การพัฒนาวัสดุแก้วโดยใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลา

สมบูรณ์ คืนชัยภูมิ[1,2] และ วัชรินทร์ ราชนิยม[1,2*]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์
* watcharinratniyom601@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาวัสดุแก้วโดยใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลา จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลา พบว่ามีปริมาณของ CaO เป็นองค์ประกอบหลัก จากนั้นผู้วิจัยได้ออกแบบสูตรแก้วที่จะใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลาเป็นส่วนหนึ่งในสูตรโครงสร้างแก้ว โดยประกอบด้วย SiO_2 B_2O_3 Na_2O CaO และ ZnO ตามอัตราส่วนดังต่อไปนี้ $45B_2O_3$: $5SiO_2$: $20Na_2O$: (25-x)CaO: 5ZnO ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยเติมขี้เถ้าไม้ยางพารา ที่ x = 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 ร้อยละโดยน้ำหนัก จากนั้นทำการหลอมแก้วในเตาหลอมไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1200 องซาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ต่อมานำแก้วที่หลอมได้เทลงสเตนเลสโมลด์โดยใช้วิธีการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว (normal melt-quenching technique) และอบที่อุณหภูมิ 500 องซาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง จากการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่าง พบว่าค่าความหนาแน่น และค่าดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา ด้านการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400 – 2,000 นาโนเมตร พบพีคของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 460 และ 1,052 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนชั้นพลังงานจากชั้น $^6A_{1g}$ (S) $\rightarrow$ $^4T_{2g}$ (G) และ $^5E(D) \rightarrow {}^5T_2(D)$ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ขี้เถ้าไม้ยางพารา โรงไฟฟ้าชีวมวล องค์ประกอบทางเคมี แก้ว จังหวัดยะลา

Development of glass materials using rubber wood ashes from a biomass power plant in Yala Province

Sombun Khuenchaiphum [1,2] and Watcharin Rachniyom[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
* watcharinratniyom601@hotmail.com

Abstract

The objective of this research is to develop glass materials using rubber wood ashes from biomass power plants in Yala Province. From the analysis of the chemical composition of rubber wood ash from the biomass power plant in Yala Province. It was found that the amount of CaO was the main component. The researcher then designed a glass formula that uses rubber wood ash from biomass power plants in Yala Province as part of the glass structure formula. It consists of SiO_2, B_2O_3, Na_2O, CaO and ZnO according to the following ratios: $45B_2O_3$: $5SiO_2$: $20Na_2O$: (25-x)CaO: 5ZnO percentage by weight. By adding rubber wood ash at x = 0, 5, 10, 15, 20 and 25 percent by weight. Then melt the glass in an electric furnace at 1200 ℃ for 3 h. After that, the molten glass was poured into a stainless-steel mold using the normal melt-quenching technique and annealed at 500 ℃ for 3 hours and then allowed to cool to room temperature. The density and the refractive index of the glass samples tended to decrease with increasing amount of rubber wood ash. In terms of absorbance analysis in the wavelength range 400 – 2,000 nm, it was found that the absorbance peak at wavelengths around 460 and 1,052 nm was caused by changing the energy level from $^6A_{1g}$ (S) $\rightarrow$ $^4T_{2g}$ (G) and $^5E(D) \rightarrow {}^5T_2(D)$, respectively.

Keywords: Rubber wood ashes, Biomass power plants, Chemical composition, Glass, Yala Province

1. บทนำ

ปี 2564-2566 ธุรกิจผลิตไฟฟ้าภาคเอกชนมีแนวโน้มเติบโตดี ตามความต้องการใช้ไฟฟ้าในประเทศที่คาดว่าจะขยายตัวเฉลี่ย 2.8-3.8% ต่อปี รวมถึงนโยบายสนับสนุนการลงทุนภาครัฐตามแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าและแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก [1] โดยกลุ่มโรงไฟฟ้าที่คาดว่าจะมีการลงทุนขยายตัวเร่งขึ้น ได้แก่ โครงการพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคาภาคประชาชน โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวล (โรงไฟฟ้าชุมชนและโรงไฟฟ้าชีวมวลประชารัฐภาคใต้) ก๊าซชีวภาพ (โรงไฟฟ้าชุมชน) และขยะ เนื่องจากเป็นกลุ่มเป้าหมายที่ภาครัฐมีแผนรับซื้อไฟฟ้าในปี 2564-2567 อีกทั้งเป็นกลุ่มที่มีศักยภาพการแข่งขันทั้งด้านต้นทุนและแหล่งวัตถุดิบ ด้านการแข่งขันของธุรกิจมีแนวโน้มรุนแรงขึ้น จากการขยายการลงทุนต่อเนื่องของผู้ประกอบการรายใหญ่ และการลงทุนผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจากผู้ประกอบการรายใหม่ ส่งผลให้รายได้ของ

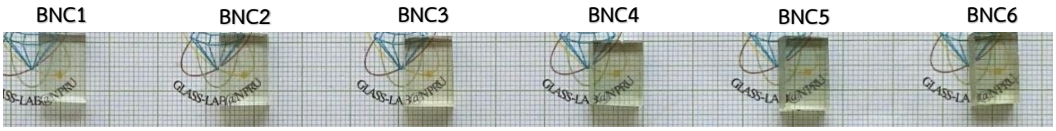
ธุรกิจโดยรวมเติบโตในระดับปานกลาง โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นหนึ่งในกลุ่มโรงไฟฟ้าที่คาดว่าจะมีการลงทุนขยายตัวมากขึ้น ทั้งนี้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นมักมีขี้เถ้าที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้ กลายเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กมหาศาลในบรรยากาศ ทำลายสภาพแวดล้อมอย่างมาก และเกิดปัญหาต่อเนื่องต่อคุณภาพชีวิตในด้านต่างๆ ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาของคณะผู้วิจัยสามารถเตรียมแก้วจากขี้เถ้าเหลือใช้จากการเกษตรได้สำเร็จ เช่น แกลบ อ้อย และ ปาล์ม สามารถนำมาเตรียมเป็นวัสดุแก้วได้ [2-5] ดังนั้นการใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลามาเป็นส่วนผสมในโครงสร้างแก้ว อาจนำไปสู่การพัฒนากระบวนการการใช้ขยะเหลือทิ้งในอนาคตได้ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของสิ่งที่เหลือใช้อย่างแท้จริง

แก้วบอเรต (borate glass) เป็นแก้วที่มีความน่าสนใจ อันเนื่องจากสามารถจับตัวกันเป็นโครงสร้างแบบสามเหลี่ยม BO_3 และโครงสร้างเตตระฮีดรอล BO_4 ซึ่งการจับโครงสร้างในลักษณะนี้จะมีความเสถียรค่อนข้างมาก อีกทั้งยังหลอมได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแก้วซิลิเกต แต่ด้วยราคาของแก้วบอเรตนั้นมีต้นทุนที่สูงกว่าแก้วซิลิเกต ในการนำไปใช้งานจึงสามารถใช้ซิลิเกต (SiO_2) เข้ามาเป็นโครงสร้างของแก้วได้ ในงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ขี้เถ้าแต่ละชนิดมันพบว่าองค์ประกอบธาตุในขี้เถ้ามักมีสารอื่นที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นในงานวิจัยจึงนิยมใส่โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอมในกลุ่มของ Glass modifiers เพื่อช่วยลดอุณหภูมิการหลอมที่เราเรียกว่า ฟลักซ์ (flux) อีกทั้งยังนิยมใส่แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการขึ้นรูปทำให้แก้วคงตัว (set) เร็วขึ้นเมื่อเย็นลง และเพิ่มความทนต่อสารเคมี จัดอยู่ในกลุ่มของ Glass modifiers และการใส่ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) จะเป็นสารที่ช่วยเพิ่มค่าดัชนีหักเหของแก้วให้สูงขึ้นโดยไม่ทำให้เกิดสี

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมแก้วโดยใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลาเป็นส่วนผสมในโครงสร้างแก้ว ศึกษาผลของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลาที่มีผลต่อการเตรียมแก้ว จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห และการดูดกลืนแสง เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการต่อยอดในอนาคต

2. วิธีการทดลอง

ผู้วิจัยลงพื้นที่เก็บตัวอย่างขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลในจังหวัดยะลาแล้วทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าไม้ยางพารา โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence-EDXRF) ของบริษัท Panalytical รุ่น Minipal-4 จากนั้นออกแบบสูตรแก้วที่ใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราเป็นส่วนหนึ่งในสูตรโครงสร้างแก้ว โดยสูตรแก้วดังกล่าวประกอบด้วย SiO_2 B_2O_3 Na_2O CaO และ ZnO ตามอัตราส่วน $45B_2O_3$: $5SiO_2$: $20Na_2O$: (25-x)CaO: 5ZnO ร้อยละโดยน้ำหนัก (ใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลาแทนที่ CaO) เมื่อ x คือ ปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ใส่เข้าไปแทนที่ CaO มีค่า 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยจะแทนด้วยสัญลักษณ์ BNC1-6 ตามลำดับ ทำการหลอมแก้วตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1200 องซาเซลเซียส และค้างไว้ที่อุณหภูมิหลอมเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วอบอ่อนเพื่อลดความเครียดของแก้วที่อุณหภูมิ 500 องซาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นปิดเตาให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จึงนำแก้วออกจากเตา นำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปขัดให้มีขนาด 1.0 × 1.5 × 0.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1 ตัวอย่างแก้วที่ได้จะพบว่าแก้วรหัส BNC1 จะมีลักษณะใส ส่วนแก้วรหัส BNC2 ถึง BNC6 จะมีสีออกสีเขียวอ่อน ๆ และค่อย ๆ เข้มขึ้นตามปริมาณของขี้เถ้าไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในขี้เถ้าไม้ยางพารามีส่วนประกอบของ Fe_2O_3 หลังจากนั้นจึงมาศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห และการดูดกลืนแสง โดยทำการวัดตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 1 แก้วที่ได้จากการเตรียมด้วยตัวอย่างขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลา

3. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลา พบว่ามีปริมาณของ CaO เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีปริมาณร้อยละ 53.904 โดยน้ำหนัก และยังพบการปนเปื้อนของ Fe_2O_3 ในปริมาณมากถึงร้อยละ 7.016 โดยน้ำหนัก

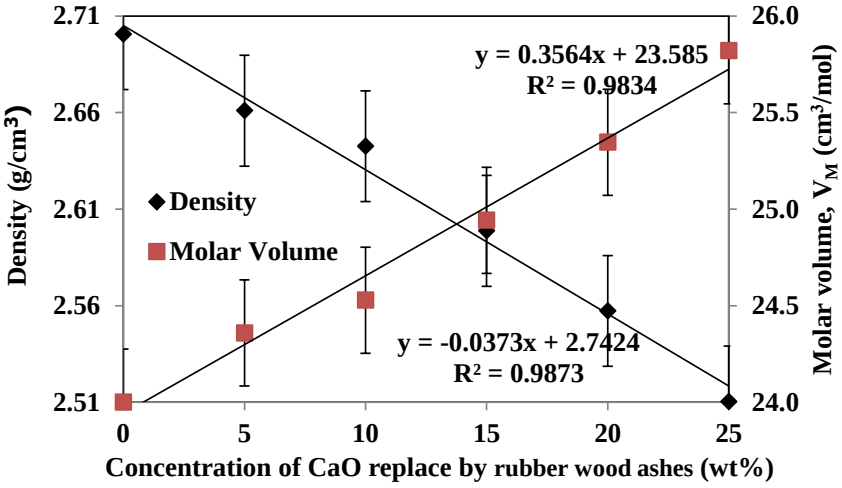
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลา

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก)							
MgO	0.587	CaO	53.904	Fe_2O_3	7.016	SrO	0.193
SiO_2	15.958	TiO_2	1.091	NiO	0.018	ZrO_2	0.112
P_2O_5	1.413	Cr_2O_3	0.022	CuO	0.044	BaO	0.187
K_2O	18.334	MnO	0.933	ZnO	0.159	PbO	0.029

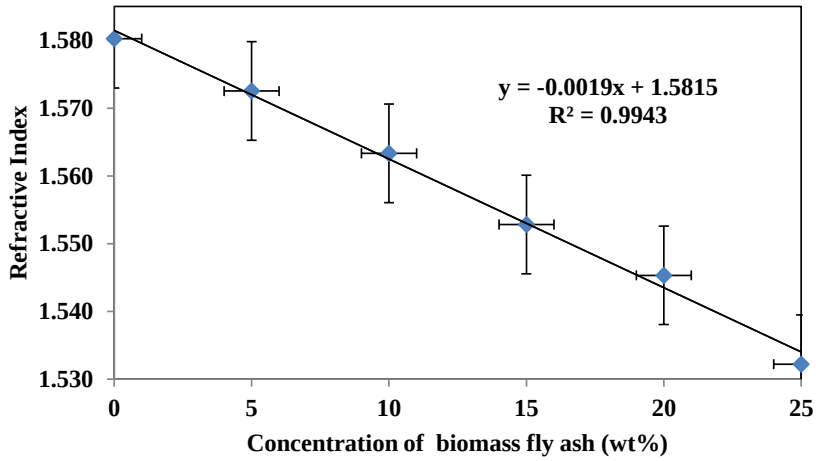
จากการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างที่เติมขี้เถ้าไม้ยางพารา ที่ x = 0 , 5 , 10 , 15 , 20 , 25 ร้อยละโดยน้ำหนัก พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5104 ± 0.0002 ถึง 2.7006 ± 0.0001 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 กราฟที่ได้จะมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9873 ในส่วนของค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5322 ± 0.0001 ถึง 1.5803 ± 0.0001 โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีไดอิเล็กตริกแบบดั้งเดิมที่ว่าค่าดรรชนีหักเหจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และสภาพการเกิดขั้วได้ของอะตอมในวัสดุ และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับกับปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3 กราฟที่ได้จะมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9943

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล และดัชนีหักเหแสงของแก้วที่เตรียมจากขี้เถ้าไม้ยางพาราในปริมาณแตกต่างกัน

ปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาตรเชิงโมล (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล)	ค่าดัชนีหักเห
0	2.7006 ± 0.0001	24.0009	1.5803 ± 0.0001
5	2.6610 ± 0.0001	24.3587	1.5725 ± 0.0001
10	2.6426 ± 0.0001	24.5285	1.5633 ± 0.0001
15	2.5988 ± 0.0001	24.9419	1.5528 ± 0.0001
20	2.5573 ± 0.0001	25.3464	1.5453 ± 0.0001
25	2.5104 ± 0.0001	25.8203	1.5322 ± 0.0001

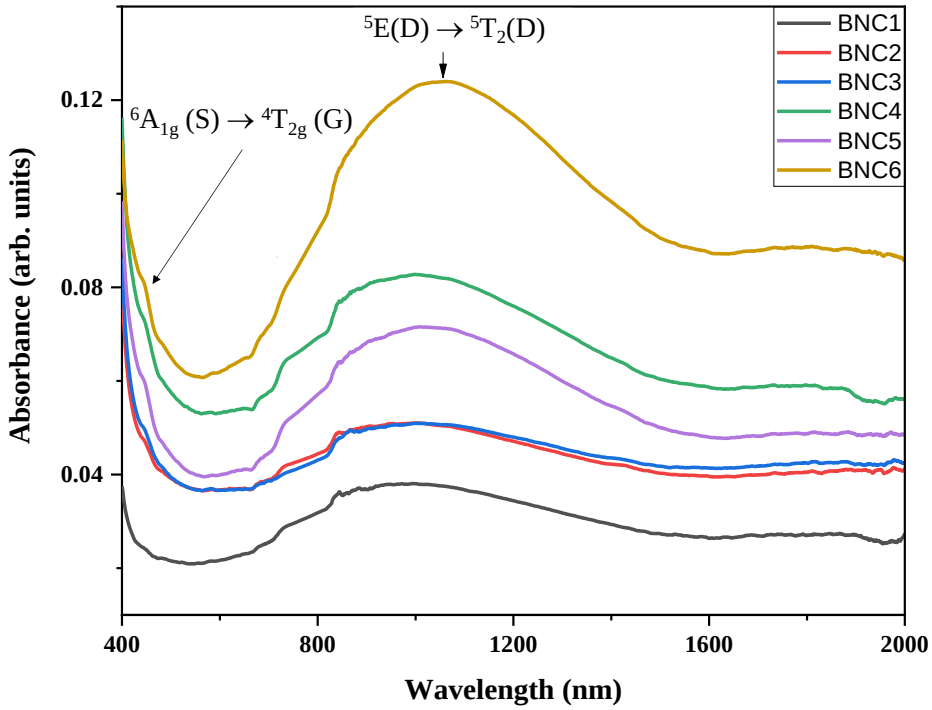


ภาพที่ 2 ค่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลของแก้วที่เตรียมจากขี้เถ้าไม้ยางพาราในปริมาณแตกต่างกัน



ภาพที่ 3 ค่าดัชนีหักเหของแก้วที่เตรียมจากขี้เถ้าไม้ยางพาราในปริมาณแตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400 – 2,000 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่างที่เติมขี้เถ้าไม้ยางพารา ที่ x = 0 , 5 , 10 , 15 , 20 , 25 ร้อยละโดยน้ำหนัก พบพีคของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 460 และ 1,052 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานจากชั้น $^{6}A_{1g}$ (S) $\rightarrow$ $^{4}T_{2g}$ (G) และ $^{5}E(D) \rightarrow {}^{5}T_{2}(D)$ ของไอออน Fe^{3+} และ Fe^{2+} ตามลำดับ [6] แสดงดังในภาพที่ 4 ซึ่งพีคการดูดกลืนดังกล่าวส่งผลทำให้แก้วเกิดสีเหลืองเล็กน้อย หากนำไปใช้งานเป็นแก้วสีอาจทำให้ควบคุมการเกิดสีได้ยาก



ภาพที่ 4 กราฟการดูดกลืนแสงของแก้วที่เติมขี้เถ้าไม้ยางพารา ในช่วงความยาวคลื่น 400-2000 นาโนเมตร

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลาแล้วจึงนำมาใช้ในกระบวนการผลิตแก้วเพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางแสงของตัวอย่างแก้ว ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ดัชนีหักเห และการดูดกลืนแสง พบว่าจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลา พบว่ามีปริมาณของ CaO เป็นองค์ประกอบหลัก และยังพบการปนเปื้อนของ Fe_2O_3 จากนั้นผู้วิจัยได้ออกแบบสูตรแก้วที่จะใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลาเป็นส่วนหนึ่งในสูตรโครงสร้างแก้ว โดยประกอบด้วย SiO_2 B_2O_3 Na_2O CaO และ ZnO แล้วทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางแสงของแก้วตัวอย่าง พบว่าค่าความหนาแน่น และค่าดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา ด้านการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400 – 2,000 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่างที่เติมขี้เถ้าไม้ยางพารา ที่ x = 0 , 5 , 10 , 15 , 20 , 25 ร้อยละโดยน้ำหนัก พบพีคของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 460 และ 1,052 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนชั้นพลังงานจากชั้น $^6A_{1g}$ (S) ⟶ $^4T_{2g}$ (G) และ $^5E(D)$ ⟶ $^5T_2(D)$ ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงบรายได้จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ประจำปีงบประมาณ 2566 ภายใต้โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นเลิศทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2566

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Gem and Jewelry Library, (2020), **Global imitation jewelry market trends for 2020 – 2027**, Retrieved February 8, 2022, from https://infocenter.git.or.th/business-news/business-news-20200918-1-2-3 (In Thai)

[2] N. Srisittipokakun, 2020, “**Development of glass formulation and determine suitable conditions for glass preparation from ashes in Suphanburi province**”, Thailand Science Research and Innovation. (In Thai)

[3] J. Kaewkhao, 2019, “**Research and Development of Glass Jewelry from Laboratory to Pilot Plant Industrial Scale**”, National Research Council Of Thailand. (In Thai)

[4] S. Yonphan, N. Srisittipokakun and J. Kaewkhao, 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,** Vol. 2013, 012002

[5] N. Srisittipokakun, Y. Ruangtaweep , W. Rachniyom, K. Boonin , J. Kaewkhao, 2017, **CuO, MnO_2 and Fe_2O_3 doped biomass ash as silica source for glass production in Thailand,** Results in Physics, Vol. 7, pp. 3449-3454

[6] N. Srisittipokakun, J. Kaewkhao, 2017, **Effect of co-doped Fe_2O_3 with MnO_2 ions in soda lime silicate glasses**, Materials Today: Proceedings, Vol. 4, pp. 6534–6539