บทที่ 4
การดำเนินการวิจัย

4.1 แผนการวิจัย

การวิจัยนี้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้องปฏิบัติการคอนกรีตของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนั้น ได้แก่ กากตะกรันจากการหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่าของโรงงานเลี่ยงฮวดหล่อหลอมโลหะ

วัสดุประสาน หรือ วัสดุผสมที่ใช้ในการศึกษาในการทำให้เป็นก้อน ได้แก่ วัสดุประเภทซีเมนต์ (Cementitious Binder) คือ

1) ปูนซีเมนต์ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์(Portland Cement) ประเภทที่ 1 ตราช้างของบริษัท ปูนซีเมนต์ ไทย จำกัด

2) ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก)

3) ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซัลไฟต์

4) ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซัลไฟต์

4.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

1) Hydrochloric Acid

2) Sulfuric Acid

3) Nitric Acid

4) น้ำกลั่น

4.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องชั่งน้ำหนัก 2,000 กรัม (อ่านได้ละเอียดถึง 0.2 กรัม)

2) แบบหล่อพลาสติก รูปลูกบาศ์กขนาด 50 x 50 x 50 ม.ม.

3) เครื่องทดสอบแรงอัด (Testing Machine)

4) Sieve N0. 20-16, 30 - 20 และ > 30

5) แทมเปอร์(Tamper) มีขนาดหน้าตัด 0.5 นิ้ว x 1 นิ้ว มีความยาวประมาณ 5 - 6 นิ้ว หน้าตัดเรียบ และตั้งฉากกับแกนจับ ทำด้วยวัสดุไม่ดูดซึมน้ำ

6) Sieve ขนาด 0.5 mm. - 5 mm.

7) กระดาษกรองใยแก้วขนาดรู 1 ไมครอน

8) เครื่องกวนเขย่าหมุน (Rotary agitator) ทีมีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที

9) เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

10) เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก Atomic Absorption Spectrophotometer (AA)

11) ขวดพลาสติกปริมาตร 1 ลิตร

12) เครื่องชั่งสารเคมี 1,000 กรัม

13) ภาชนะสำหรับผสมซีเมนต์

14) เกรียงฉาบซีเมนต์

15) ขวดพลาสติกปริมาตร 120 มิลลิลิตร

4.2 วิธีการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การศึกษาสมบัติของกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า
2. การศึกษาหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้นในการทำเสถียรกากตะกรัน จากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า(การทดลองที่1)
3. การศึกษาหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า(การทดลองที่2)
4. การศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน(การทดลองที่3)

4.2.1 การศึกษาสมบัติของกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า

ลักษณะสมบัติของกากตะกรัน จากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้มีดังนี้

1. **สมบัติทางด้านกายภาพ**

1.1 การดูดซึม

ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C-127-80 โดยการแช่ตัวอย่างกากตะกรันจมน้ำเป็นเวลา 24 ± 4 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างมาทำให้ผิวแห้งและอยู่ในสภาพอิ่มตัว โดยการเช็ดผิวตัวอย่างให้แห้งด้วยผ้าที่ดูดซับน้ำได้ดี จากนั้นนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก แล้วทำตัวอย่างให้แห้งสนิทโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C ประมาณ 1 ถึง 3 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง ค่าดูดซึม (ร้อยละ) หาได้ดังนี้

$$\text{การดูดซึม} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่อยู่ในสภาพอิ่มตัว-น้ำหนักตัวอย่างที่แห้งสนิท} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่แห้งสนิท}}$$

1.2 ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

นำตัวอย่างกากตะกรันมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาหาปริมาตรโดยการแทนที่ตัวอย่างกากตะกรันในปรอท หลังจากนั้นนำค่าน้ำหนักและปริมาตรที่หาได้ มาคำนวณหาความหนาแน่นรวมดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นรวม (ตัน/ ลบ.ม.)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างกากตะกรัน (ตัน)}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างกากตะกรัน (ลบ.ม.)}}$$

2. **สมบัติทางด้านเคมีของกากตะกรัน**

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญ ซึ่งได้แก่ปริมาณโลหะหนักที่เป็นโลหะอันตรายในกากตะกรัน โดยทำการวิเคราะห์สมบัติทางด้านเคมีของกากตะกรัน 3 วิธีดังนี้

2.1 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และเครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectrometer

เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกรัน ซึ่งอยู่ในรูปออกไซด์ของธาตุต่างๆ โดยการส่งตัวอย่างกากตะกรันไปวิเคราะห์ ด้วยเครื่อง SEM และเครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectrometer ที่ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกรัน จากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น ตามวิธีมาตรฐานของ U.S.EPA.

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้งหมด ในกากตะกรันด้วยกรดเข้มข้น โดยย่อยกากตะกรันอย่างรุนแรง ในกรดไนตริก ตามมาตรฐานของ U.S.EPA. method 3050 ดังนี้

1) นำตัวอย่างกากตะกรัน 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 125 มิลลิลิตร
2) เติมกรดไนตริกผสมน้ำกลั่น (อัตราส่วน 1:1) ปริมาณ 10 มล. แล้วนำบีกเกอร์มาตั้งบนเตาอุณหภูมิ 95^{o}C ประมาณ 10นาที

3) รอจนตัวอย่างเย็นแล้ว เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มล. และนำมาตั้งบนเตาอีกประมาณ 30 นาที
4) รอจนตัวอย่างเย็น แล้วจึงเติมน้ำกลั่น 2 มล. และเติม 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 3 มล.
5) นำบีกเกอร์มาตั้งบนเตา รอจนกระทั่งฟองอากาศที่เกิดจากปฏิกิริยาเปอร์ออกไซด์หายไป แล้วค่อยๆเติม 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(H_2O_2) ทีละ1 มล. จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศ
6) ตั้งบีกเกอร์บนเตาต่อไปจนกระทั่งเหลือปริมาตรกรดประมาณ 2 มล.
7) นำบีกเกอร์ลงจากเตาแล้วเติมน้ำกลั่นประมาณ 10 มล. แล้วเขย่าให้เข้ากัน รอจนตัวอย่างเย็น
8) นำน้ำที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 42
9) นำน้ำที่ได้มาเติมน้ำกลั่น จนได้ปริมาตร 100 มล. แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AA)

2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด โดยใช้วิธีสกัดตามวิธีในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีสกัดสารตามวิธีในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) บดตัวอย่างให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร
2) นำตัวอย่างที่ได้จาก 1) หนัก 25 กรัม เติมด้วยน้ำสกัด(Leachate) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์(Synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนค่าความเป็นกรดด่างพีเอช (pH) ของส่วนผสม (Mixture) มีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของส่วนผสมให้ อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำ-หนัก (กรัม) ของตัวอย่าง
3) เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator) ที่มีอัตราหมุน 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 18 ชั่วโมง

4) กรองสารละลายจากการสกัด (Leachate) ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน

5) นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวัดค่า pH และวิเคราะห์หาค่าปริมาณโลหะหนักโดยใช้เครื่อง AA

4.2.2 การศึกษาหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้นในการทำเสถียรกากตะกรัน จากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า

ในการวิจัยขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษาเพื่อหาชนิดวัสดุประสานและอัตราส่วนของวัสดุประสานเบื้องต้น ในการทำเสถียรกากตะกรัน และการทำให้เป็นก้อนแข็ง โดยนำวัสดุประสานมาเติมในของเสียและทำให้กากของเสียนั้นเป็นก้อนแข็ง มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น และสารมลพิษถูกทำให้เสถียรและถูกจับดักไว้ ภายในโมเลกุลของก้อนมวลแข็งที่แข็งตัว โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

ทำการหล่อก้อนตัวอย่างส่วนผสมละ 6 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบระยะเวลาบ่มตัว 7 วันจำนวน 3 ตัวอย่าง และทดสอบระยะเวลาการบ่ม 28 วันจำนวน 3 ตัวอย่าง

ค่าส่วนผสมในแต่ละส่วนของตัวอย่างกากตะกรัน แสดงดังตารางที่4.1

1. ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งเป็นวัสดุประสาน โดยใช้ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 10 20 และ30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 [1]

2. ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เป็นวัสดุประสาน โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5

---

[1] การใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 เพราะจากผลการศึกษาที่ผ่านมาใช้น้ำที่อัตราส่วนนี้แล้วให้ผลดี

ตารางที่4.1 อัตราส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆที่ใช้ในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า ให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น

วัสดุประสาน	อัตราส่วนผสมของวัสดุประสานเทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน (ร้อยละ)
1.ปูนซีเมนต์	10 20 และ30
2.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก)	10 20 และ30
3.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซัลไฟต์ (10% โดยน้ำหนัก)	10 20 และ30
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซัลไฟต์ (20% โดยน้ำหนัก)	10 20 และ30
5.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1:1) ผสมโซเดียมซัลไฟต์(10% โดยน้ำหนัก)	10 20 และ30
6. ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1:1) ผสมโซเดียมซัลไฟต์(20% โดยน้ำหนัก)	10 20 และ30

หมายเหตุ ชนิดวัสดุประสานที่ 3 4 5 และ 6 จะทำการผสมวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ ปูนขาวและกากตะกรัน) แล้วผสมกับน้ำก่อน จึงเติมโซเดียมซัลไฟต์ทีหลัง

3. ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมโซเดียมซัลไฟต์ร้อยละ10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5

4. ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมโซเดียมซัลไฟต์ร้อยละ20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5

5. ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ผสมโซเดียมซัลไฟต์ร้อยละ10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5

6. ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ผสมโซเดียมซัลไฟต์ร้อยละ20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5

หลังจากนั้น นำก้อนตัวอย่างที่บ่มครบตามเวลาแล้ว มาทดสอบหาค่า

- กำลังรับแรงอัด
- ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด
- ความหนาแน่นก้อนตัวอย่าง

ในการพิจารณาเพื่อเลือกชนิด และอัตราส่วนวัสดุประสานเบื้องต้น ในการทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่านี้ เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงแนวทางในการบำบัดกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้สามารถนำไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ ดังนั้น วิธีการทดสอบสมบัติของก้อนตัวอย่างจะยึดถือปฏิบัติตามข้อกำหนดดังนี้ การทดสอบกำลังรับแรงอัด ใช้ข้อกำหนดของประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่1 (พ.ศ. 2531) [2] ความหนาแน่น และการสกัดสาร ใช้ข้อกำหนดของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่6 (พ.ศ. 2540) โดยกำหนดการทดสอบดังนี้

1.กำลังรับแรงอัด

กำหนดใช้ค่า Unconfined compressive strength โดยทำการทดสอบจากก้อนตัวอย่างลูกบาศก์ ขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร ที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C109-86 โดยเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด(รูปที่4.2)

2.ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด

โดยการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน โดยใช้วิธีการสกัดสารตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่6 (พ.ศ. 2540) กำหนดไว้ดังนี้ บดตัวอย่างให้เป็นผง

[2] การศึกษานี้เริ่มดำเนินการก่อนที่จะมีประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่6 (พ.ศ. 2540)

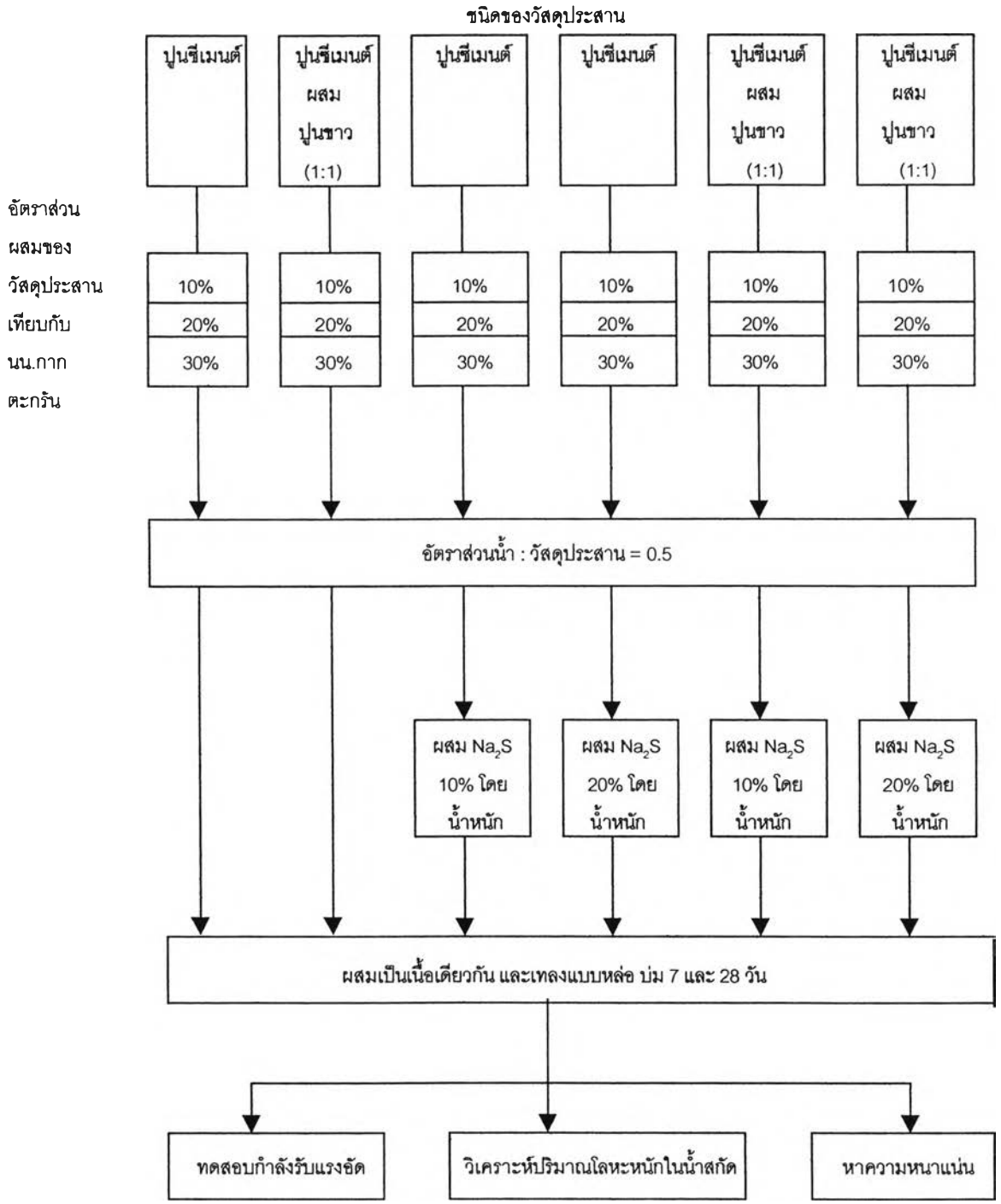
I 19235665

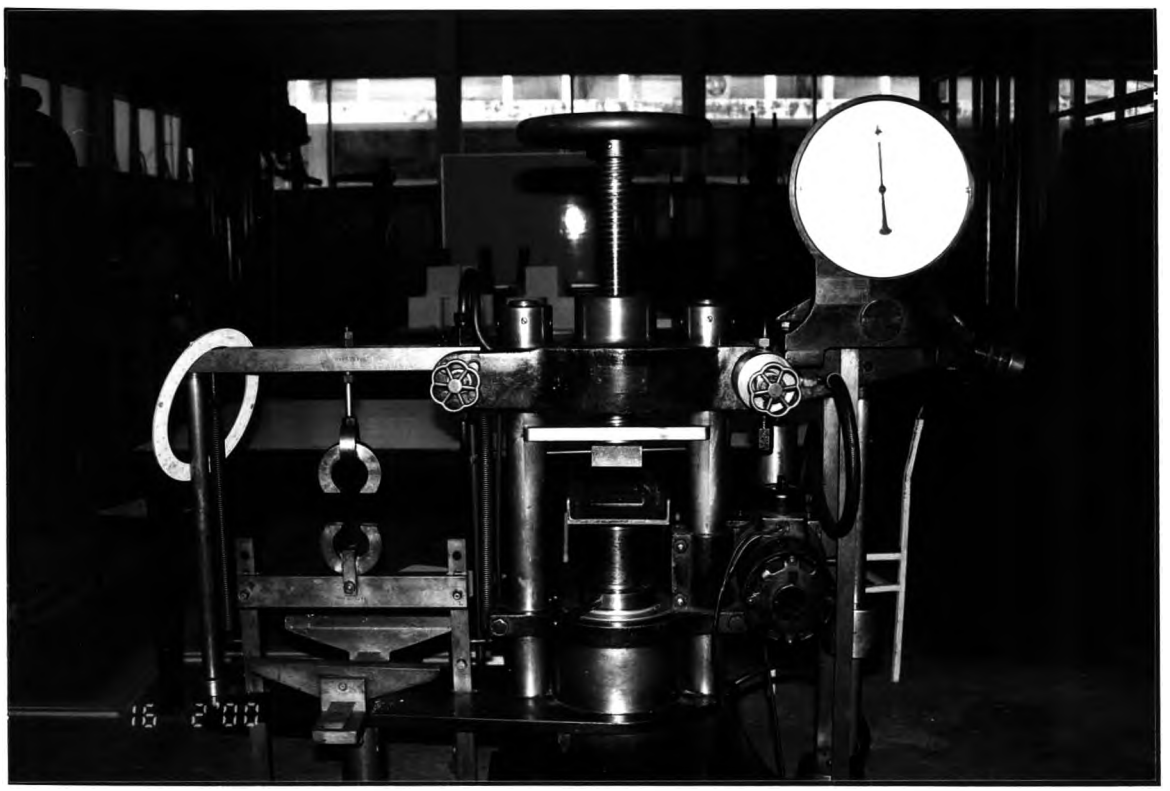
แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร หนัก 25 กรัม เติมด้วยน้ำสกัด (Leachate) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์(Synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก(ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนค่าความเป็นกรดด่างพีเอช(pH) ของส่วนผสม(Mixture) มีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของส่วนผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน(Rotary agitator) ที่มีอัตราหมุน 30 รอบต่อนาที(รูปที่4.3)เป็นเวลา 18 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองสารละลายจากการสกัด (Leachate) ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอนแล้วนำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวัดค่า pH และวิเคราะห์หาค่าปริมาณโลหะหนักโดยใช้เครื่องAA(รูปที่4.4)

วิธีการหล่อก้อนตัวอย่าง

ชั่งวัสดุที่ใช้ในการหล่อก้อนซีเมนต์ ตามมาตรฐานของ ASTM C 109-86 สำหรับหล่อแบบขนาด 5x5x5 ลบ.ซม. ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5 และใช้อัตราส่วนกากตะกรันต่อวัสดุประสานตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ การผสมใช้วิธีผสมด้วยมือ โดยผสมกากตะกรัน และวัสดุประสานแต่ละชนิดตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ให้เข้ากัน เมื่อเข้ากันดีแล้วกองซีเมนต์ที่ผสมแล้วเป็นรูปภูเขา และให้มีหลุมตรงกลาง เติมน้ำลงในหลุมกลางและตักส่วนผสมจากด้านข้างลงในกลางหลุมด้วย ในเวลา 30 วินาที เริ่มผสมให้เข้ากันด้วยเกรียงในเวลา 1 นาที 30 วินาที เทซีเมนต์ที่ผสมแล้วลงในแบบหล่อ(รูปที่ 4.5) ภายในเวลาไม่เกิน 2 นาที 30 วินาทีหลังการผสมเสร็จ การหล่อจะแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยชั้นแรกจะหนาประมาณ 1 นิ้ว หรือ 2.5 เซนติเมตร แล้วใช้ Tamper กระทุ้งชั้นละ 16 ครั้ง โดย 8 ครั้งแรกจะมีทิศทางตั้งฉากกับ 8 ครั้งหลัง ให้ใช้แรงกระทุ้งพอประมาณและเท่ากันตลอด ใช้เวลาประมาณ 5 วินาที เติมซีเมนต์ชั้นที่ 2 ให้เลยขอบแบบหล่อเล็กน้อย และใช้มือป้องขณะกระทุ้ง ใช้ Tamper กระทุ้ง 16 ครั้ง เช่นเดียวกับครั้งแรก เมื่อเสร็จแล้วให้ใช้เกรียงปาดส่วนเกินออกในลักษณะคล้ายเลื่อย หลังจากหล่อแบบเสร็จ ให้นำตัวอย่างพร้อมแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นทันที และถอดแบบในเวลา 24 ชั่วโมง บ่มตัวอย่างต่อจนครบ 7 และ 28 วัน โดยใช้ผ้ากระสอบชุ่มน้ำคลุมทับ นำตัวอย่างไปทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยใช้เครื่อง Compressive Strength ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หาค่าความหนาแน่นของตัวอย่าง โดยชั่งน้ำหนัก ของก้อนตัวอย่างและหารด้วยปริมาตรของก้อนตัวอย่าง

รูปที่4.1 รูปแสดงขั้นตอนการหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น ในการทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า

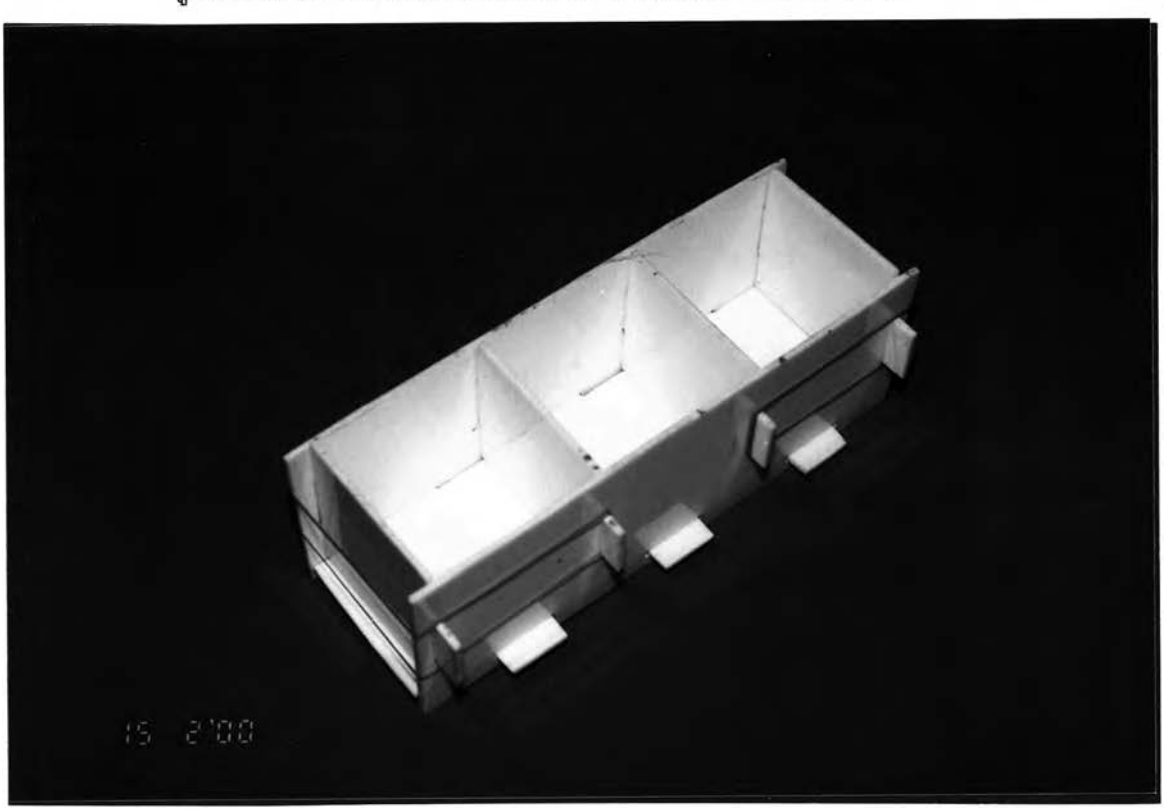




รูปที่ 4.2 เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด

รูปที่4.3 เครื่องกวนเขย่าหมุน(Rotary agitator)

รูปที่4.4 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AA)



รูปที่4.5 แบบหล่อก้อนตัวอย่างขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร

4.2.3 การศึกษาหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการทำเสถียรกากตะกรัน จากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า

จากผลการศึกษาการหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้นในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อนแข็ง เมื่อพิจารณา ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และลักษณะสมบัติของน้ำสกัด พบว่าเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซัลไฟต์10% และปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)ผสมโซเดียมซัลไฟต์20% เป็นวัสดุประสาน ที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อกากตะกรันร้อยละ30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน สามารถมีประสิทธิภาพในการทำให้กากตะกรันเป็นก้อนแข็งได้ดีตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ และการใช้ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซัลไฟต์20% เป็นวัสดุประสาน ในอัตราส่วนวัสดุประสานต่อกากตะกรันร้อยละ20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ก็มีประสิทธิภาพในการทำให้กากตะกรันเป็นก้อนแข็งได้ดีตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนการใช้ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1) และปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)ผสมโซเดียมซัลไฟต์10% เป็นวัสดุประสาน ที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อกากตะกรันร้อยละ30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน จะมีประสิทธิภาพในการทำให้กากตะกรันเป็นก้อนแข็งได้ดีใกล้เคียงกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ สำหรับในขั้นตอนการศึกษาหาชนิด และอัตราส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดนี้ ได้ทำการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสม เพื่อให้ได้ชนิดและอัตราส่วนผสมของวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด คือใช้วัสดุประสานที่เหมาะสม และใช้วัสดุประสานในปริมาณที่ไม่มากหรือน้อยจนเกินไป เพื่อทำให้กากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าเป็นก้อนมีสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ค่าส่วนผสมในแต่ละส่วนของตัวอย่างกากตะกรัน แสดงดังตารางที่4.2

ตารางที่4.2 อัตราส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆที่ใช้ในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด

วัสดุประสาน	อัตราส่วนผสมของวัสดุประสานเทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน (ร้อยละ)
1.ปูนซีเมนต์	23 25 27 และ30
2.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก)	30 33 35 และ37
3.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซัลไฟต์ (10% โดยน้ำหนัก)	23 25 27 และ30

ตารางที่4.2(ต่อ) อัตราส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด

วัสดุประสาน	อัตราส่วนผสมของวัสดุประสานเทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน (ร้อยละ)
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซัลไฟต์ (20% โดยน้ำหนัก)	13 15 17 และ20
5.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1:1) ผสมโซเดียมซัลไฟต์(10% โดยน้ำหนัก)	30 33 35 และ37
6. ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1:1) ผสมโซเดียมซัลไฟต์(20% โดยน้ำหนัก)	23 25 27 และ30

หมายเหตุ ชนิดวัสดุประสานที่ 3 4 5 และ 6 จะทำการผสมวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ ปูนขาวและกากตะกรัน) แล้วผสมกับน้ำก่อน จึงเติมโซเดียมซัลไฟต์ทีหลัง

สำหรับขั้นตอน การผสมวัสดุประสานกับกากตะกรันเพื่อหล่อก้อนตัวอย่าง การทดสอบกำลังรับแรงอัด หาความหนาแน่น การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด ตลอดจนการพิจารณาเพื่อเลือกชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด ได้ดำเนินการเช่นเดียวกับขั้นตอนการศึกษาหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น

4.2.4 การศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

จากผลการศึกษาการหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อนแข็ง เมื่อพิจารณา ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด และค่าใช้จ่ายในการทำกากตะกรันให้เป็นก้อนแข็ง พบว่าการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ที่อัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อกากตะกรันร้อยละ25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน สามารถมีประสิทธิภาพในการทำให้กากตะกรันเป็นก้อนแข็งได้ดีตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ และมีค่าใช้จ่ายในการทำกากตะกรันให้เป็นก้อนแข็งน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้วัสดุประสานชนิดอื่น ดังนั้นในขั้นตอนการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน จะทำการหล่อก้อนตัวอย่างโดยทำการผสมกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่ากับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันร้อยละ25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และทำการแปรอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานอีก 4 ค่าคือ 0.3 0.4 0.6

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

และ0.7 เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานโดยพิจารณาจาก กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

สำหรับขั้นตอน การผสมวัสดุประสานกับกากตะกรันเพื่อหล่อก้อนตัวอย่าง การทดสอบกำลังรับแรงอัด หาความหนาแน่น การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด ได้ดำเนินการเช่นเดียวกับขั้นตอนการศึกษาหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น

ขั้นตอนการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน แสดงดังรูปที่4.7

รูปที่4.7 รูปแสดงขั้นตอนการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ในการทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า