การเตรียมนิลเทียมจากกะลามะพร้าวน้ำหอมในจังหวัดนครปฐม

ณาตาลี เสมามิ่ง[1,2] และวัชรินทร์ ราชนิยม[1,2,*]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีแก้วและเซรามิก คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์, นครปฐม
*watcharinratniyom601@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการนำขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวมาพัฒนาเป็นนิล จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลักของกะลามะพร้าวทั้งก่อนและหลังเผา พบว่าก่อนทำการเผากะลามะพร้าวมีธาตุ K_2O SiO_2 และ CaO เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีสัดส่วนเท่ากับ 67.54, 13.12 และ 14.51 โดยน้ำหนัก และยังพบว่ามีองค์ประกอบของธาตุเจือปนที่ส่งผลต่อสี ได้แก่ MnO, Fe_2O_3 และ CuO หลังจากทำการอบไล่อุณหภูมิให้สูงขึ้น (400, 600, 800, 1000 องศาเซลเซียส) พบว่าปริมาณของ K_2O และ CaO มีค่าลดลง สวนทางกับปริมาณของ SiO_2 ที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการอบที่เพิ่มขึ้น จากนั้นนำขี้เถ้ากะลามะพร้าวที่เผาแล้วไปใช้แทนสารเคมี SiO_2, K_2O และ CaO ในสูตรแก้ว $(55\text{-}x)B_2O_3 : 10SiO_2 : 15K_2O : 5CaO : 15Bi_2O_3 : xCoO$ เมื่อ x คือความเข้มข้นของ CoO (8 10 12 14 และ 16 ร้อยละโดยโมล) พบว่าแก้วมีความทึบแสง ค่าความหนาแน่นของแก้วมีค่าอยู่ระหว่าง 4.1337 ± 0.0002 ถึง 4.1600 ± 0.0001 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าความหนาแน่นของนิล แก้วมีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 6.5 -7.5 โมห์สเกล ค่าความแข็งดังกล่าวมีค่าเท่ากับนิลจริง

คำสำคัญ: กะลามะพร้าว นิล ความแข็ง ค่าความหนาแน่น องค์ประกอบทางเคมี

Investigation of imitation black spinel from Sweet Young Coconut shell in Nakhon Pathom Province

Natalee Samaming [1,2,*] and Watcharin Rachniyom[1,2]

[1]Glass and Ceramic Technology 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
*watcharinratniyom601@hotmail.com

Abstract

The aims of this research, Study the effect of using ashes from coconut shell to develop imitation black spinel. From the analysis of main components of coconut shell, before and after sintering. It was found that before sintering coconut shells K_2O SiO_2 and CaO were the main elements. The proportions were equal to 67.54, 13.12 and 14.51 (Wt%) and also found that the elements of the additives that affect the color Including MnO, Fe_2O_3 and CuO. After sintering at higher temperatures (400, 600, 800, 1000 °C). It was found that the amount of K_2O and CaO decreased. On the other hand, the amount of SiO_2 that increased with increasing sintering temperature. Then use the coconut shell ashes to replace the chemicals SiO_2, K_2O and CaO in the glass formula $(55\text{-}x)B_2O_3 : 10SiO_2 : 15K_2O : 5CaO : 15Bi_2O_3 : xCoO$ where x was concentration of CoO (8, 10, 12, 14 and 16 mol%). Found that the glass is opaque. The density of the glass was between 4.1337 ± 0.0002 to 4.1600 ± 0.0001 g/cm^3, which is greater than the density of black spinel. Glass has a hardness value between 6.5 -7.5 Mohs scale. This hardness value is equal to real black spinel.

Keywords: Coconut shell, Black spinel, Hardness, Density, Chemical composition

1.บทนำ

ในประเทศไทยมีการเพาะปลูกพืชชีวมวล ซึ่งหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรในแต่ละฤดูกาล เศษวัสดุทางการเกษตรเหล่านี้มักจะถูกนำไปเผาทิ้ง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการเกิดปัญหาวิกฤตหมอกควัน และฝุ่นละอองขนาดเล็กขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน นอกจากนี้ยังสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งทำให้เหลือขี้เถ้าชีวมวลปริมาณมาก ในปัจจุบันมีการนำขี้เถ้าชีวมวลดังกล่าวไปใช้เป็นส่วนผสมในวัตถุดิบสำหรับปูนซีเมนต์ **[1-4]** โดยนักวิจัยพยายามหาวิธีการที่จะนำขี้เถ้าชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งจากการศึกษาพบว่าส่วนประกอบของธาตุในขี้เถ้าชีวมวลบางประเภท สามารถนำมาพัฒนาเป็นแก้วได้

มะพร้าวเป็นหนึ่งในพืชชีวมวลที่มีการเพาะปลูกมากในประเทศไทย โดยส่วนมากในการใช้ประโยชน์จากผลผลิตผู้บริโภคจะนำส่วนเนื้อไปใช้ในการประกอบอาหารต่างๆ และจะเหลือส่วนกะลาเอาไว้ โดยมากก็จะนำไปเผาทิ้งซึ่งไม่สามารถเพิ่มมูลค่าได้ ปัจจุบันพื้นที่ในอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐมนิยมปลูกมะพร้าวน้ำหอม 2 สายพันธุ์ คือ มะพร้าวน้ำหอมสามพราน และมะพร้าวน้ำหวานบ้านแพ้ว มะพร้าวน้ำหอมสามพรานจะมีลักษณะผลเล็ก น้ำหอมหวาน มีกลิ่นหอมคล้ายใบเตย เนื้อนิ่ม มะพร้าวน้ำหอมเป็นที่ต้องการของตลาด เป็นพืชเศรษฐกิจสร้างรายได้ให้แก่ครัวเรือน ปัจจุบันประเทศไทยแปรรูปมะพร้าวน้ำหอมส่งออก

แก้วจัดเป็นอัญมณีเทียมประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญ มีตลาดเฉพาะตัวและมีราคาสูงว่าพลาสติกและเรซิ่น แต่พบว่าราคาขายในตลาดเมื่อเข้าเรือนกลับทำกำไรไล่เลี่ยกับเพชรรัสเซีย (cubic zirconia) หรือแม้กระทั่งทับทิมสังเคราะห์ซึ่งเป็นพลอยสังเคราะห์ที่เตรียมได้ยากกว่า และใช้ต้นทุนสูงกว่ามาก นอกไปจากนั้นแก้วยังสามารถทำให้เกิดสีสันได้มากกว่าและง่ายกว่า การเตรียมอัญมณีเทียมจากแก้วจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างสูงในปัจจุบัน **[5-7]**

ทั้งนี้ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกเครื่องประดับอัญมณีเทียมใน 10 อันดับแรกของโลกมานานนับทศวรรษ และล่าสุดในช่วงเดือนมกราคม-กรกฎาคม 2563 ไทยก้าวขึ้นมาเป็นผู้ส่งออกในอันดับที่ 4 ของโลก ด้วยสัดส่วนราว 5.61% ของมูลค่าส่งออกเครื่องประดับเทียมในตลาดโลก หรือมีมูลค่าส่งออก 147 ล้านเหรียญสหรัฐ คิดเป็นสัดส่วน 1.22% ของมูลค่าการส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับไทยโดยรวม สำหรับตลาดส่งออกหลักใน 5 อันดับแรกของไทย ได้แก่ ลิกเตนสไตน์ สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส และฮ่องกง ในสัดส่วน 29.89%, 12.43%, 11.15%, 7.85% และ 7.84% ตามลำดับ **[8]** ปัญหาสำคัญของอุตสาหกรรมอัญมณีเทียมในประเทศไทย คือ อุตสาหกรรมต้นน้ำขาดแคลนวัตถุดิบและพึ่งพิงการนำเข้าเป็นหลัก จึงทำให้ไม่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มจากวัตถุดิบที่นำเข้ามาได้มากนัก ทั้งนี้การสร้างมูลค่าสำหรับเครื่องประดับอัญมณีเทียม คือสีของอัญมณีต้องมีความแตกต่าง มีลูกเล่นที่ไม่เหมือนในท้องตลาด หรือมีสีที่ใกล้เคียงอัญมณีจริงตามธรรมชาติ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะเตรียมแก้วจากกะลามะพร้าวเพื่อพัฒนาเป็น อัญมณีประดิษฐ์จำพวกนิล โดยจะทำการศึกษาสมบัติด้านความหนาแน่น และความแข็ง เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสมบัติของนิลธรรมชาติ

2.วิธีการทดลอง

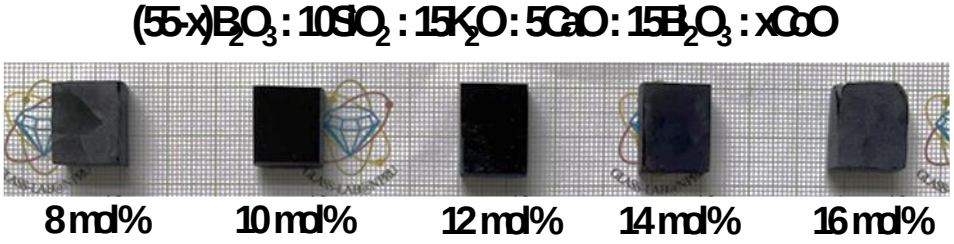
งานวิจัยนี้ทำเพื่อผลของอุณหภูมิในการอบกะลามะพร้าวต่อองค์ประกอบทางเคมีเพื่อใช้ในการเตรียมแก้ว โดยเริ่มจากการลงพื้นที่เก็บกะลามะพร้าวเหลือทิ้งในพื้นที่จังหวัดนครปฐม จากนั้นนำกะลามะพร้าวมาอบที่อุณหภูมิต่างๆ โดยไล่อุณหภูมิให้สูงขึ้นดังต่อไปนี้ 400, 600, 800, 1000 องศาเซลเซียส เพื่อดูความเป็นไปได้ในการเพิ่มความบริสุทธิ์ของสารซิลิกา ทำการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้ากะลามะพร้าวทุกตัวอย่างที่กล่าวมาโดยใช้ XRF จากนั้นออกแบบสูตรแก้วใสที่มีขี้เถ้ากะลามะพร้าวที่อบด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นองค์ประกอบ ตามอัตราส่วน $(55\text{-}x)B_2O_3 : 10SiO_2 : 15K_2O : 5CaO : 15Bi_2O_3 : xCoO$ เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของ CoO มีค่า 8 10 12 14 และ 16 ร้อยละโดยโมล โดยหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสต่อนาที ใช้เวลาในการค้าง 3 ชั่วโมง จากนั้นนำเบ้าหลอมออกจากเตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง เพื่อทำให้แก้วเหลวได้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว โดยเทน้ำแก้วลงบนแบบพิมพ์แกรไฟต์ นำแก้วที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นปิดเตาให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จึงนำแก้วออกจากเตา นำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปขัดให้มีขนาด 1.0 × 1.5 × 0.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากนั้นจึงมาศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง และค่าสีในระบบ CIE L*a*b*

3.ผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้ากะลามะพร้าวทุกตัวอย่างที่กล่าวมาโดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence-EDXRF) ของบริษัท Panalytical รุ่น Minipal-4 ซึ่งพบว่า กะลามะพร้าวที่ยังไม่อบมีองค์ประกอบหลักเป็น K_2O, SiO_2, CaO อยู่ประมาณร้อยละ 67.54, 13.12 และ 14.51 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ หลังจากทำการอบไล่อุณหภูมิให้สูงขึ้น (400, 600, 800, 1000 องศาเซลเซียส) พบว่าปริมาณของ K_2O และ CaO มีค่าลดลง สวนทางกับปริมาณของ SiO_2 ที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการอบที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งองค์ประกอบของธาตุเจือปนที่ส่งผลต่อสีที่สำคัญ คือ Fe_2O_3, MnO และ CuO มีสัดส่วนที่ลดลงอย่างชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าที่ทำการอบไล่อุณหภูมิให้สูงขึ้น (400, 600, 800, 1000 องศาเซลเซียส)

องค์ประกอบทางเคมี	อุณหภูมิการอบ (องศาเซลเซียส)				
	ไม่อบ	400	600	800	1,000
SiO_2	13.12	15.78	19.42	23.52	25.73
K_2O	**67.54**	**66.16**	**63.58**	**61.49**	**60.43**
CaO	14.51	13.61	12.84	11.27	10.46
TiO_2	0.42	0.38	0.35	0.32	0.28
MnO	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17
Fe_2O_3	3.41	3.15	2.96	2.63	2.37
CuO	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27
ZnO	0.42	0.38	0.35	0.30	0.29
รวม	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**



ภาพที่ 1 แก้วจากกะลามะพร้าวที่มีความเข้มข้นของ CoO ต่าง ๆ กัน

จากการหลอมแก้วจากกะลามะพร้าวที่เจือสารให้สี CoO ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 8, 10, 12, 14 และ 16 ร้อยละโดยโมล พบว่าลักษณะแก้วที่ได้มีสีดำ และทึบแสง ทุกความเข้มข้น ซึ่งทำให้ไม่สามารถวัดสมบัติทางแสงได้ ดังภาพที่ 1

ผลการวิเคราะห์จากเครื่องวัดค่าความแข็งของแก้ว

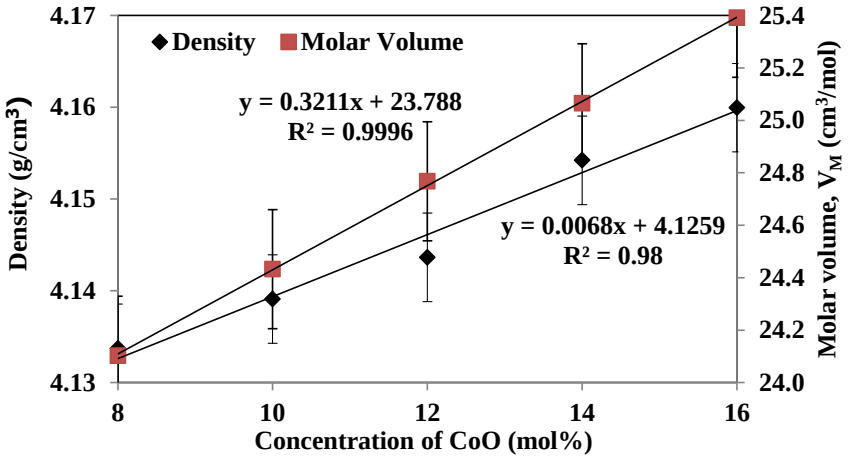
จากการพัฒนาแก้วที่มีส่วนประกอบของกะลามะพร้าวเพื่อประยุกต์ใช้เป็นนิลเทียม ทั้งนี้ในอุตสาหกรรมอัญมณีนิยมใช้ค่าความแข็งในรูปของโมห์สเกล ซึ่งมีการแบ่งระดับความแข็งออกเป็นสิบระดับ โดยที่ค่าความแข็ง 10 โมห์สเกล จะเป็นค่าความแข็งที่มากที่สุดซึ่งเปรียบเทียบค่าความแข็งได้กับเพชรจริงในธรรมชาติ ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ค่าความแข็งของแก้วตัวอย่างมีความเข้มข้นของ CoO เท่ากับ 8, 10 และ 12 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าความแข็งเท่ากับ 6.5 โมห์สเกล ซึ่งเทียบได้กับเฟล์ดสปาร์ ค่าดังกล่าวมีค่าสูงกว่าวัสดุแก้วทั่วไปในตลาด แต่ก็ยังมีค่าน้อยกว่าค่าความแข็งของนิลจริง ส่วนแก้วที่มีความเข้มข้นของ CoO เท่ากับ 14 และ 16 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าความแข็งเท่ากับ 7.5 โมห์สเกล ค่าความแข็งดังกล่าวมีค่าเท่ากับนิลจริง

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมล

จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่างที่เติม CoO ในความเข้มข้น 8, 10, 12, 14 และ 16 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 4.1337 ± 0.0002 ถึง 4.1600 ± 0.0001 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากออกไซด์ของ CoO ซึ่งมีมวลโมเลกุลมากกว่าเข้าไปแทนที่ออกไซด์ของ B_2O_3 และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความเข้มข้นของแก้วที่เติมออกไซด์ของ CoO สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 กราฟที่ได้จะมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9800 ในส่วนของปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่าความหนาแน่น ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 24.1019 ถึง 25.3909 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมลสันนิษฐานได้ว่าตัว CoO ได้เข้าไปทำลายสะพานเชื่อมออกซิเจน (non-bridging oxygen) ในโครงสร้างแก้วมากขึ้น ทำให้ระยะห่างระหว่างอะตอมมีขนาดกว้างมากขึ้นจึงทำให้โครงสร้างของแก้วเกิดการขยายตัว และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรเชิงโมลกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม CoO ดังแสดงในภาพที่ 2 กราฟที่ได้จะมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9996

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลของแก้ว

ความเข้มข้นของ CoO (ร้อยละโดยโมล)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาตรเชิงโมล (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล)
0.00	3.9189 ± 0.0001	23.8988
8.00	4.1337 ± 0.0002	24.1019
10.00	4.1391 ± 0.0002	24.4327
12.00	4.1436 ± 0.0002	24.7675
14.00	4.1542 ± 0.0002	25.0652
16.00	4.1600 ± 0.0001	25.3909



ภาพที่ 2 ค่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลของแก้วเติม CoO ที่ความเข้มข้น ต่าง ๆ กัน

การเปรียบเทียบสมบัติของนิลจริงตามธรรมชาติกับแก้วที่พัฒนาขึ้น

จากฐานข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี **[9]** พบว่านิลจริงตามธรรมชาติมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 3.5 – 4.1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 7.5 – 8.0 โมห์สเกล ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าสีของแก้วตัวอย่างจากตารางที่ 2 พบว่าแก้วที่เติม CoO ทุกความเข้มข้นมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับนิลจริงในธรรมชาติ แต่ค่าความแข็งของแก้วที่เติม CoO ที่ความเข้มข้น 14 และ 16 ร้อยละโดยโมล มีค่าความแข็งใกล้เคียงกับนิลจริงในธรรมชาติ

4.สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้คือการเตรียมนิลเทียมจากกะลามะพร้าว โดยผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของกะลามะพร้าวก่อนและหลังเผาจะพบว่ากะลามะพร้าวนั้นมีองค์ประกอบของธาตุ เช่น SiO_2, K_2O, CaO, TiO_2 และ ZnO จากนั้นทำการออกแบบสูตรแก้วโดยใช้ขี้เถ้ากะลามะพร้าวแทนสาร SiO_2, K_2O และ CaO ตามอัตราส่วนของสารดังนี้ $(55\text{-}x)B_2O_3 : 10SiO_2 : 15K_2O : 5CaO : 15Bi_2O_3 : xCoO$ ร้อยละโดยโมล เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของ CoO มีค่า 8 10 12 14 และ 16 ร้อยละโดยโมล ทำการหลอมแก้วโดยมีขั้นตอนการหลอมแก้วโดยการนำส่วนผสมที่เตรียมไว้ใส่เบ้าหลอม นำเข้าเตาไฟฟ้าโดยให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นเปิดฝาเตานำเอาเบ้าหลอมออกจากเตาเผาและเทน้ำแก้วเหลวลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ ทิ้งไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากผ่านไป 3 ชั่วโมง จึงปิดเตาไฟฟ้ารอจนอุณหภูมิถึงอุณหภูมิห้องจึงนำแก้วออกจากเตา จากนั้นนำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปขัดให้มีขนาด 1.0 × 1.5 × 0.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของแก้วได้แก่ ค่าความหนาแน่น และค่าความแข็ง ผลการทดลองพบว่าค่าความแข็งของแก้วตัวอย่างมีความเข้มข้นของ CoO เท่ากับ 8, 10 และ 12 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าความแข็งเท่ากับ 6.5 โมห์สเกล ซึ่งเทียบได้กับเฟล์ดสปาร์ ค่าดังกล่าวมีค่าสูงกว่าวัสดุแก้วทั่วไปในตลาด แต่ก็ยังมีค่าน้อยกว่าค่าความแข็งของนิลจริง ส่วนแก้วที่มีความเข้มข้นของ CoO เท่ากับ 14 และ 16 ร้อยละโดยโมล จะมีค่าความแข็งเท่ากับ 7.5 โมห์สเกล ค่าความแข็งดังกล่าวมีค่าเท่ากับนิลจริง ค่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ CoO แก้วที่เติม CoO ทุกความเข้มข้นมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับนิลจริงในธรรมชาติ

5.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงบรายได้จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ประจำปีงบประมาณ 2567 ภายใต้โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นเลิศทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2567

6.เอกสารอ้างอิง

[1] Sudha, R., Aarthee, V., Oviya, I., Seetha, M., Shanmugapriya, L. (2019). *Investigation on glass beads and coconut shell as partial replacement of coarse aggregate in cement concrete*, Mukt Shabd Journal, Vol. 8 (5), pp. 45-50.

[2] Rajesh, D. H., Ramachandra, K. C., Ravikumar, G. R., Pavankumar, K. K. (2019). *Study the mechanical properties of e-glass fiber and coconut shell particles in epoxy resin, International Research Journal of Engineering and Technology* (IRJET), Vol. 6 (5), pp. 113-116.

[3] Naresh, K., Ganga, D. V., Raju, P. M., Avinash, P., and Rambabu, G. (2017). *A Study on Compressive Strength of Concrete by Partial Replacement of Coarse Aggregate with Coconut Shell and with Addition of Fiber*, International Journal of Civil Engineering Research, Vol. 8 (1), pp. 57-68.

[4] Tajamul, M., Bilal, M., Mohd, A. D. and Nazeer, B. (2016). *Coconut shell and Waste Glass based Concrete - A comparative Study, International Journal of Engineering Development and Research*, Vol. 4 (1), pp. 359-37.

[5] Yonphan, S., Srisittipokakun, N. and Kaewkhao, J. (2021). *Physical and Optical Properties of CuO doped in Glasses Prepared from Rice Husk Ash in Suphan Buri Province, Thailand*, Journal of Physics: Conference Series, doi:10.1088/1742-6596/2013/1/012002

[6] Abdelghany, A. M., El-Damrawi, G., Oraby, A. H. and Madshal, M. A. (2018). *Optical and FTIR structural studies on CoO-doped strontium phosphate glasses*, Journal of Non-Crystalline Solids, Vol 499, pp. 153–158.

[7] Fayad, A. M., Shaaban, Kh. S., Abd-Allah, W. M. and Ouis, M. (2020). *Structural and Optical Study of CoO Doping in Borophosphate Host Glass and Effect of Gamma Irradiation*, Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, Vol 30, pp. 5042–5052.

[8] Gem and Jewelry Institute of Thailand. (2020). *Trends in the world's artificial gemstone jewelry market between year 2020 – 2027*. https://infocenter.git.or.th/business-news/business-news-20200918-1-2-3. (In Thai)

[9] Department of Mineral Resource. (2024). *Black spinel properties*. https://www.dmr.go.th/spinel/. (In Thai)