

การศึกษาสมบัติของวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากกากสีผงและดินขาวอินเดีย

Investigation of Properties of Powder Coating Sludge-Indian kaolin Based Geopolymer

ประชา ยืนยงกุล^{1*} มาโนชย์ พระคุณอนันต์¹ กฤษณา ศักดิ์เจริญชัยกุล¹ สุรพิน พรหมแดน¹ ศุภชาติ กรุดทอง¹
รณชาติ มั่นศิลป์¹ ภาควงุมิ จารุมุมิ² สิทธิบุรณ์ ศิริพรอัครชัย³ และทิพาพร คำแดง⁴

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

³สาขาวิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน

59 หมู่ 13 ตำบลฝายแก้ว อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน 55000

⁴คณะวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

Pracha Yeunyongkul^{1*}, Manoch Prakunanan¹, Kritsada Sakjaroenchaikul¹, Surapin Promdan¹,
Supachard Krudtong¹, Ronnachart Munsin¹, Parkpoom Jarupoom², Sittiboon Siripornakarachai³
and Tipapon Khamdaeng

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

³ Department of Technology and Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Lanna Nan

59 Moo 13, Fai Kaeo, Muang, Nan, Thailand, 55000

⁴ Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo university

63 Moo 4, Nongharn, Sansai, Chiang Mai, Thailand, 50290

*ผู้รับผิดชอบบทความ: ypracha@rmutl.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 0-5392-1444 ต่อ 2215

Received: 17 January 2021, Revised: 5 April 2021, Accepted: 18 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการขึ้นรูปและสมบัติของวัสดุจีโอพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของกากสีผงและดินขาวอินเดีย กากสีผงเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตสีผงและนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบด้วยวิธีเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ อัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดียต่อกากสีผง คือ 66.7:33.3 60:40 และ 55:45 ตามลำดับ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 5 10 และ 15 โมลาร์ ตามลำดับ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต คือ

1:1.64 1:2.46 และ 1:3.28 ตามลำดับ ขึ้นรูปขึ้นตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนผสมของกากสีผงต่อดินขาวอินเดียและแต่ละความเข้มข้นของสารละลาย ทดสอบขึ้นตัวอย่างตามมาตรฐานสากล เพื่อหาสมบัติบางประการของวัสดุจีโอพอลิเมอร์ คือ ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และค่าการดูดซึมน้ำ ตามลำดับ ผลทดสอบพบว่าที่อัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดียต่อกากสีผง 66.70:33.30 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด คือ 4.07 MPa ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.0892 W/(m•k) และค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุดที่ 24.20 % จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า สามารถนำกากสีผงมาผลิตเป็นวัสดุจีโอพอลิเมอร์ เพื่อทดแทนวัสดุทางวิศวกรรมอื่น ๆ เช่น วัสดุก่อสร้าง วัสดุฉนวน เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงจากการกดสูง และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ

คำสำคัญ กากสีผง XRF จีโอพอลิเมอร์ ดินขาวอินเดีย ค่ากำลังรับแรงอัด

Abstract

The aim of this article is to experimentally investigate the forming and properties of the geo-polymer material by using powder coating sludge and Indian kaolin. The powder coating sludge is a waste from powder coating production process and it was XRF tested to find ingredients of element. The mixture ratios of Indian kaolin and powder coating sludge were 66.7:33.3, 60:40, and 55:45, respectively. The concentrations of sodium hydroxide solution were 5, 10, and 15 mol/L, respectively and concentrations of sodium hydroxide to concentration of sodium silicate solution were 1:1.64, 1:2.46, and 1:3.28, respectively. Specimens were formed according to each mixture and concentration. Then, some properties such as compressive strength, coefficient of thermal conductivity, and water absorbing were standardized tested. It was found that the mixture ratios of Indian kaolin and powder coating sludge of 66.70:33.30, concentration of sodium hydroxide solution of 10 mol/L and concentration of sodium hydroxide to concentration of sodium silicate solution of 1:2.46 was the highest compressive strength as 4.07 MPa. Because the proportion of Indian kaolin was directly varied the ingredient of silica and alumina therefore the high proportion of Indian kaolin caused the high compressive strength. Moreover, the coefficient of thermal conductivity of the highest compressive strength was 0.0892 W/(m•k). In addition, the lowest of water absorbing was 24.20 %. Finally, the results illustrated that powder coating sludge can replace other engineering materials especially construction and insulation materials because of its high compressive strength and low coefficient of thermal conductivity.

Keywords: Powder Coating Sludge, XRF, Geo-polymer, Indian Kaolin, Compressive Strength

1. บทนำ

สีฝุ่น หรือสีผงใช้สำหรับงานตกแต่ง เพื่อความสวยงามและมีความทนทานเป็นพิเศษสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายทางอุตสาหกรรม เช่น เพอร์นิเจอร์ เครื่องปรับอากาศ อะลูมิเนียมเส้น เครื่องใช้ไฟฟ้า อะไหล่รถยนต์ และอื่น ๆ สีผงมีความทนทานสูง และบางชนิดสามารถทนต่อรอยขีดข่วน สภาพแวดล้อม เช่น รังสี UV และสารเคมีต่าง ๆ ปัจจุบันการพัฒนาด้านเทคโนโลยีสูงขึ้น

สามารถผลิตสีผงเพื่อใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท ไม้ แก้ว และพื้นผิวอื่น ๆ อีกด้วย แต่อัตราการเติบโตของอุตสาหกรรมผลิตสีผงที่สูงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับความนิยมอย่างมากในปัจจุบันทำให้เกิด กากสีผง (Powder Coating Sludge) ที่เหลือจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตจำนวนมากตั้งรูปที่ 1 ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณกากสีผงที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตสีผง ไม่ต่ำกว่า 250 ตันต่อปี การกองเก็บกากสีผงไว้ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือการนำ

ไปกำจัดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกทั้งยังสูญเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมาก หากต้องนำไปทำลาย

จากการศึกษาและงานวิจัยของวัสดุซีโอพอลิเมอร์ เพื่อทดแทนวัสดุบางประเภทที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) เนื่องจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดฝุ่นแขวนลอยที่มีอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน ลอยสู่อากาศ [1] และยังพบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูงจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [2] นอกจากนี้ พบว่ากระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สิ้นเปลืองพลังงานจำนวนมากอีกด้วย [3,4] ดังนั้น วัสดุซีโอพอลิเมอร์ จึงเป็นทางเลือกเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและลดการใช้พลังงาน

วัสดุซีโอพอลิเมอร์ประกอบด้วยธาตุอะลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) จึงทำให้มีสมบัติที่ดีและใช้พลังงานในอัตราที่ต่ำสำหรับกระบวนการผลิต [5-7] วัสดุที่มีส่วนประกอบของธาตุอะลูมินาและซิลิกา และนิยมนำมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตวัสดุซีโอพอลิเมอร์ คือ ดินขาวอินเดีย ดังแสดงในรูปที่ 2 และมีองค์ประกอบทางเคมี แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีในดินขาวแต่ละประเภท

องค์ประกอบทางเคมี	บราซิล	อียิปต์	อิตาลี	อินเดีย	จีน
SiO_2	46.39	49.97	50.64	45.81	55.30
Al_2O_3	38.23	33.83	20.24	37.72	42.5
CaO	0.03	0.09	10.54	0.06	-
Na_2O	0.07	0.42	2.94	0.39	0.07
Fe_2O_3	0.93	0.79	1.12	0.86	0.70
K_2O	0.15	0.01	1.27	0.03	0.42

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งหาองค์ประกอบทางเคมีของกากสีผงและนำมาเป็นส่วนผสมของดินขาวอินเดียในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และค่าการดูดซึมน้ำ สำหรับผลิตวัสดุซีโอพอลิเมอร์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากสีผง อีกทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตวัสดุซีโอพอลิเมอร์เชิงพาณิชย์ในอนาคตอีกด้วย

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น ขอบเขตการวิจัย การเตรียมชิ้นตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์

2.1 ขอบเขตการวิจัย

- อัตราส่วนดินขาวอินเดียต่อกากสีผง คือ 66.70:33.30 60:40 และ 55:45 ตามลำดับ (การกำหนดอัตราส่วนเริ่มต้นจากกำหนดอัตราส่วนของกากสีผงที่น้อยที่สุดที่สามารถขึ้นรูปได้ คือ 33.30 % w/w)
- ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 5 10 และ 15 โมลาร์ ตามลำดับ
- ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมซิลิเกต คือ 1.64 2.46 และ 3.28 ตามลำดับ
- อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว คือ 0.6

2.2 การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

การเตรียมชิ้นตัวอย่างอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ จากผลการศึกษาดัชนีที่มีผลต่อสมบัติของดินขาวเผา โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้นที่ความเข้มข้น 6 8 10 12 15 18 และ 20 โมลาร์ และพบว่าการใช้สารละลายโซเดียมซิลิเกตและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้นร่วมกัน ส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรงสูงกว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้นเพียงอย่างเดียว [8] การศึกษาอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกตที่ 0.80 - 2 และอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว คือ 0.40 0.60 0.80 และ 1 ตามลำดับ เวลาในการบ่ม 1 7 28 และ 60 วัน ตามลำดับ [9] จากการศึกษาข้างต้น จึงมีการเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการศึกษานี้ คือ ผสมกากสีผง ดินขาวอินเดีย และสารละลายด้วยเครื่องผสมมอดาร์ ดังแสดงในรูปที่ 3 นำส่วนผสมหล่อลงในแม่พิมพ์ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร และเขย่าเป็นเวลา 10 นาที เพื่อไล่อากาศ หุ้มด้วยพลาสติก วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างไปอบด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำชิ้นตัวอย่างออกจากเตาอบและบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28 วัน ตามลำดับ



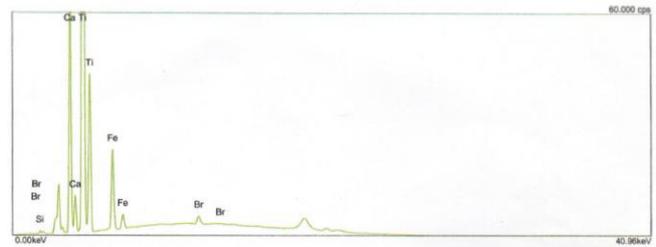
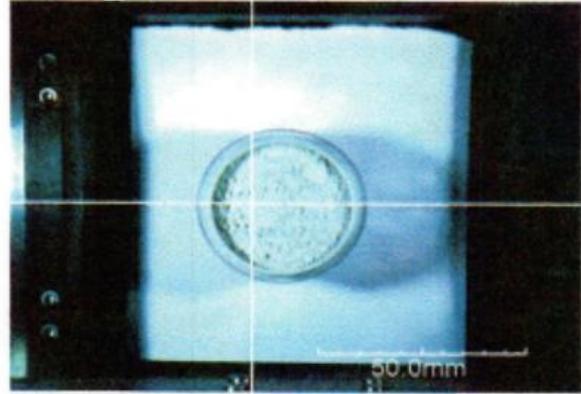
รูปที่ 1 กากสีผง



รูปที่ 4 ชิ้นตัวอย่างหุ้มด้วยพลาสติกและวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 2 ดินขาวอินเดีย



รูปที่ 5 การทดสอบด้วยวิธีเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์



รูปที่ 3 เครื่องผสมมอดาร์



รูปที่ 6 การทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัด

2.3 วิธีการวิเคราะห์

องค์ประกอบทางเคมีของกากสีผง และชิ้นตัวอย่างของวัสดุซีโอพอลิเมอร์วิเคราะห์ด้วยวิธีเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence, XRF) ดังแสดงในรูปที่ 5 ทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ของชิ้นตัวอย่างหลังจากบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28 วัน ตามมาตรฐานการทดสอบของ ASTM 109 ดังแสดงในรูปที่ 6 ทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Coefficient of Thermal Conductivity, k) ของชิ้นตัวอย่างตามมาตรฐานการทดสอบของ ASTM C 177 และทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C 37-88 โดยชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างก่อนต้มในน้ำเดือด 5 ชั่วโมง และแช่ในน้ำ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

3. ผลการวิจัยและการอภิปราย

3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

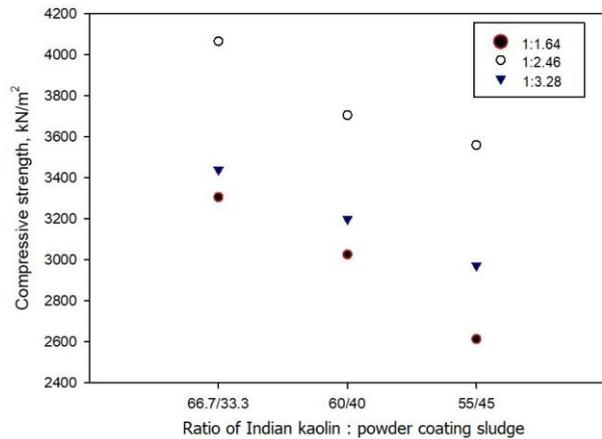
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากสีผงและชิ้นตัวอย่างด้วยวิธี XRF ดังรูปที่ 5 และผลทดสอบแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ พบว่ากากสีผงมีองค์ประกอบทางเคมีของอะลูมินา ซิลิกา ไทเทเนียมและแบเรียม 2.14 1.10 31.4 และ 56.3 % ตามลำดับ ดังนั้น กากสีผงจึงสามารถเป็นส่วนผสมสำหรับการผลิตวัสดุซีโอพอลิเมอร์ กรณีองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นตัวอย่าง เป็นผลทดสอบของชิ้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนดินขาวอินเดียนต่อกากสีผง 66.7:33.3 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด พบปริมาณของอะลูมินาและซิลิกาเท่ากับ 2.24 และ 8.62 % ตามลำดับ เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกากสีผงเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 1.10 และ 7.84 เท่าตามลำดับ ดังนั้น สรุปได้ว่าชิ้นตัวอย่างนี้เป็นวัสดุซีโอพอลิเมอร์ ขณะเดียวกันองค์ประกอบของไทเทเนียม (Ti) ของชิ้นตัวอย่าง คือ 38.42 % แสดงว่าชิ้นตัวอย่างนี้สามารถรับแรงอัดได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของของ Sudipta Naskar et al. [10]

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของกากสีผงและชิ้นตัวอย่าง

องค์ประกอบทางเคมี	กากสีผง (% w/w)	ชิ้นตัวอย่าง (% w/w)
Al	2.14	2.24
Si	1.10	8.62
S	6.30	0.42
Ti	31.4	38.42
Fe	1.23	11.16
Zn	0.14	0.74
Sr	1.45	6.91
Ba	56.3	28.36
Ca	-	1.33
Zr	-	1.80

3.2 ผลของอัตราส่วนผสมต่อค่ากำลังรับแรงอัด

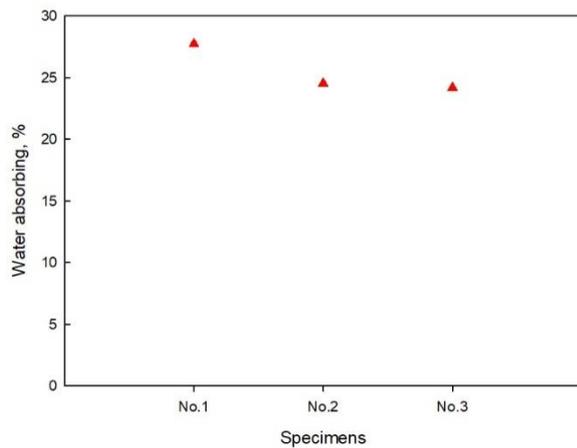
รูปที่ 8 แสดงผลของอัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดีย และกากสีผงต่อค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1.64 2.46 และ 3.28 โมลาร์ มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนของกากสีผงลดลง เนื่องจากอัตราส่วนกากสีที่ลดลงหรืออัตราส่วนดินขาวอินเดียที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาและอะลูมินาเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 และอัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดียต่อกากสีผง 66.70:33.30 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด คือ 4.07 MPa ซึ่งสอดคล้องกับ Granizo et al. [8]



รูปที่ 8 ผลของอัตราส่วนผสมระหว่างดินขาวอินเดีย และกากสีผงต่อค่าความแข็งแรงจากการกด ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46

3.3 ผลของการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 9 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของ 3 ชิ้นตัวอย่าง ที่อัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดียต่อกากสีผง 66.70:33.30 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46 พบว่า อัตราการดูดซึมน้ำของชิ้นตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 คือ 27.70 24.70 และ 24.20 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM C 37-88 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเกินมาตรฐาน แสดงว่า ชิ้นตัวอย่างมีความพรุนตัวมาก ดังนั้น ควรมีการศึกษาตัวแปรอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว และระยะเวลาการบ่ม เป็นต้น



3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177 ของชิ้นตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดียต่อกากสีผง 66.70:33.30 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46 เท่ากับ 0.0892 W/ (m•k) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอิฐ (Brick, Common) และคอนกรีตบล็อก (Concrete Blocks) คือ 0.72 และ 0.77 W/ (m•k) ตามลำดับ [11] ดังนั้น วัสดุฉนวนโพลีเมอร์นี้เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุประเภทฉนวน เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าต่ำมาก

3.5 ทดสอบการขึ้นรูป

รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างการขึ้นรูปของวัสดุฉนวนโพลีเมอร์ ที่อัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดียต่อกากสีผง 66.70:33.30 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46 โดยทดสอบการขึ้นรูปที่ขนาด 6x19x9 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูง) พบว่าสามารถขึ้นรูปได้ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเพื่อผลิตเป็นเชิงพาณิชย์ในอนาคต



รูปที่ 10 การดูคุณสมบัติของน้ำเมื่อเปรียบเทียบ 3 ชิ้นตัวอย่าง

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตวัสดุฉนวนโพลีเมอร์จากส่วนผสมของดินขาวอินเดียและกากสีผง เพื่อเป็นวัสดุทางเลือก ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ลดค่าใช้จ่าย โดยการทดสอบเป็นตามหลักทฤษฎีและมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้อง ผลทดสอบพบว่า กากสีผงมีองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาและอะลูมินา เมื่อผสมกับดินขาวอินเดีย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโซเดียมซิลิเกตในสัดส่วนที่เหมาะสม พบว่าสามารถขึ้นรูปได้ มีค่ากำลังรับแรงอัดสูง ในขณะที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่น ๆ จึงเหมาะสำหรับผลิตเป็นวัสดุประเภทฉนวน ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ พบว่ามีค่าเกินมาตรฐานเล็กน้อย ควรศึกษาเพิ่มเติมและปรับปรุงให้อยู่ในเกณฑ์

5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่ และข้อมูลเชิงวิชาการจากบริษัท โจตันไทย จำกัด



6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thasananaphan T. Life cycle assessment of portland cement production. Master thesis. Chulalongkorn University. Bangkok; 2000. thai.
- [2] Elumalai A, Ganesh GM, Gurumurthy K. An experimental study on performance of bacillus pumilus KC845305 and bacillus flexus KC845306 in bacterial concrete. Journal of Applied Science and Engineering. 2020; 23(1):1-8.
- [3] Escalante- Garcia JI, Espinoza- Perez LJ, Gorokhovskiy A, Gomez-Zamorano LY. Coarse blast furnace slag as a cementitious material, comparative study as a partial replacement of Portland cement and as an alkali activated cement. Construction and Building Materials. 2009 Jul 1;23(7):2511-7.
- [4] Mehta PK. Greening of the concrete industry for sustainable development. Concrete international. 2002 Jul 1; 24(7):23-8.
- [5] Temuujin JV, Van Riessen A, Williams R. Influence of calcium compounds on the mechanical properties of fly ash geopolymer pastes. Journal of hazardous materials. 2009 Aug 15;167(1-3): 82-8.
- [6] Komnitsas K, Zaharaki D. Geopolymerisation: A review and prospects for the minerals industry. Minerals engineering. 2007 Nov 1;20(14):1261-77.
- [7] Duxson P, Fernandez-Jimenez A, Provis JL, Lukey GC, Palomo A, Van Deventer JSJ. Geopolymer: the current state of the art. Journal of materials Science. 2007 May;42(9):2917-33.
- [8] Granizo ML, Blanco-Varela MT, Martinez-Ramirez S. Alkali activation of metakaolins: parameters affecting mechanical, structural and microstructural properties. Journal of Materials Science. 2007 May;42(9):2934-43.
- [9] Lin KL, Shiu HS, Shie JL, Cheng TW, Hwang CL. Effect of composition on characteristics of thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass-metakaolin-based geopolymers. Construction and Building Materials. 2012; 36: 501-7.
- [10] Naskar S, Chakraborty AK. Effect of nano materials in geopolymer concrete. Available from:<http://dx.doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.049>.
- [11] Yunus A. Cengel, Ghajar AJ. Heat and mass transfer : Fundamentals [and] applications. New York: McGraw-Hill; 2011. Appendix.