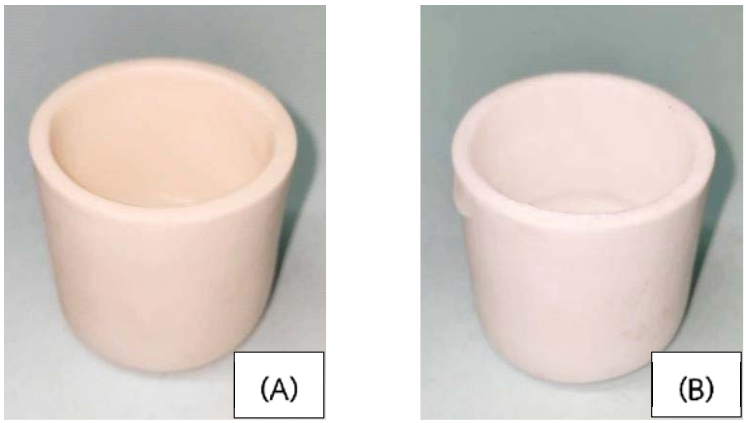
ในการทดลองนี้จะเตรียมตัวอย่างเบ้าหลอมทั้งหมดสี่ตัวอย่าง คือ 1) เบ้าหลอมที่ใช้กับอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ที่ยังไม่ได้ใช้งาน (1200N) 2) เบ้าหลอมที่ใช้กับอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ที่ใช้งานแล้ว (1200U) 3) เบ้าหลอมที่ใช้กับอุณหภูมิ 1600 องศาเซลเซียส ที่ยังไม่ได้ใช้งาน (1600N) และ 4) เบ้าหลอมที่ใช้กับอุณหภูมิ 1600 องศาเซลเซียส ที่ใช้งานแล้ว (1600U) อย่างละ 1 ตัวอย่าง การศึกษาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างเบ้าหลอมจะทำการตัดชิ้นส่วนเบ้าหลอมทั้งสี่ตัวอย่างให้มีขนาด 1.5 × 1.5 ตารางเซนติเมตร แล้วอาศัยหลักการของอาร์คิมิดีสในการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น จากนั้นนำตัวอย่างเบ้าหลอมที่เหลือมาบดให้เป็นผงละเอียดสำหรับการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์สเปกโทรมิเตอร์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer; EDXRF) บริษัท Panalytical รุ่น Minipal-4 และวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของปูนปลาสเตอร์ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโทรมิเตอร์ (X-Ray Diffractrometer; XRD) บริษัท Shimadzu's รุ่น XRD-6100 รังสีเอกซ์ชนิด Cu ด้วยแรงดันไฟฟ้า 40 กิโลโวลต์ และกระแสไฟฟ้า 30 มิลลิแอมป์ โดยสแกนแบบ 2θ ที่ช่วงมุม 10-80 องศา สแกนด้วยอัตราเร็วที่ 2 องศาต่อนาที

3. ผลการทดลอง

ภาพที่ 1 พบว่าตัวอย่าง (1200U) หลังผ่านการใช้งานหลอมแก้วแล้วยังคงสภาพรูปร่างที่สมบูรณ์ ไม่มีการแตกหัก แต่สีของเบ้ามีลักษณะของสีเปลี่ยนเป็นสีที่ขาวขึ้นจากเดิม ภาพที่ 2 พบว่าตัวอย่าง (1600U) ที่ผ่านการใช้งานหลอมแก้วแล้วนั้นยังคงสภาพดีเช่นกัน และมีสีที่ขาวขึ้น เช่นเดียวกับเบ้าที่ทดการหลอมเหลวที่อุณภูมิ 1200 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 1 ตัวอย่างเบ้าหลอมแก้วทนการหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (A) 1200N และ (B) 1200U



ภาพที่ 2 ตัวอย่างเบ้าหลอมแก้วทนการหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1600 องศาเซลเซียส (A) 1600N และ (B) 1600U

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง 1200N, 1200U, 1600N และ 1600U

ตัวอย่าง	สารประกอบออกไซด์ (ร้อยละ)	
	Al_2O_3	SiO_2
1200N	21.644	78.644
1200U	21.905	78.095
1600N	99.375	0.625
1600U	99.254	0.746

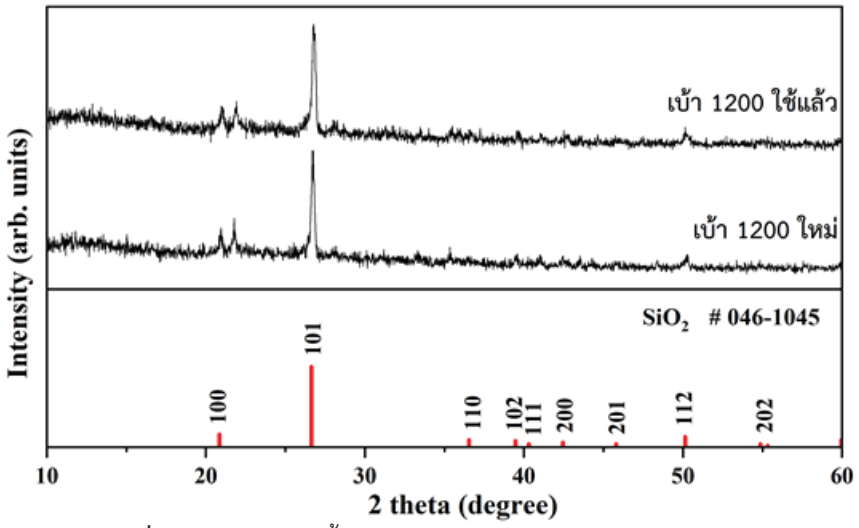
ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 1 พบว่าตัวอย่างเบ้าหลอมแก้วทนการหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1200 กับ 1600 องศาเซลเซียส มีอะลูมิเนียมออกไซด์(Al_2O_3) และซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยเบ้าหลอม 1600 องศาเซลเซียส นั้นมีองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่เป็น Al_2O_3 มากถึงร้อยละ 99 ส่วนเบ้าหลอมแก้วทนการหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส นั้นองค์ประกอบหลักส่วนใหญ่เป็น SiO_2 ร้อยละ 78 จากผลการศึกษาทั้งหมดพบว่าปริมาณของ Al_2O_3 ของเบ้าหลอมแก้วทนการหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1200 และ 1600 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านการใช้งานแล้วนั้นจะทำให้ปริมาณของ Al_2O_3 ลดลงเล็กน้อย

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นของตัวอย่าง 1200N, 1200U, 1600N และ 1600U

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
1200N	2.3749
1200U	2.4060
1600N	3.8120
1600U	3.8232

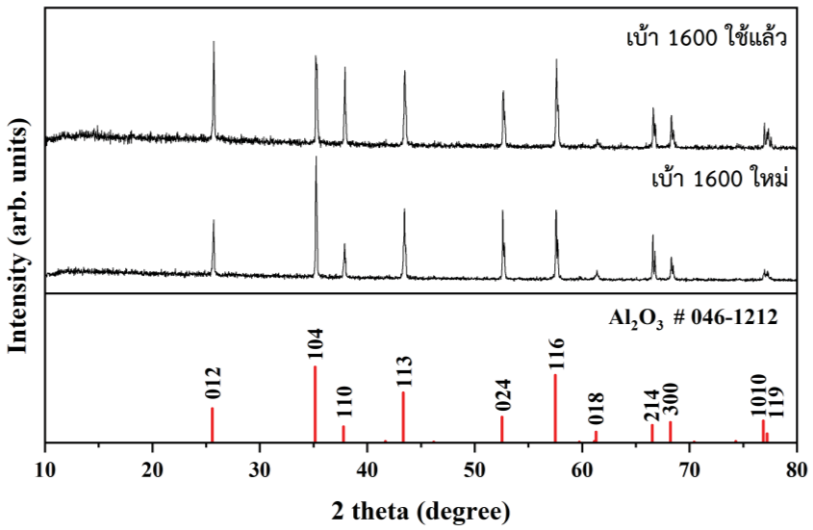
การศึกษาค่าความหนาแน่นของเบ้าหลอมแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าเบ้าหลอม 1200 องศาเซลเซียส (1200N และ 1200U) มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าเบ้าหลอม 1600 องศาเซลเซียส (1600N และ 1600U) เป็นผลมาจากเบ้าหลอม 1600 องศาเซลเซียส มีองค์ประกอบทางเคมีส่วนมากเป็น Al_2O_3 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นสูงกว่า SiO_2 ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเบ้าหลอม 1200 องศาเซลเซียส กับ 1600 องศาเซลเซียส จะมีค่าความหนาแน่นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับเบ้าหลอมที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีค่าความหนาแน่นที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับเบ้าใหม่ที่ยังไม่ได้ใช้ เนื่องมาจากอนุภาคของเนื้อสารเกิดความกระชับตัวมากขึ้นเมื่อได้รับความร้อนเป็นครั้งที่สอง และองค์ประกอบบางส่วนมีการระเหยออกจึงทำให้มีค่าความหนาแน่นทีเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลต่อสีของเบ้าหลอมที่มีการเปลี่ยนแปลงด้วย

การศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเบ้าหลอม 1200 องศาเซลเซียส (1200N และ 1200U) แสดงดังภาพที่ 3 ผลของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ แสดงรูปแบบโครงสร้างผลึกของ SiO_2 (JCPDs No.046-1045) ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล โดยเบ้าใหม่ และเบ้าที่ผ่านการใช้งานแล้วนั้นยังคงมีลักษณะสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่คล้ายคลึงกันแสดงให้เห็นว่าผลของอุณหภูมิที่มีการเผานั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกยังคงสภาพเดิมของเนื้อเบ้าหลอมแก้ว



ภาพที่ 3 สเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง 1200N, 1200U

การศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเบ้าหลอม 1600 องศาเซลเซียส (1600N และ 1600U) แสดงดังภาพที่ 4 ผลของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ แสดงรูปแบบโครงสร้างผลึกของ Al_2O_3 (JCPDs No.046-1212) ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกแบบรอมโบฮีดรัล โดยเบ้าใหม่ และเบ้าที่ผ่านการใช้งานแล้วนั้นยังคงมีลักษณะสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่คล้ายคลึงกันแสดงให้เห็นว่าผลของอุณหภูมิที่มีการเผานั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกยังคงสภาพเดิมของเนื้อเบ้าหลอมแก้ว



ภาพที่ 4 สเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง 1600N, 1600U

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาเบ้าหลอม 1200 และ 1600 องศาเซลเซียส ที่ผ่านการใช้งานแล้ว แสดงสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยสำหรับสีของเบ้าหลอมจากสีเข้มเป็นสีที่ขาวมากขึ้น แต่ยังคงสภาพลักษณะเดิม ไม่บิดเบี้ยวผิดรูปร่างต่างไปจากเบ้าหลอมใหม่ องค์ประกอบทางเคมีมีค่าที่เปลี่ยนไปเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบบางชนิดที่มีปริมาณน้อยระเหยออกขณะเผาจึงทำให้องค์ประกอบทางเคมีมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ค่าความหนาแน่นของเบ้าหลอมนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันสำหรับเบ้าหลอมทั้งสองชนิด โดยมีค่าความหนาแน่นที่เพิ่มสูงขึ้นหลังจากการเผาหรือการใช้งานแล้ว เป็นผลที่แสดงให้เห็นว่าความร้อนจากการเผานั้นทำให้อนุภาคของเนื้อสารเกิดความกระชับตัวมากขึ้นช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อยลง จึงทำให้มีค่าความหนาแน่นที่สูงขึ้น สำหรับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ สามารถยืนยันลักษณะโครงสร้างผลึกหลักของสารในเบ้าหลอม 1200 องศาเซลเซียส คือ SiO_2 (JCPDs No.046-1045) ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล และ โครงสร้างผลึกหลักของสารในเบ้าหลอม 1600 องศาเซลเซียส แสดงรูปแบบโครงสร้างผลึกของ Al_2O_3 (JCPDs No.046-1212) ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกแบบรอมโบฮีดรัล โดยพบว่าความร้อนจากการเผาที่ 1200 และ 1600 องศาเซลเซียส นั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของสารไปเป็นโครงสร้างชนิดอื่น จากคุณสมบัติที่กล่าวถึงเบ้าที่ผ่านการใช้งานแล้วนั้นมีคุณสมบัติทางเคมีค่อนข้างใกล้เคียงกับเบ้าหลอมใหม่ โดยมีความเป็นไปได้สำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนสำหรับการจ่ายค่าเบ้าหลอมได้มากถึง 300-400 บาท ต่อหนึ่งเบ้าหลอม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์ สำหรับเครื่องมือ และสถานที่ สำหรับการทำงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

B. Damdeea, J. Kaewkhaoa and K. Kirdsiri (2017). Effect of alkaline earth on decay time of Dy^{3+} doped in Li_2O-B_2O_3 glasses using pulse X-ray excitation, **Materials Today: Proceedings,** 17, 1837–1842

F. Zaman, G. Rooh, N. Srisittipokakun, C. Wongdeeying, H.J. Kim, J. Kaewkhao (2018). Physical, structural and luminescence investigation of Eu3+-doped lithium-gadolinium bismuth-borate glasses for LEDs, **Solid State Sciences**, 18, 1293-2558

K. Kirdsiri, R. Raja Ramakrishna, B. Damdee, H.J. Kim, S. Kaewjaeng, S. Kothan and J. Kaewkhao (2018). Investigations of optical and luminescence features of Sm^{3+} doped Li_2O-MO-B_2O_3 (M = Mg/Ca/Sr/Ba) glasses mixed with different modifier oxides as an orange light emitting phosphor for WLED's, **Journal of Alloys and Compounds**,179-204

L. Shamshad, G. Rooh, K. Kirdsiri, N. Srisittipokakun, B. Damdee, H.J. Kim and J. Kaewkhao (2017). Effect of alkaline earth oxides on the physical and spectroscopic properties of Dy^{3+}- doped Li_2O-B_2O_3 glasses for white emitting material application, **Optical Materials**, 268-275