การรีไซเคิลแก้วด้วยไมโครเวฟเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับงานหัตกรรมแก้วสีระดับวิสาหกิจชุมชน

วินัท วงษ์แหวน[1,2], ภัทรวจี ยะสะกะ[1,2*] และ กิติพันธ์ บุญอินทร์[1,2]

[1]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
*pyasaka@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายมุ่งเน้นไปที่การนำเศษแก้วเหลือใช้นำกลับมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับงานหัตกรรมแก้วสี โดยใช้ไมโครเวฟเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างงาน สร้างอาชีพและสร้างรายได้ให้กับคนว่างงานในชุมชนทั้งในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัด เนื่องจากไมโครเวฟเป็นอุปกรณ์ที่สะดวกต่อการจัดหาและจัดเป็นนวัตกรรมการสร้างความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งเหมาะสำหรับการนำมาใช้กับวัสดุประเภทแก้วที่เป็นวัสดุที่มีจุดหลอมเหลวสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยนั้นได้ออกแบบการทดลองในการหาเวลาและหน่วยกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการรีไซเคิลเศษแก้วโดยใช้ไมโครเวฟเพื่อเป็นการลดต้นทุนจากการบริโภคไฟฟ้าเกินความจำเป็นจากตัวอุปกรณ์ นอกจากนี้ผู้วิจัยนำตัวอย่างที่ได้มาศึกษาและตรวจสมบัติต่างๆ อาทิเช่น ความหนาแน่น, ดรรชนีการหักเหแสง, ความแข็ง และ การส่องผ่าน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณภาพที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปเป็นวัตุดิบในการประยุกต์ใช้งานหัตกรรมแก้วสี

คำสำคัญ: รีไซเคิล ไมโครเวฟ แก้ว งานหัตกรรม

Recycle glass by microwave as raw material for community-colored glass handcrafts

W. Wongwan[1,2], P. Yasaka[1,2*] and K. Boonin[1,2]

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

Abstract

The aim of this research is to recycle waste glass to be used as raw material for colored glass handicrafts using microwaves as a way to create jobs for unemployed people in various communities. In this work, the microwave is used as a high-efficiency heating device suitable for glass, which is a material with a high melting point. The researcher designed an experiment to determine the optimum time and power unit for waste glass recycling in order to control the cost of producing raw materials for colored glass. In addition, the researcher has studied properties, density, refractive index, hardness, and transmission to be analyzed to find the most suitable quality to be used as raw materials in the application of colored glass handicrafts.

Keywords: Recycle, Microwave, Glass, handcrafts

1. บทนำ

ในปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของประชากรและการขยายตัวของชุมชนเมืองส่งผลให้ขยะมูลฝอยต่อวันนั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากการนำขยะเหล่านี้มารีไซเคิลนั้นจึงเป็นที่นิยมเพื่อเป็นการลดปริมาณขยะที่จะถูกกำจัดและช่วยลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะขยะมูลฝอยประเภทแก้วที่มีคุณสมบัติคือสามารถนำเข้าสู่กระบวนการล้างแล้วนำกลับมาใช้ได้ใหม่ (Reuse) และแม้แต่บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากแก้วที่แตกแล้วนั้นสามารถรีไซเคิล (Recycle) นำมาหลอมและขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ใหม่ช่วยลดปริมาณ (Reduce) ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าและใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดและคุ้มค่ามากที่สุด [1,2]

แก้ว (Glass) เป็นวัสดุที่มนุษย์รู้จักและนำมาใช้ประโยชน์มานานกว่า 5,000 ปี เริ่มจากชาวอียิปต์นำแก้วมาทำเป็นลูกปัดและพลอยเทียมเพื่อใช้บนเครื่องประดับ และนำมาทำเป็นขวดหรือถ้วยขนาดเล็กเพื่อใช้เป็นภาชนะบรรจุ ในยุคโรมันแก้วถูกนำมาทำเป็นภาชนะและของใช้ในครัวเรือนสำหรับชีวิตประจำวันมากขึ้น และเป็นที่นิยมในยุคต่อมาจนถึงปัจจุบัน แก้วเป็นของแข็งที่ประกอบด้วยอะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่รวมกันโดยไม่มีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ หรือที่เรียกว่า อสัณฐาน (Amorphous) เตรียมได้จากการหลอมสารอนินทรีย์ที่อุณหภูมิสูง จนวัตถุดิบหลอมเป็นน้ำแก้วอยู่ในสถานะเป็นของเหลว จากนั้นถูกขึ้นรูปและทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วจนองค์ประกอบของโครงสร้างแก้วไม่มีเวลาเพียงพอที่จะเรียงตัวให้เป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบ โดยของแข็งที่ได้จากการขึ้นรูปจากแก้วหลอมมีลักษณะเป็นของแข็งที่ไม่มีผลึก ซึ่งลักษณะทั่วไปของแก้วก็คือ มีลักษณะโปร่งใส มีความแข็งแต่เปราะ ทำให้แตกหักง่าย เป็นตัวนำไฟฟ้าไม่ดีที่อุณหภูมิห้อง แต่จะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่

ดีเมื่อมีอุณหภูมิสูง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสมบัติของแก้วจะเปลี่ยนไปทั้งลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี และสามารถทำให้หลอมละลายได้ด้วยความร้อน และด้วยเหตุผลที่ว่าแก้วนั้นสามารถหลอมละได้ด้วยความร้อนนั้นการนำไมโครเวฟมาใช้รีไซเคิลเศษแล้วนั้นจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเนื่องจากการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นนวัตกรรมการสร้างความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งคลื่นไมโครเวฟนั้นจะเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนและส่งผลให้เศษแก้วนั้นละลายและสามารถนำไปขึ้นรูปใหม่ตามความต้องการของผู้ผลิตได้ [3-5]

จากเหตุผลดังข้างต้นผู้วิจัยจึงได้เห็นแนวทางและความสำคัญในการนำเศษแก้วมารีไซเคิลด้วยไมโครเวฟเพื่อเป็นการลดจำนวนขยะจากเศษแก้วโดยนำไปแก้วไปหลอมใหม่และนำไปเป็นวัตถุดิบงานหัตกรรมแก้วสี ซึ่งเป็นแนวทางในการสร้างงานสร้างอาชีพให้กับผู้ที่ว่างงานในชุมชน นอกจากนี้ผู้วิจัยนำตัวอย่างที่ได้มาศึกษาและตรวจสมบัติต่างๆอาทิเช่น ความหนาแน่น, ดรรชนีการหักเหแสง, ความแข็ง และ การส่องผ่าน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณภาพที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปประยุกต์ใช้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเป็นการลดจำนวณขยะจากเศษแก้วเหลือใช้โดยนำมากลับมาใช้ใหม่ให้เป็นประโยชน์
2. เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบงานหัตกรรมแก้วสีและเป็นแนวทางในการสร้างงานสร้างอาชีพให้กับผู้ว่างงานในชุมชน

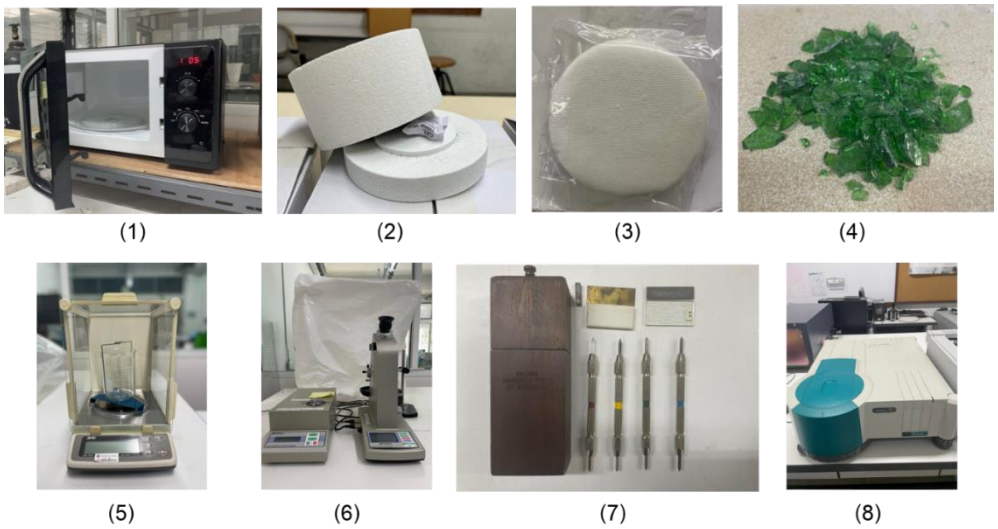
3. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

1. อัตราการบริโภคไฟที่ใช้ในการหลอมรวมเศษแก้วในไมโครเวฟ
2. ความหนาแน่น ดัชนีหักเหและความแข็ง
3. การส่องผ่านแสง

4. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 อุปกรณ์และเครื่องวัดผล

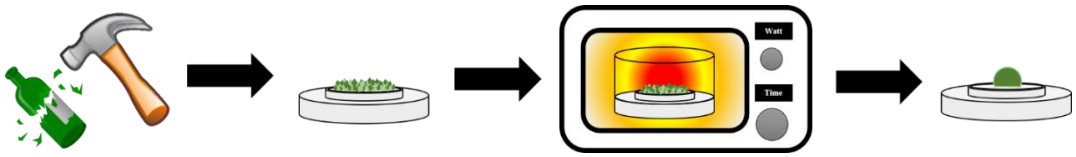
1) ไมโครเวฟ
2) Microwave Kiln
3) แผ่นอลูมินา (Alumina paper)
4) เศษแก้ว
5) เครื่องวัดความหนาแน่น (4-digit Microbalance with density kit; A&D HR-200)
6) เครื่องวัดดัชนีการหักเหแสง (Abbe refractometer; ATIGO-3T)
7) ชุดวัดความแข็ง (Deluxe Hardness Pick Set from Mineralab)
8) เครื่องวัดการส่องผ่านแสง (UV-VIS spectrophotometer; Cary-50)



ภาพที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและเครื่องวัดผล

4.2 วิธีการทดลอง

ในขั้นตอนการทดลองนั้นเริ่มจากการนำขยะแก้วมาทุบเป็นชิ้นเล็กๆ มาวางรวมกันบนแผ่นอลูมินาที่อยู่บน microwave Kiln หลังจากนั้นปิดฝาของ microwave Kiln และนำเข้าไมโครเวฟเพื่อทำการหลอมรวมกัน โดยทำการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการหลอมตั้งแต่ 1,2,3,4,5 และ 6 นาทีที่หน่วยกำลังไฟ 800 วัตต์ดังที่แสดงบนภาพที่ 2 หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปวัด ความหนาแน่น ดัชนีการหักเหแสง ความแข็ง และการส่องผ่านแสงเพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณภาพที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบงานหัตกรรมแก้วสี



นำเศษแก้วมาทุบเป็นชิ้น | นำเศษแก้วมาวางบน microwave Kiln | หลอมด้วยไมโครเวฟในเวลาที่แตกต่างกัน | นำตัวอย่างไปวิเคราะห์สมบัติ

ภาพที่ 2 แผนผังกระบวนการรีไซเคิลแก้วด้วยไมโครเวฟเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับงานหัตกรรมแก้วสี

4.3 วิธีการวัดผล

1) ความหนาแน่น วิธีที่ใช้ในการหาค่าความหนาแน่น (ρ) ของตัวอย่างนั้นสามารถคำนวณหาได้จากหลักการของอาร์คีมีดิส (Archimedes's principle) โดยทำการชั่งน้ำหนักของแก้วตัวอย่างแต่ละชิ้นในอากาศ (w_a) และชั่งในน้ำ (w_w) นำมาคำนวณหาความหนาแน่นดังสมการ

$$\text{ความหนาแน่นของตัวอย่าง} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างในอากาศ}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างในอากาศ} - \text{น้ำหนักของตัวอย่างในน้ำ}} \times \text{ความหนาแน่นของน้ำ} \quad (1)$$

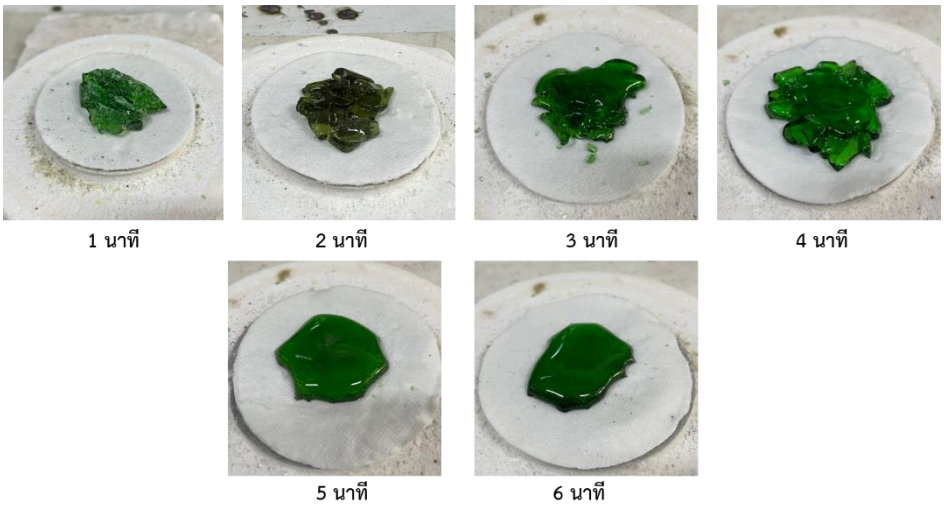
2) ดัชนีการหักเหแสง สามารถวิเคราะห์ได้จากเครื่อง Abbe refractometer; ATIGO-3T โดยนำตัวอย่างแก้วที่ได้ไปวางบนเครื่องโดยตัวอย่างต้องมีความเรียบและใสหลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบกับแก้วมาตราฐานที่ทราบค่าดัชนีหักเหที่แน่นอนคือ 1.5162 จดบันทึกค่าที่ได้เพื่อนำไปคำนวณหาค่าดรรชนีหักเหเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3) ความแข็ง เป็นการวิเคราะห์ความแข็งของตัวอย่างโดยใช้ชุดวัดความแข็ง Deluxe Hardness Pick Set from Mineralab ซึ่งในชุดวัดนี้จะมีอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับขูดกับตัวอย่างให้เกิดรอยซึ่งหัวขูดจะมีค่าความแข็งกำหนดอยู่ตั้งแต่ 2-10 โดยวิธีการวัดความแข็งของตัวอย่างนั้นทำได้จาก นำหัวขูดมาขูดที่ตัวชิ้นงานโดยเริ่มตั้งแต่หัวขูดที่มีความแข็งน้อยที่สุด โดยค่าความแข็งของตัวอย่างนั้นจะตรงกับหัวขูดที่สามารถทำให้ตัวอย่างนั้นเกิดรอยได้

4) การส่องผ่านแสง เป็นการวิเคราะห์ที่ใช้หลักการการดูดของกลืนแสงประกอบโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล-เนียร์อินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่สามารถตรวจวัดได้ในช่วงอินฟาเรดใกล้ ซึ่งจะเป็นลำแสงคู่ (double beam) ที่ออกแบบสำหรับการแก้ปัญหาในการวัดตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ในกลุ่มอิเลคทรอนิคส์ เช่น silicon wafer หรือ semiconductor ซึ่งสามารถวัดตัวอย่างได้โดยตรงและยังใช้ วัดการดูดกลืนแสง (absorbance) การส่องผ่าน (transmittance) และการสะท้อน (reflectance) ของชิ้นงานตัวอย่างได้ซึ่งวิธีการนำแก้วไปทดสอบด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลเนียร์อินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 200 – 750 นาโนเมตรโดยนำแก้วตัวอย่างเข้าในเครื่องดังกล่าว เพื่อตรวจสอบและบันทึกผล และนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูล

5. ผลการทดลอง

จากการทดลองรีไซเคิลเศษแก้วเหลือใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบงานหัตกรรมแก้วสีโดยใช้ไมโครเวฟในการให้ความร้อนในเวลาที่แตกต่างกัน โดยเวลาในการหลอมที่ 1 นาทีนั้นพบว่าตัวเศษแก้วนั้นยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ เวลาในการหลอมที่ 2 นาทีพบว่าตัวอย่างนั้นเริ่มเกิดการละลายเพียงเล็กน้อย เวลาในการหลอมที่ 3 นาทีพบว่าเศษแก้วบางส่วนนั้นละลายและเกิดการรวมตัวกันในบางตำแหน่งเช่นเดียวกันกับเวลาในการหลอมที่ 4 นาทีส่วนเวลาในการหลอมที่ 5 และ 6 นั้นพบว่าเศษแก้วทั้งหมดเกิดการละลายและหลอมตัวรวมกันเป็นเนื้อเดียวดังที่แสดงบนภาพที่ 3 หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปตัดขัดให้ได้ขนาด 10x 15x 3 มิลลิเมตรเพื่อจะนำไปวัดสมบัติต่างๆ โดยยกเว้นตัวอย่างที่ใช้เวลาในการหลอม 1 และ 2 นาทีเนื่องตัวอย่างทั้ง 2 นั้นยังไม่มีตำแหน่งของเศษแก้วที่หลอมรวมกัน



ภาพที่ 3 ลักษณะของเศษแก้วที่หลอมด้วยไมโครเวฟในเวลาที่แตกต่างกัน

5.1 อัตราการบริโภคไฟ

จากการศึกษาอัตราการบริโภคไฟในกระบวนการรีไซเคิลเศษแก้วโดยใช้ไมโครเวฟในเวลาที่แตกต่างกัน จากสูตรคำนวณจำนวณหน่วยค่าไฟดังสมการที่ (1) ซึ่งจากการคำนวณพบว่าจำนวนหน่วยการบริโภคไฟในกระบวนการรีไซเคิลเศษแก้วด้วยไมโครเวฟในเวลาแตกต่างกันอยู่ที่ช่วง 0.040 – 0.080 ยูนิตดังตารางที่ 1 [6]

$$\frac{\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)}}{1000} \times \text{จำนวนเวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)} = \text{จำนวนหน่วยต่อครั้ง (ยูนิต)} \quad (2)$$

ตารางที่ 1 อัตราการบริโภคไฟในกระบวนการรีไซเคิลเศษแก้วด้วยไมโครเวฟในเวลาที่แตกต่างกัน

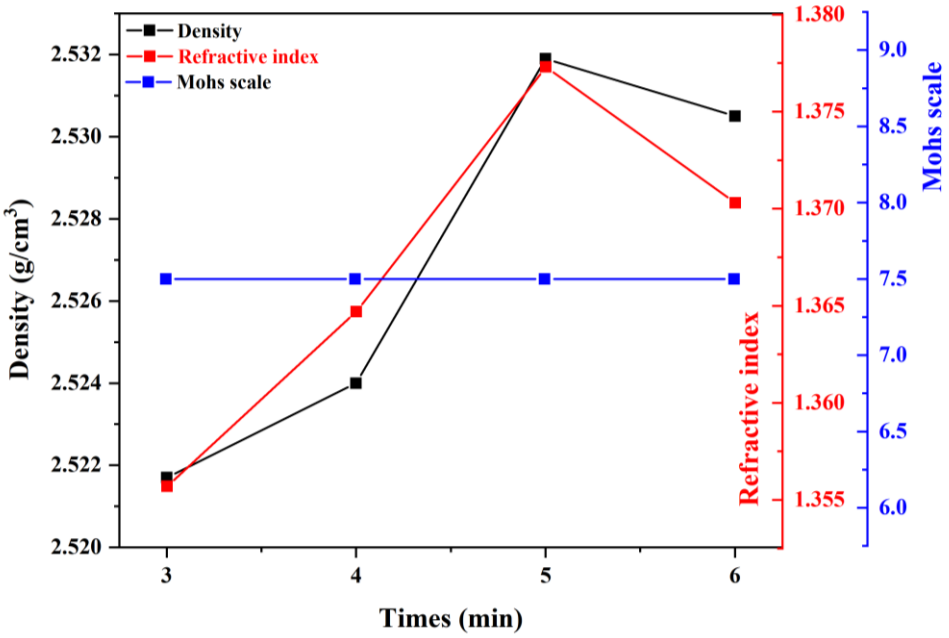
เวลาที่ใช้(นาที)	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	จำนวนหน่วย (ยูนิต)
3	0.050	800	0.040
4	0.067	800	0.054
5	0.083	800	0.066
6	0.100	800	0.080

5.2 ความหนาแน่น ดัชนีการหักเหแสงและความแข็ง

ผลจากการศึกษาค่าความหนาแน่นและดัชนีการหักเหแสงของตัวอย่างจากเศษแก้วที่หลอมด้วยไมโครเวฟดังที่แสดงบนตารางที่ 2 และภาพที่ 4 พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการหลอมด้วยไมโครเวฟเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 3-5 นาทีจนกระทั้งถึงเวลาในการหลอมที่ 6 นาทีพบว่าความหนาแน่นของตัวอย่างมีค่าลดลงโดยค่าความหนาแน่นของตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5217± 0.0016 ถึง 2.5319± 0.0005 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) เช่นเดียวกับค่าดัชนีการหักเหแสงของตัวอย่างที่มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั้งถึงเวลาในการหลอมที่ 6 นาทีที่มีค่าลดลงเนื่องจากเมื่อเวลาในการหลอมเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิสะสมภายในเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกันและทำให้ตัวอย่างนั้นอาจจะมีความเหลวจนเกินไปจึงส่งผลให้โมเลกุลของโครงข่ายแก้วนั้นจับตัวกันอย่างหลวมๆจึงทำให้เกิดช่องว่างภายในแก้วและส่งผลให้ความหนาแน่นของตัวอย่างนั้นลดลง [7] และค่าดัชนีการหักเหแสงของตัวอย่างทั้งหมดมีค่าระหว่าง 1.3557± 0.0033 ถึง 1.3773± 0.0048 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนค่าความแข็งของตัวอย่างจากการวัดแบบใช้โมห์สเกล (Mohs Scale) พบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความแข็งเท่ากับ 7.5 โมห์สเกซึ่งเทียบเท่ากับแร่ควอตซ์หรือพวกพลอยเนื้ออ่อน ซึ่งแร่ที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้เป็นอัญมณีหรือเครื่องประดับนั้นจะมีความแข็งมากกว่า 7 โมห์สเกยกเว้นแร่ที่แข็งน้อยกว่าแต่มีคุณสมบัติที่จะนำมาเป็นอัญมณีได้ ก็คือ มีความสวยงามที่โดดเด่น และเป็นที่นิยมตามแฟชั่น [8]

ตารางที่ 2 ความหนาแน่น ดัชนีหักเหและความแข็งของเศษแก้วที่หลอมรวมกันด้วยไมโครเวฟที่เวลาแตกต่างกัน

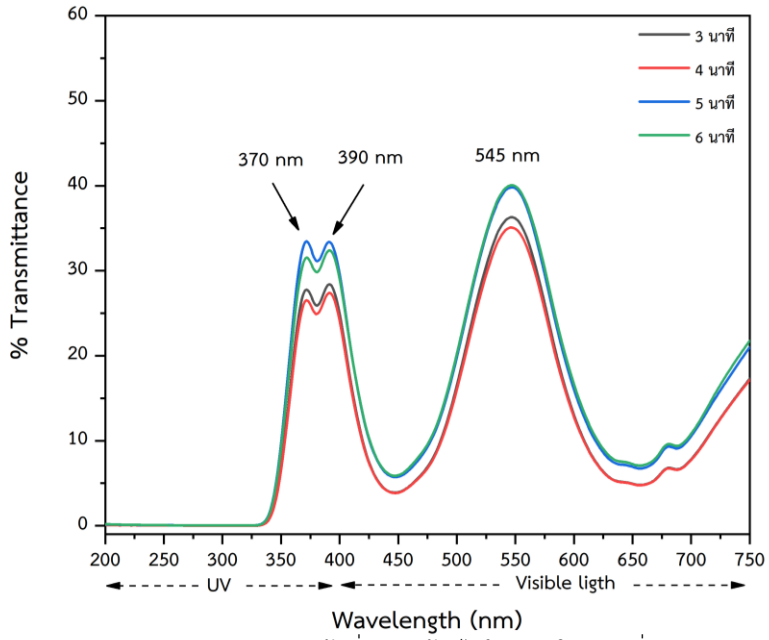
เวลาที่ใช้ในการหลอม/นาที	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ดัชนีการหักเหแสง	ความแข็ง (Mohs scale)
3	2.5217± 0.0016	1.3557± 0.0033	7.5
4	2.5240± 0.0005	1.3647± 0.0024	7.5
5	2.5319± 0.0005	1.3773± 0.0048	7.5
6	2.5305± 0.0004	1.3703± 0.004	7.5



ภาพที่ 4 ความหนาแน่น ดัชนีหักเหและความแข็งของเศษแก้วที่หลอมรวมกันด้วยไมโครเวฟที่เวลาแตกต่างกัน

5.3 การส่องผ่านแสง

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมการส่องผ่านแสงในช่วง 200 – 700 นาโนเมตร (nm) ของตัวอย่างจากเศษแก้วที่หลอมด้วยไมโครเวฟในเวลาที่แตกต่างกันที่แสดงในภาพที่ 5 สังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจน 3 พีคที่ตำแหน่ง 370, 390 และ 545 นาโนเมตรซึ่งในตำแหน่งที่ 370 และ 390 นั้นเป็นการส่องผ่านของรังสีอัลตราไวโอเลตชนิด UVA (Long wave UVR หรือ Black light) และในตำแหน่งที่ 545 เป็นสเปกตรัมการส่องผ่านแสงในช่วงแสงที่ตามองเห็น (visible light) ในย่านสีเขียว ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของตัวอย่างที่มองเห็นจากตาเปล่าและสอดคล้องกับสเปกตรัมการส่องผ่านของธาตุโครเมียม (Chromium) ในกลุ่มโลหะทรานซิชั่นที่มีสมบัติในการให้สีเขียวกับแก้ว [9] โดยที่สเปกตรัมความเข้มของแสงที่ส่องผ่านของตัวอย่างที่หลอมในเวลา 5 กับ 6 นาทีนั้นสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้เวลาในการหลอมที่ 3 และ 4 นาที



ภาพที่ 5 สเปกตรัมการส่องผ่านแสงของตัวอย่างจากเศษแก้วที่หลอมด้วยไมโครเวฟในเวลาที่แตกต่างกัน

6. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองรีไซเคิลเศษแก้วเหลือใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบงานหัตกรรมแก้วสีโดยใช้ไมโครเวฟในการให้ความร้อนในเวลาที่แตกต่างกันพบว่าอัตราหน่วยการบริโภคไฟฟ้าในกระบวนการต่อตัวอย่างนั้นอยู่ที่ 0.040 – 0.080 ยูนิตซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่ายอยู่ที่ประมาณ 0.17 – 0.35 บาทต่อตัวอย่าง จากการศึกษาลักษณะและสมบัติต่างๆของตัวอย่างนั้นพบว่าค่าความหนาแน่นและดัชนีการหักเหแสงของตัวอย่างนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั้งถึงเวลาที่ 6 นาทีความหนาแนนและดัชนีการหักเหแสงของตัวอย่างนั้นลดลง ส่วนค่าความแข็งของตัวอย่างพบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความแข็งเท่ากับ 7.5 โมห์สเกลซึ่งเทียบเท่ากับแร่ควอตซ์หรือพวกพลอยเนื้ออ่อนซึ่งเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องประดับ และจากการศึกษาสมบัติการส่องผ่านแสงของตัวอย่างในช่วง 200 – 700 นาโนเมตรหรือในช่วงยูวีถึงช่วงแสงที่ตามองเห็นโดยพบว่าสเปกตรัมความเข็มของแสงที่ส่องผ่านในช่วงที่ตามองเห็นของตัวอย่างที่ใช้เวลา 5-6 นาทีนั้นสูงสุดซึ่งหมายความว่าตัวอย่างที่ใช้เวลาหลอมที่ 5-6 นาทีนั้นมีความใสสูงกว่าเวลาก่อนหน้าและจากการศึกษาสมบัติต่างๆของตัวอย่างพบว่าเวลาที่เหมาะสมในการนำเศษแก้วมารีไซเคิลโดยใช้ไมโครเวฟเพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับงานหัตกรรมแก้วสีระดับวิสาหกิจชุมชุนคือ 5-6 นาที

7. กิติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่อำนวยความสะดวกและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย

8. อ้างอิง

[1] Thepkraiwan, P., Naipinit, A., Nakapaksin, S., & Sricharoen, T. (2020). Supply Management of Cullet Glass Bottle Processing Plant for Recycling. NEU ACADEMIC AND RESEARCH JOURNAL, 10(1), 19–33. Retrieved from https://so04.tci-thaijo.org/index.php/neuarj/article/view/224137

[2] Nonthaphong Phonphuak. (2021). Development of clay brick process with glass cullet addition. Science and Technology Journal of Sisaket Rajabhat University, 1(2), 1–11. Retrieved from https://li01.tci-thaijo.org/index.php/STJS/article/view/249043

[3] Glass material science and technology information service. (1997-2002). meaning of glass. Retrieved on 20 March 2023 from http://www2.mtec.or.th

[4] Patarawagee Yasaka. (2018). Synthesis and Properties of Zinc Aluminium Bismuth Borate Glasess Doped with Sm_2O_3. NPRU National Academic Conference, 9, 106-113.

[5] Rittichai Assavarachan. (2016). Drying agricultural products by microwave. Kasem Bundit Engineering Journal, 1(2), 31 -42.

[6] Sudarat Suriwong. (2018). A study of the cost-effectiveness of installing LED light bulbs to replace fluorescent light bulbs. Master's thesis Department of Business Economics, Economics, Sukhothai Thammathirat Open University.

[7] Nattapon Srisittipokakun. (2015). Study on Physical Properties of Soda Lime Borate Glasses Doped with Cobalt Ions. NPRU National Academic Conference, 7,1803.

[8] Saisamorn Niyomsuan. (2018). Alumina Thin Film Coating Project by Magnetron Sputtering Technique. to improve Soft gem quality. Chanthaburi: Faculty of Gemology, Burapha University Chanthaburi Campus.

[9] M. A. Hassan, F. Ahmad, and Z. M. A. El-fattah, (2018). “SC” *J. Alloys Compd*,