

ภาคผนวก ข.

1. วิธีหาอัตราส่วน $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ของเถ้าลอยของถ่านหินบิทูมินัส
2. วิธีหาปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
3. วิธีหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม
4. ทดสอบหาความละเอียด
5. ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ
6. การวิเคราะห์ XRF และ XRD
7. การทดสอบกำลังรับแรงอัด
8. การทดสอบโครงสร้างจุลภาค (SEM)
9. วิธีหาพลังงานการใช้ไฟฟ้า

1. วิธีหาอัตราส่วน $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ของเถ้าลอยของถ่านหินบิทูมินัส

ในงานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์ก้อนจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยของถ่านหินบิทูมินัส ซึ่งคำนวณจากปริมาณของ SiO_2 และ Al_2O_3 ที่ได้จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF ทำให้ได้อัตราส่วนของ $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (2.3 โดยน้ำหนัก) คือ

ในเถ้าลอยของถ่านหินบิทูมินัส 100 g. มี SiO_2 เท่ากับ 62.3 และมี Al_2O_3 เท่ากับ 27.4 g.

น้ำหนักโมเลกุลของ SiO_2 เท่ากับ 60 g/mol. และ Al_2O_3 เท่ากับ 102 g/mol.

ดังนั้น ในเถ้าลอยของถ่านหินบิทูมินัสมี $\text{SiO}_2 = 62.3/60 = 1.04 \text{ mol.}$

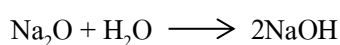
และมี $\text{Al}_2\text{O}_3 = 27.4/102 = 0.27 \text{ mol.}$

อัตราส่วนของ $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ในตะกอนจะมีค่าเท่ากับ $1.04/0.27 = 3.86$ โดยโมล

2. วิธีหาปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มีความเป็นด่างสูง งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์ โดยชั่งน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามอัตราส่วน $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ เท่ากับ 0.2 และ 0.25 โดยโมล จากนั้นละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำไปผสมกับวัตถุดิบที่เตรียมไว้

เนื่องจาก Na_2O 1 mol. ได้ NaOH 2 mol. ดังสมการ



กำหนดอัตราส่วน $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ เท่ากับ 0.2

จะได้ว่า $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2 = 0.2 \longrightarrow \text{Na}_2\text{O}/1.04 = 0.2$ จะเท่ากับ 0.208 mol.

ต้องใช้ NaOH = $2 \times 0.208 \text{ mol.} = 0.416 \text{ mol.}$

$= 0.416 \text{ mol.} \times 40 \text{ g/mol.} = 17 \text{ g.}$

และ กำหนดอัตราส่วน $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ เท่ากับ 0.25

จะได้ว่า $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2 = 0.25 \longrightarrow \text{Na}_2\text{O}/1.04 = 0.25$ จะเท่ากับ 0.260 mol.
 ต้องใช้ $\text{NaOH} = 2 \times 0.260 \text{ mol.} = 0.520 \text{ mol.}$
 $= 0.520 \text{ mol.} \times 40 \text{ g/mol.} = 21 \text{ g.}$

3. วิธีหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

ในการสังเคราะห์อีพอกซีโพลิเมอร์ใช้น้ำในการละลายสารละลายต่าง ดังนั้นการใช้น้ำที่เหมาะสมเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่ส่งผลต่อการผสมก่อนอีพอกซีโพลิเมอร์ และสมบัติอื่นๆ เมื่อนำอีพอกซีโพลิเมอร์ไปใช้งาน [24] จึงจำเป็นต้องทำการทดสอบหาความข้นเหลวปกติ (Normal consistency) ตามมาตรฐาน ASTM C187 ด้วยการใช้อุปกรณ์แบบไวแคต (Vicat apparatus) [25] โดยเริ่มจากการใส่เกล็ดของถ่านหินบิทูมินัส ในหม้อกวนผสม จากนั้นเติมสารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามปริมาณที่ต้องการลงไป เปิดเครื่องผสมด้วยความเร็วต่ำ เป็นเวลา 1 นาที เปลี่ยนความเร็วเครื่องผสมเป็นความเร็วปานกลาง เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำออกมาปั่นเป็นก้อนกลมอย่างรวดเร็ว โดยการโยนกลับจากมือซ้ายและขวาไปมาประมาณ 10 ครั้ง ก่อนจะอัดลงไปแบบวงแหวนรูปกรวยของเครื่องมือทดสอบไวแคต ปาดหน้าให้เรียบ แล้วจึงนำมาวางใต้เข็มไวแคตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร น้ำหนัก 300 กรัม จะถูกปล่อยทันทีให้ตกอย่างอิสระ เข็มไวแคตจะจมลงในตัวอย่าง 10 มิลลิเมตร ในระยะเวลา 30 วินาที ซึ่งเป็นค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมตามเกณฑ์ของความข้นเหลวปกติ

ตัวอย่างเช่น

อัตราส่วน $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ เท่ากับ 0.2 ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการผสม เท่ากับ 75 ml.
 จะได้ ปริมาณสารละลายต่าง ต่อส่วนผสม $= 75/300 = 0.25$

ดังนั้น ปริมาณน้ำที่เหมาะสม เท่ากับ $0.25 \times 800 \text{ g.} = 200 \text{ g.}$
 (เมื่อ 800 คือจำนวนส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้จริง)

และอัตราส่วน $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ เท่ากับ 0.25 ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการผสม เท่ากับ 69 ml.
 จะได้ ปริมาณสารละลายต่าง ต่อส่วนผสม $= 69/300 = 0.23$

ดังนั้น ปริมาณน้ำที่เหมาะสม เท่ากับ $0.23 \times 800 \text{ g.} = 184 \text{ g.}$
 (เมื่อ 800 คือจำนวนส่วนผสมทั้งหมดที่ต้องการใช้จริง)

4. ทดสอบหาความละเอียด

นำตัวอย่างของถ่านหินบิทูมินัสที่ได้จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี มาทำการตรวจสอบความละเอียดก่อน เพื่อพิจารณาความละเอียดของวัสดุปอซโซลาน โดยมาตรฐาน ASTM C618 [10] ได้กำหนดความละเอียดของวัสดุที่สามารถใช้ในงานคอนกรีตหรือใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้ต้องมีสัดส่วนข้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ไม่น้อยกว่าร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก โดยเริ่มต้นทำการสุมตัวอย่างมาประมาณ 20 กรัม นำตะแกรงเบอร์ 325 และตัวอย่างที่สุม มาทำการชั่งน้ำหนักและจดบันทึกค่า จากนั้นนำตัวอย่างมาเข้าสู่กระบวนการร่อนเปียก โดยทำการร่อนบนตะแกรงผ่านน้ำ จนกว่าน้ำจะใส จึงนำไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 - 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง (หรือจนกว่าตัวอย่างในตะแกรงจะแห้งสนิท) แล้วจึงนำตะแกรงออกมาชั่งน้ำหนักและคำนวณหาค่าน้ำหนักคงค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ดังสมการที่ (1)

$$\text{น้ำหนักคงค้างบนตะแกรงเบอร์ 325} = \frac{(\text{หลังอบ } 105^{\circ}) - (\text{ก่อนอบ } 105^{\circ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (ประมาณ 20 กรัม)}} \leq \text{ร้อยละ 34}$$

หมายเหตุ : คัดจากปริมาณของวัสดุทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบเป็นร้อยละ 100 ของน้ำหนักทั้งหมด

ตัวอย่าง

น้ำหนักตัวอย่าง = 20.8 g.

น้ำหนักตะแกรงเบอร์ 325 (ก่อนอบ) = 357.10 g.

น้ำหนักตะแกรงเบอร์ 325 (หลังอบ) = 360.86 g.

$$\text{น้ำหนักคงค้างบนตะแกรงเบอร์ 325} = \frac{(360.86) - (357.10)}{(20.8)} \times 100$$

$$= 18 \leq \text{ร้อยละ 34}$$

5. ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ

วัสดุพอลิโพรไพลีนแต่ละชนิดเมื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์ จำเป็นต้องคำนึงถึงสมบัติทางกายภาพทางด้าน ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องใช้ในการคำนวณการออกแบบและควบคุมส่วนผสมให้เป็นไปตามที่ต้องการ และค่าความถ่วงจำเพาะนี้สามารถนำไปคำนวณพื้นที่ผิวจำเพาะของจีโอพอลิเมอร์ เพื่อพิจารณาผลของความละเอียดได้อีกด้วย การทดสอบนี้เป็นการหาค่าความถ่วงจำเพาะของเกล็ดลอยของถ่านหินบิทูมินัส โดยประยุกต์จากตามมาตรฐาน ASTM C188 [26] ของการหาความหนาแน่นของวัสดุพอลิโพรไพลีน โดยเริ่มจากการเติมน้ำลงในขวดเลอชาเตอลิเอให้มีปริมาตรเท่ากับ 0 และ 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปแช่ลงในอ่างน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิในอ่างและในขวดทดลองเท่ากัน อ่านค่าอุณหภูมิของน้ำและปริมาตรของขวดทดลอง ก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก (เป็นค่าครั้งที่ 1) หลังจากนั้นเติมเกล็ดลอยของถ่านหินบิทูมินัสลงในขวดเลอชาเตอลิเอ โดยใช้กรวยสอดเข้าไปในคอขวดเพื่อไม่ให้เกล็ดลอยติดที่ข้างขวด เติมน้ำจนน้ำมีปริมาตรเท่ากับ 18 และ 24 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปแช่น้ำในอ่างอีกครั้ง เมื่ออุณหภูมิภายในอ่างและในขวดทดลองเท่ากัน อ่านค่าอุณหภูมิของน้ำและปริมาตรของขวดทดลอง นำไปชั่งน้ำหนัก (เป็นค่าครั้งที่ 2) และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ ดังสมการที่ (2)

$$SG = \frac{W_M}{V_K \times \rho_{w, \text{ at } 4^\circ \text{C}}} \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้

SG = ความถ่วงจำเพาะของเกล็ดลอยของถ่านหินบิทูมินัส

W_M = น้ำหนักของเกล็ดลอยของถ่านหินบิทูมินัส (g)

V_K = ปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่ (cm^3) และ

$\rho_{w, \text{ at } 4^\circ \text{C}}$ = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเท่า 4 องศาเซลเซียส

(ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเท่า 4 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 1 Mg/m^3 หรือ 1 g/cm^3)

6. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย XRF และความเป็นผลึกของโครงสร้างด้วย XRD

นำวัตถุดิบเกล็ดลอยของถ่านหินบิทูมินัส มาวิเคราะห์เบื้องต้น โดยการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้เทคนิค X-ray Fluorescence Analysis (XRF) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาชนิดและปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลวและสารแขวนลอยได้ เทคนิค XRF อาศัยหลักการของการเคลื่อนที่เมื่อรังสีเอกซ์ ที่มีพลังงานสูงไปกระทบชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเกิดการปล่อยโปรตอนออกมา (fluoresced) เนื่องจากโปรตอนที่ถูกปล่อยออกมาจากธาตุต่างชนิดในชิ้นงานจะมีความยาวคลื่น (พลังงาน) เฉพาะสำหรับธาตุนั้นๆ จึงทำให้สามารถบ่งชี้ชนิดของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ ทั้งนี้ ปริมาณโปรตอนเปล่งออกมาขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุนั้นในสารตัวอย่างข้อมูลนี้จึงสามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้ สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณและชนิดของธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยนำเกล็ดลอยของถ่านหินบิทูมินัส ผ่านการทดสอบน้ำหนักคงค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 แล้ว จำนวน 10 กรัม ไปวิเคราะห์ XRF ภายในห้องปฏิบัติการ

และการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของโครงสร้าง โดยใช้เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ยี่ห้อ Bruker AXS รุ่น D8 Discover ติดตั้งพร้อมกับ Cu Radiation เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอกซ์ มาใช้วิเคราะห์สารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง เทคนิค XRD อาศัยหลักการของการยิงรังสีเอกซ์ ที่ทราบความยาวคลื่นไปกระทบชิ้นงาน ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่างๆกัน โดยมีหัววัดเป็นตัวรับข้อมูล เนื่ององศาในการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆได้ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำมาหาปริมาณของสารประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง ปริมาณความเป็นผลึก ขนาดของผลึก ความสมบูรณ์ของผลึก และความเค้น ของสารประกอบในสารตัวอย่าง อีกทั้งความหนาของฟิล์มได้อีกด้วย โดยนำเกล็ดลอยของถ่านหินบิทูมินัส จำนวน 10 กรัม ไปวิเคราะห์โดยเทคนิค XRD ในห้องปฏิบัติการ

7. การทดสอบกำลังรับแรงอัด

เมื่อทำการบ่มก้อนจีโอพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากเถ้าลอยของถ่านหินบิทูมินัสตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วจึงนำมาทำการทดสอบหาความสามารถในการรับกำลังอัดของก้อนจีโอพอลิเมอร์ตามมาตรฐาน ASTM D1633-00 โดยนำก้อนจีโอพอลิเมอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร ที่เตรียมไว้มาดกแต่งผิวหน้าตัดของก้อนจีโอพอลิเมอร์ทั้งด้านบนและด้านล่างให้เรียบด้วยกระดาษทราย วัดค่าความสูงของก้อนจีโอพอลิเมอร์ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยเพื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังอัด บันทึกลง ในการทดสอบให้เลือกด้านที่เรียบของก้อนจีโอพอลิเมอร์ วางบนแท่นของเครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีตแกนเดี่ยว (Unconfined Compressive Strength) อ่านค่าน้ำหนักที่กดลงได้ ทำซ้ำ 6 ตัวอย่างในแต่ละชุดการทดสอบ จากนั้นนำค่ากำลังอัดที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และนำมาใช้ในการวิเคราะห์ สามารถคำนวณได้ตามสูตรคำนวณ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่ากำลังอัด (ksc), (กก./ซม.}^2\text{)} &= \text{แรงอัด/พื้นที่หน้าตัด} \\ \text{พื้นที่หน้าตัดก้อนตัวอย่าง} &= \pi d^2/4 \end{aligned}$$

8. การทดสอบโครงสร้างจุลภาค (Scanning Electron Microscope; SEM)

การทดสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของจีโอพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากเถ้าลอยของถ่านหินบิทูมินัส ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะพื้นฐาน และรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวด้านของวัสดุในระดับจุลภาค การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ โดยการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของจีโอพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากเถ้าลอยของถ่านหินบิทูมินัส โดยทดสอบตัวอย่างในรูปแบบของแข็ง ซึ่งตัวอย่างที่ได้เป็นชิ้นส่วนของจีโอพอลิเมอร์ที่ผ่านการทดสอบกำลังอัดแล้ว ตรงส่วนกลางของก้อนจีโอพอลิเมอร์ เลือกตัวอย่างมาอย่างน้อย 2 ชิ้น เพื่อป้องกันความผิดพลาดกรณีตัวอย่างเสียหาย แล้วจึงนำตัวอย่างไปเก็บในโถดูดความชื้น ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างของจีโอพอลิเมอร์ไม่นำไฟฟ้า จึงต้องนำตัวอย่างไปทำการเคลือบทอง โดยไม่ทำลายลักษณะผิวด้านที่ต้องการวิเคราะห์ทดสอบ

9. วิธีหาพลังงานการใช้ไฟฟ้า

การพิจารณาการใช้ไฟฟ้าโดยคิดจากค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์สำหรับการบ่มด้วยความร้อน ต่อค่ากำลังอัด

ตัวอย่าง

การบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับ อัตราส่วน $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ เท่ากับ 0.2 โดยโมล

เมื่อ อุณหภูมิสูงสุดของเตาอบไฟฟ้า เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส

และมีกำลังไฟฟ้าของเตาอบ เท่ากับ 1350 กิโลวัตต์

$$\text{จะได้ว่า ที่อุณหภูมิ } \frac{50}{100} = 0.5$$

$$\begin{aligned}\text{มีอัตราการใช้ไฟฟ้า} &= 0.5 \times 1.35 \text{ (กิโลวัตต์)} \times 24 \text{ (ชั่วโมง)} \\ &= 16.2 \text{ กิโลวัตต์/ชั่วโมง}\end{aligned}$$

โดยที่ ค่าไฟฟ้า 1 หน่วย เท่ากับ 7 บาท จะได้

$$\begin{aligned}\text{อัตราการใช้ไฟฟ้า} &= 16.2 \times 7 \text{ (บาท)} \\ &= 114 \text{ บาท}\end{aligned}$$