กำลังรับแรงอัดและโครงสร้างทางจุลภาคของเพสต์จีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มน้ำมันผสมอลูมิเนียมฟอยล์

Compressive Strength and Microstructure of Palm Oil Ash Containing Aluminum Foil Geopolymer Paste

อุกฤษฏ์ โข่ศรี[1*] และ กรกนก บุญเสริม[2]

[1] *สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จ.สกลนคร*
[2] *สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา*
**Corresponding author; E-mail address: ukkrit.kh@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากำลังอัดที่อายุ 7 วัน และโครงสร้างทางจุลภาคของเพสต์จีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มน้ำมันผสมอลูมเนียมฟอยล์ โดยการแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ในอัตราร้อยละ 0, 2.5 และ 5.0 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสารละลายด่างต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.9, 1.0 และ 1.1 อัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1.0 ความเข้มข้นของสารละลายด่าง เท่ากับ 12.5 โมลาร์ บ่มที่อุณหภูมิ 30, 40, และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และบ่มต่อที่อุณหภูมิห้อง อีก 5 วันก่อนทดสอบกำลังอัด จากการศึกษา พบว่า ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ เนื่องจากเป็นการเพิ่มปริมาณไอออนของอลูมิเนียมให้กับระบบ ทำให้อัตราส่วน Si/Al มีค่าเหมาะสม เกิดการเชื่อมต่อพันธะ Si-O-Al ในปริมาณมาก ซึ่งส่งผลต่อกำลังอัดที่เพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณของอลูมิเนียมฟอยล์ที่มากกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ทำให้เพสต์จีโอโพลิเมอร์เกิดการก่อตัวเร็ว ไม่สามารถขึ้นรูปได้ ผลของการบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้ค่ากำลังอัดสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์ไรเซชัน ทำการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของเพสต์จีโอโพลิเมอร์ โดยการศึกษาภาพถ่ายกำลังขยายสูงของเพสต์จีโอโพลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของเพสต์จีโอโพลิเมอร์ ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

คำสำคัญ: เถ้าปาล์มน้ำมัน, อลูมิเนียมฟอยล์, โครงสร้างทางจุลภาค, เพสต์จีโอโพลิเมอร์

Abstract

This research was to study early compressive strength at 7 days and microstructure from palm oil ash containing aluminum foil geopolymer paste. Palm oil ash was replaced by aluminum foil 0, 2.5 and 5.0 percents by weight. Alkali liquid/binder ratio of 1.0, Na_2SiO_3/NaOH ratio of 1.0 and concentration of NaOH 12.5 M. All the samples after mixing were cured at 30, 40 and 50 °C in an oven for 48 h after then curing at room temperature for 5 days before compressive strength test. From this test showed that the compressive strength increases with the amount of aluminum foil displacement due to increases the amount of aluminum ions in the system that gave the Si/Al ratio an optimum value, resulting in a large amount of Si-O-Al bonding. But the amount of aluminum foil higher than 5% by weight allows the geopolymer paste to faster setting time as a result difficult forming. The effect of curing at 50 °C gave higher compressive strength due to high temperature catalyzes the geopolymerization. SEM and FTIR were used for analyzing microstructure of the samples.

Keywords: palm oil ash, aluminum foil, microstructure, geopolymer paste

1. บทนำ

จีโอโพลิเมอร์เป็นวัสดุที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยากับวัสดุปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย เถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย เป็นต้น ระหว่างสารที่มีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) กับสารละลายซิลิเกต (Silicate) ภายใต้สภาวะความเป็นเบสสูง เรียกว่าปฏิกิริยาโพลิคอนเดนเซชัน (Polycondensation) ได้สารประกอบอลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) เรียกว่า จีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer) ดังนั้น วัสดุจีโอโพลิเมอร์จึงมีการวิจัย และพัฒนาในเชิงอุตสาหกรรมมาเป็นระยะเวลายาวนาน โดยผลงานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้เป็นวัสดุในการสงัเคราะห์วัสดุจีโอโพลิเมอร์จากผลิตภัณฑ์ในกระบวนการเผาไหม้สารอนินทรีย์ ได้แก่ ดินขาวเผา เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย เถ้าถ่านหิน หรือเถ้าลอยจากการเผาไหม้ถ่านหิน และตะกรันเหล็กจากเตาเผา (Blast Furnace Slag) เป็นต้น มาเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์จีโอโพลิเมอร์

2. วัสดุและวิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมวัสดุ

2.1.1 เถ้าปาล์มน้ำมัน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างเถ้าปาล์มน้ำมัน จากอำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร โดยผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างเถ้าปาล์มน้ำมัน จำนวน 500 กิโลกรัม เถ้าปาล์มน้ำมันจะมีลักษณะเป็นฝุ่นผง มีสีเทาเข้มจนถึงสีดำ ขั้นตอนการเตรียมเถ้าปาล์มน้ำมัน ก่อนนำมาใช้งานทำได้โดยนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 วัน แล้วนำมาบดละเอียดให้มีขนาดเท่ากับ 45 ไมครอน

2.1.2 ขยะอะลูมิเนียมฟอยล์

เป็นวัสดุผสมเพิ่มซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร กล่องนม ขั้นตอนการเตรียมขยะอะลูมิเนียมฟอยล์ก่อนนำมาใช้งานทำได้โดยนำขยะอะลูมิเนียมฟอยล์ล้างทำความสะอาด อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 วัน แล้วนำมาตัดให้มีขนาดเล็กเท่ากับ 5 x 5 มิลลิเมตร

2.1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์

นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเกล็ดมาละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 10, 12.5 และ 15 โมลาร์ โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 400, 500 และ 600 กรัม ตามลำดับ จากนั้นใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเท่ากับ 800 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้สารละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วใช้พลาสติกปิดให้แน่นเพื่อป้องกันการระเหยของไอจากนั้นทิ้งไว้รอจนกว่าสารละลายเย็นตัวลงแล้วค่อยๆ เทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดที่กำหนดไว้ให้ปิดฝาขวดแล้วเขย่าจะได้สารมีค่าความเข้มข้นตามที่ต้องการ

2.2 ส่วนผสมเพสต์จีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มน้ำมันและอลูมิเนียมฟอยล์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำศึกษาผลของการแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันด้วยขยะอลูมิเนียมฟอยล์ในปริมาณต่างกัน แสดงดังตารางที่ 1 ศึกษาผลของอัตราส่วนของสารละลายเบสต่อวัสดุประสานต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2 และศึกษาผลของอุณหภูมิการบ่มเพสต์จีโอโพลิเมอร์ที่ต่างกัน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของเพสต์จีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มน้ำมัน โดยแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันด้วยขยะอลูมิเนียมฟอยล์ในปริมาณต่างกัน

ส่วนผสม					
เถ้าปาล์มน้ำมัน (%)	อลูมิเนียมฟอยล์ (%)	ความเข้มข้น NaOH (M)	สัดส่วน L/B	สัดส่วน NS/NH	อุณหภูมิในการบ่ม (°C)
100.0	0.0	12.5	1.0	1.0	40
97.5	2.5				
95.0	5.0				

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของเพสต์จีโอโพลิเมอร์ที่อัตราส่วนของสารละลายเบสต่อวัสดุประสานต่างกัน

ส่วนผสม					
เถ้าปาล์มน้ำมัน (%)	อลูมิเนียมฟอยล์ (%)	ความเข้มข้น NaOH (M)	สัดส่วน L/B	สัดส่วน NS/NH	อุณหภูมิในการบ่ม (°C)
97.5	2.5	12.5	0.9 1.0 1.1	1.0	40

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของวัสดุจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มน้ำมัน ที่อุณหภูมิการบ่มของเพสต์จีโอโพลิเมอร์ต่างกัน

ส่วนผสม					
เถ้าปาล์มน้ำมัน (%)	อลูมิเนียมฟอยล์ (%)	ความเข้มข้น NaOH (M)	สัดส่วน L/B	สัดส่วน NS/NH	อุณหภูมิในการบ่ม (°C)
97.5	2.5	12.5	1.0	1.0	30 40 50

2.3 ขั้นตอนการผลิตเพสต์จีโอโพลิเมอร์

ทำการผสมขยะอลูมิเนียมฟอยล์กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าด้วยกันแล้วเทลงไปในหม้อผสมที่มีเถ้าปาล์มน้ำมัน ทำการผสมด้วยเครื่องผสมให้เข้ากัน เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต แล้วผสมต่อให้ส่วนผสมเข้ากันอีก 5 นาที

2.4 การวิเคราะห์และทดสอบ

2.4.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี วิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ (XRF)

2.4.2 ศึกษาหมู่ฟังก์ชัน วิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR)

2.4.3 ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาควิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

2.4.4 ศึกษาองค์ประกอบทางแร่ วิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD)

2.4.5 ศึกษากำลังรับแรงอัด (Compressive strength)

การศึกษาผลกำลังรับแรงอัดของเพสต์จีโอโพลิเมอร์ ได้ทำการเลือกส่วนผสมที่เหมาะสมมาทำการศึกษากำลังรับแรงอัดของเพสต์จีโอโพลิเมอร์ตามมาตรฐาน ASTM C109 โดยหล่อตัวอย่างในแบบหล่อขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน และบ่มต่อในสภาวะแวดล้อมจริง (อุณหภูมิเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา

5 วัน แล้วนำวัสดุไปทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 วัน ก้อนตัวอย่างเพสต์จีโอโพลิเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 แสดงก้อนตัวอย่างของเพสต์จีโอโพลิเมอร์

3. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

3.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

3.1.1 เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Ash; PA)

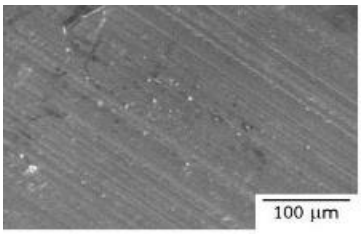
จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน พบว่ามีองค์ประกอบหลักคือ ซิลิการ้อยละ 57.80 อลูมินาร้อยละ 4.50 แคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 6.50 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 3.30 จัดเป็นวัสดุปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C 618 มีค่า LOI (Loss On Ignition) เท่ากับ 10.5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงค่าเสถียรภาพของวัตถุดิบซึ่งตามมาตรฐาน ASTM C 618 กำหนดว่าวัตถุดิบไม่ควรมีค่า LOI เกินร้อยละ 5 อย่างไรก็ตามค่า LOI ของวัตถุดิบที่มีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานนั้นจะไม่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการหดตัวของวัสดุ เนื่องจากเถ้าปาล์มน้ำมันมีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง ซึ่งแคลเซียมออกไซด์จะส่งผลต่อการขยายตัวของวัสดุ จึงทำให้วัสดุมีเสถียรภาพสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตจีโอโพลิเมอร์ได้

3.1.2 ขยะอะลูมิเนียมฟอยล์ (Wastes Aluminium Foil; Al)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขยะ

3.3.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของขยะอะลูมิเนียมฟอยล์

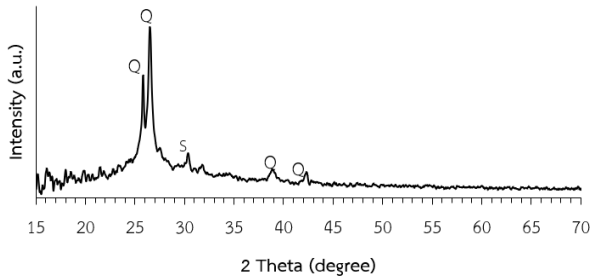
รูปที่ 4 แสดงลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของขยะอะลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งมีลักษณะผิวที่เรียบ ลักษณะกลมแต่จะพบอนุภาคขนาดเล็กกระจายอยู่บนผิวขยะอะลูมิเนียมฟอยล์



รูปที่ 4 โครงสร้างทางจุลภาคของขยะอะลูมิเนียมฟอยล์

3.4 องค์ประกอบทางแร่ของวัตถุดิบ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของวัตถุดิบด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-Ray Diffraction) เพื่อทำให้ทราบถึงชนิดและปริมาณของแร่ที่พบอยู่ในวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่นำมาผลิตเป็นวัสดุจีโอโพลิเมอร์ จากการศึกษาองค์ประกอบทางแร่ของเถ้าปาล์มน้ำมันดังรูปที่ 5 พบว่ามีแร่ Quart (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลัก และพบแร่ Calcium sulfate ($CaSO_4$) เป็นองค์ประกอบรอง โดยพบการปรากฏลักษณะพีคในช่วงกว้างที่ค่า 2 theta เท่ากับ 25-35 องศา แสดงให้เห็นว่าเถ้าปาล์มน้ำมันมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นอสัณฐาน มีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตวัสดุจีโอโพลิเมอร์ได้



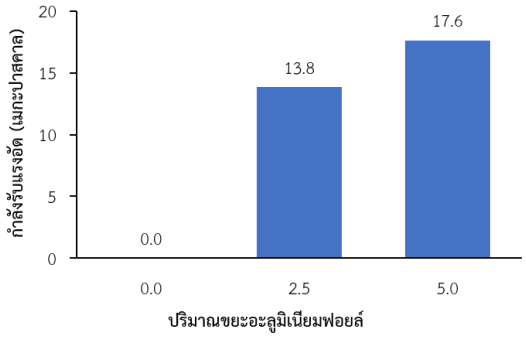
Q = Quart (SiO_2), S=Calcium sulfate ($CaSO_4$)

รูปที่ 5 องค์ประกอบทางแร่ของเถ้าปาล์มน้ำมัน

3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของเพสต์จีโอโพลิเมอร์

3.5.1 ผลของสารผสมเพิ่มชนิดขยะอะลูมิเนียมฟอยล์

จากรูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเพสต์จีโอโพลิเมอร์ อายุ 7 วัน โดยปริมาณขยะอลูมิเนียมฟอยล์ที่ใช้ในการแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันที่ศึกษาคือ 0, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำหนดให้ใช้อัตราส่วนของสารละลายเบสต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0 ใช้อัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.0 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 12.5 โมลาร์ บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน และบ่มต่อในสภาวะแวดล้อมจริง (อุณหภูมิเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 5 วัน จากผลการทดลอง พบว่า การแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันด้วยขยะอะลูมิเนียมฟอยล์ ในปริมาณ 5.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้เพสต์จีโอโพลิเมอร์มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด รองลงมาคือการแทนที่ในปริมาณ 2.5 และ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 17.6, 13.8 และ 0 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ทั้งนี้เถ้าปาล์มน้ำมันจะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักและมีปริมาณอลูมินาเป็นองค์ประกอบน้อยมาก ซึ่งในส่วนผสมที่ไม่มีการแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันด้วยขยะอลูมิเนียมฟอยล์ จะทำให้ส่วนผสมดังกล่าวนี้ไม่สามารถขึ้นรูปและแข็งตัวได้ จึงไม่มีค่ากำลังรับแรงอัด [2,3] โดยการแทนที่ปริมาณขยะอะลูมิเนียมฟอยล์ในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นการเพิ่มปริมาณไอออนของอลูมิเนียมให้กับระบบ ทำให้อัตราส่วน Si/Al มีค่าเหมาะสมที่จะทำให้เกิดการเชื่อมต่อของพันธะ Si-O-Al ในปริมาณมาก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่ากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการแทนที่เถ้าลอยด้วยขยะอะลูมิเนียมฟอยล์ในปริมาณสูงเท่ากับ 5.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้เพสต์เกิดการก่อตัวเร็วอย่างจึงขึ้นรูปได้ยากเนื่องจากระบบที่มีไอออนของอลูมิเนียมในปริมาณสูงจะทำให้เกิดการก่อตัวอย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น [4,5] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ปริมาณแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันด้วยขยะอะลูมิเนียมฟอยล์ เท่ากับ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดที่เหมาะสมและทำให้เพสต์สามารถขึ้นรูปได้ง่ายและมีค่ากำลังแรงอัดเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการศึกษาและพัฒนาต่อไป

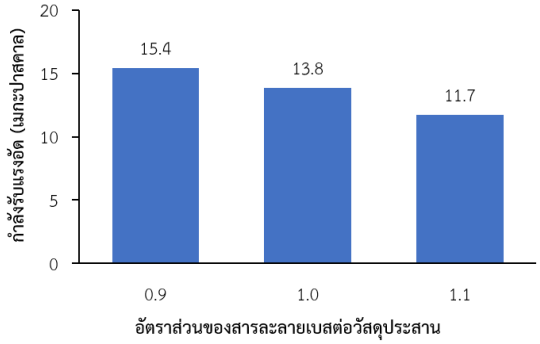


รูปที่ 6 กำลังรับแรงอัดของเพสต์จีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มน้ำมันผสมขยะอะลูมิเนียมฟอยล์

3.5.2 ผลของอัตราส่วนสารละลายเบสต่อวัสดุประสาน

จากรูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเพสต์จีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มน้ำมันผสมขยะอลูมิเนียมฟอยล์ในปริมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้อัตราส่วนของสารละลายเบสต่อวัสดุประสานแตกต่างกัน ที่อายุ 7 วัน กำหนดให้อัตราส่วนสารละลายเบสต่อวัสดุประสานเท่ากับ คือ 0.9, 1.0 และ 1.1 โดยใช้อัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.0 กำหนดให้ใช้

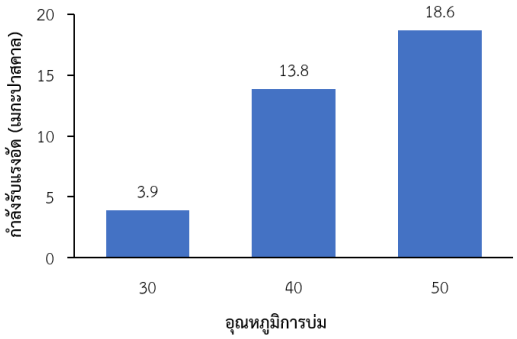
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 12.5 โมลาร์ บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน และบ่มต่อในสภาวะแวดล้อมจริง (อุณหภูมิเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 5 วัน จากผลการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนสารละลายเบสต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.9 จะมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด รองลงมาคืออัตราส่วน 1.0 และ 1.1 โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 15.4, 13.8 และ 11.7 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ที่อัตราส่วนสารละลายเบสต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.1 จะมีปริมาณสารละลายเบสมากเกินไปทำให้เพสต์ที่ได้มีลักษณะค่อนข้างเหลว ทำให้ส่วนผสมเกิดการแยกชั้นกัน ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำที่สุด สำหรับที่อัตราส่วนสารละลายเบสต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.9 แม้ว่าจะให้กำลังรับแรงอัดสูงที่สุด แต่จะทำให้ส่วนผสมมีความหนืดและขึ้นรูปได้ยาก ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน [6,7] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกอัตราส่วนของสารละลายเบสต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 1.0 จะทำให้เพสต์จีโอโพลิเมอร์มีการไหลตัวที่ดีเหมาะในการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการศึกษาและพัฒนาต่อไป



รูปที่ 7 กำลังรับแรงอัดของเพสต์จีโอโพลิเมอร์ที่อัตราส่วนของสารละลายเบสต่อวัสดุประสานต่างกัน

3.5.3 ผลของอุณหภูมิการบ่ม

จากรูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเพสต์จีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มน้ำมันผสมขยะอลูมิเนียมฟอยล์ในปริมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อายุ 7 วัน โดยอุณหภูมิการบ่มที่ใช้ในการศึกษาคือ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส กำหนดให้ใช้อัตราส่วนผสมของสารละลายเบสต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 1.0 ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 12.5 โมลาร์ อัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.0 บ่มตัวอย่างเป็นเวลา 2 วัน และบ่มต่อในสภาวะแวดล้อมจริง (อุณหภูมิเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 5 วัน จากผลการทดลอง พบว่า การใช้อุณหภูมิในการบ่มที่สูงขึ้น จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของเพสต์จีโอโพลิเมอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์ไรเซชันเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนต้องใช้ความร้อนเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา โดยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 40 และ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 18.6, 13.8 และ 3.9 เมกะปาสคาล ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้อุณหภูมิในการบ่มเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับสภาพภูมิอากาศในประเทศแถบโซนร้อนรวมถึงประเทศไทย ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 19-38 องศาเซลเซียส (ตามรายงานภูมิอากาศในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2562) และทำให้วัสดุมีค่ากำลังรับแรงอัดที่เหมาะสมต่อการศึกษาและพัฒนาต่อไป



รูปที่ 8 กำลังรับแรงอัดของเพสต์จีโอโพลิเมอร์ ที่อุณหภูมิการบ่มต่างกัน

4. สรุปผล

จากการทดลองศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์เพสต์จีโอโพลิเมอร์ ได้แก่ อัตราส่วนสารละลายเบสต่อเถ้าปาล์มน้ำมัน คือ 0.9, 1.0 และ 1.1 อัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 0.5, 1.0 และ 1.5 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 10, 12.5 และ 15 โมลาร์ อุณหภูมิในการบ่ม คือ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตเพสต์จีโอโพลิเมอร์ คือ การแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันด้วยขยะอะลูมิเนียมฟอยล์ปริมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสารละลายเบสต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0 อัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1.0 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 12.5 โมลาร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนและสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา ที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่และด้านต่างๆ ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณบริษัท อีสานอุตสาหกรรมปาล์ม จำกัด อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เถ้าปาล์มน้ำมัน ขอขอบคุณฝ่ายวิชาการและงานวิจัย คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ตลอดทั้งแผนกงานวิจัยและพัฒนา วิทยาเขตสกลนคร ที่ได้ประสานงานและอำนวยความสะดวกในด้านเอกสารและด้านต่างๆ จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] วราภรณ์ คุณาวนากิจ (2549). ศึกษาการใช้เทคนิค FTIR เพื่อวิเคราะห์สารจีโอโพลิเมอร์. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 2, อุดรธานี, 25-27 ตุลาคม 2549, หน้า 120-125.

[2] เธียรศักดิ์ กลับประสิทธิ์, สมิตร ส่งพิริยะกิจ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2549). การศึกษากำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์เพสต์ที่ทำจากเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ผสมเถ้าถ่านหิน. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 2, อุดรธานี, 25-27 ตุลาคม 2549, หน้า 154-158.

[3] Chindaprasirt, P., Chareerat, T. and Sirivivatnanon, V. (2007). Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymer. *Cement and Concrete Research*, 29, pp. 224-229.

[4] เธียรศักดิ์ กลับประสิทธิ์ และคณะ. (2549). *ศึกษาการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนทางเคมีของซิลิกอนไดออกไซด์ต่ออลูมิเนียมออกไซด์* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

[5] Onutai, S., Jiemsirilers, S., Thavorniti, P. and Kobayashi, T. (2015). Aluminium hydroxide waste based geopolymer composed of fly ash. *Construction and Building Materials,* 101, pp. 298–308.

[6] Ryu, G. S., Lee, Y. B., Koh, K. T. and Chung, Y. S. (2013). The mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with alkaline activators. *Construction and Building Materials,* 47, pp. 409-418.

[7] Rattanasak, U. and Chindaprasirt, P. (2009). Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer. *Minerals Engineering*, 22, pp. 1073–1078.