บทที่ 4
การดำเนินการวิจัย

4.1 แผนการวิจัย

การวิจัยนี้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และ ห้องปฏิบัติการคอนกรีตของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

- วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) กากตะกรันจากเตาหลอมเหล็ก

กากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กได้จากกากตะกรันจากการหลอมเศษเหล็กในเตาหลอมไฟฟ้าเพื่อผลิตเหล็กเส้น โดยมีกากตะกรัน 2 อย่าง คือ

1.1) กากตะกรันดำ (Oxidizing slag)

1.2) กากตะกรันขาว (Reducing slag)

2) วัสดุประสาน

วัสดุประสานหรือวัสดุผสมที่ใช้ในการศึกษา เลือกใช้วัสดุประเภทซีเมนต์ (Cementitious binder) เนื่องจากวัสดุประเภทซีเมนต์มีคุณสมบัติในการยึดเกาะทำให้เป็นก้อนแข็งได้ดี เป็นวัสดุที่หาได้ง่าย และราคาไม่แพง การทดลองครั้งนี้ เลือกใช้วัสดุประสานชนิดต่าง ๆ ดังนี้

2.1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)

2.2) ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (อัตราส่วนผสม 1:1 โดยน้ำหนัก)

2.3) ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต

2.4) ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซิลิเกต

4.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

1) Hydrochloric Acid
2) Sulfuric Acid
3) Nitric Acid
4) น้ำกลั่น

4.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

4.1.3.1 การทดลองผสมกากตะกรันกับวัสดุประสานและการทดสอบกำลังรับแรงอัด

1) เครื่องชั่งน้ำหนัก 2,000 กรัม อ่านได้ละเอียดถึง 0.2 กรัม
2) แบบหล่อพลาสติกขนาด 5x5x5 เซนติเมตร
3) ภาชนะสำหรับผสมซีเมนต์
4) แทมเปอร์ (Tamper) มีขนาดหน้าตัด 0.5 นิ้ว x 1 นิ้ว มีความยาวประมาณ 5-6นิ้ว หน้าตัดเรียบ และตั้งฉากกับแกนจับ ทำด้วยวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ
5) เกรียงฉาบซีเมนต์ ความกว้างของใบ 4 ถึง 6 นิ้ว
6) เครื่องทดสอบแรงอัด (Testing Machine)
7) Sieve No. 20-16,30-20 และ > 30

4.1.3.2 การทดสอบการสกัดสาร

1) Sieve ขนาด 9.5 มิลลิเมตร
2) ขวดพลาสติกปริมาณ 1 ลิตร
3) ขวดวัดปริมาตร 500 มิลลิลิตร
4) เครื่องชั่งสารเคมี 1,000 กรัม
5) เครื่องกวนเขย่าหมุน (Rotary agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที
6) กระดาษกรองใยแก้วขนาดรู 0.6 - 0.8 ไมครอน
7) เครื่องวัดพีเอช
8) เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก Atomic Absorption Spectrophotometer

4.2 วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้กำหนดแนวทางการศึกษาไว้ 3 ขั้นตอน คือ

1. การศึกษาหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสม
2. การศึกษาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสม
3. การศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

สัดส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการศึกษาทั้ง 3 ขั้นตอน แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

4.2.1 การศึกษาหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสม

การศึกษาหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสม เป็นการศึกษาเพื่อพิจารณาหาชนิดของวัสดุประสาน ที่มีประสิทธิภาพในการทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าให้เป็นก้อนได้ดีกว่าในกลุ่มวัสดุประสานชนิดอื่นๆ ที่เลือกใช้ สำหรับการศึกษาหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสมได้ทำการทดสอบกับกากตะกรันดำและกากตะกรันขาว ขั้นตอนการผสมกากตะกรันกับวัสดุประสานอธิบายในข้อ 4.4 โดยกำหนดสัดส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆ ดังนี้

1. สัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งกับกากตะกรันดำ โดยใช้ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5*

สัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งกับกากตะกรันขาว โดยใช้ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5

2. สัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 กับกากตะกรันดำ โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5

---

* การใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.6 เป็นการใช้ปริมาณน้ำ 50% ของวัสดุประสาน ซึ่งจากผลการศึกษาที่ผ่านมา (Ching-Lung,1989, Youn,1990 และ ประเสริฐ,2541) ใช้น้ำที่อัตราส่วนนี้แล้วได้ผลดี จึงนำมาใช้เป็นอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทดลองเบื้องต้น และจะทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กให้เป็นก้อน

ประเภทกากตะกรัน	วัสดุประสาน	อัตราส่วนผสมของวัสดุประสาน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
การศึกษาหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสม		
กากตะกรันดำ	1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง	10,20 และ 30
	2. ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1:1 โดยน้ำหนัก)	10,20 และ 30
	3. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (10% โดยน้ำหนัก)	10,20 และ 30
	4. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (20% โดยน้ำหนัก)	10,20 และ 30
	5. ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1:1) ผสมโซเดียมซิลิเกต (10% โดยน้ำหนัก)	10,20 และ 30
	6. ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1:1) ผสมโซเดียมซิลิเกต (20% โดยน้ำหนัก)	10,20 และ 30
กากตะกรันขาว	1. ปูนซีเมนต์	10,20 และ 30
	2. ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1:1 โดยน้ำหนัก)	10,20 และ 30
	3. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (10% โดยน้ำหนัก)	10,20 และ 30
	4. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (20% โดยน้ำหนัก)	10,20 และ 30
	5. ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1:1) ผสมโซเดียมซิลิเกต (10% โดยน้ำหนัก)	10,20 และ 30
	6. ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1:1) ผสมโซเดียมซิลิเกต (20% โดยน้ำหนัก)	10,20 และ 30
การศึกษาการทำกากตะกรันให้เป็นก้อนด้วยปูนขาว (ศึกษาเพิ่มเป็นพิเศษ)		
กากตะกรันดำ	ปูนขาว	10,15,20,25,30,35,40,50,60 และ 70
กากตะกรันขาว	ปูนขาว	10,15,20,25,30,35,40,50,60 และ 70
การศึกษาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสม		
กากตะกรันดำ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง	15,18,22 และ 25
กากตะกรันขาว	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง	15,18,22 และ 25
การศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน		
กากตะกรันดำ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง	15
กากตะกรันขาว	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง	15

อัตส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 กับกากตะกรันขาว โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5

3. อัตส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์ กับกากตะกรันดำ โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5

อัตส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์ กับกากตะกรันขาว โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5

4. อัตส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์ กับกากตะกรันดำ โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5

อัตส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์ กับกากตะกรันขาว โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5

5. อัตส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ผสมโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์ กับกากตะกรันดำ โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5

อัตส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ผสมโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์ กับกากตะกรันขาว โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5

6. อัตส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ผสมโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์ กับกากตะกรันดำ โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5

อัตส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ผสมโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์ กับกากตะกรันขาว โดยใช้วัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5

การผสมกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กกับวัสดุประสาน ทำการผสมด้วยมือ โดยนำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กที่ผ่านการย่อยขนาดด้วยการทุบ ให้มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 2 มิลลิเมตร มาใส่ภาชนะที่ใช้ผสมและเติมวัสดุประสานลงไปตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่กำหนดไว้แล้วกวนผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นจึงเติมน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ลงไปในส่วนผสมเพื่อผสมให้เข้ากันดี ในกรณีที่ใช้โซเดียมซิลิเกตเป็นส่วนผสมด้วย จะทำการผสมโซเดียมซิลิเกตลงไปในน้ำที่เตรียมไว้เติมในส่วนผสมก่อน แล้วจึงค่อยเติมน้ำที่ผสมโซเดียมซิลิเกตลงไปในส่วนผสม จากนั้นส่วนผสมจะถูกเทลงไปในแบบหล่อ (รูปที่ 4.3) และกระทุ้งให้เท่ากันตลอดตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 109 – 86 กล่าวคือ การหล่อจะแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยชั้นแรกจะหนาประมาณ 1 นิ้ว แล้วใช้ Tamper กระทุ้งชั้นละ 16 ครั้ง โดย 8 ครั้งแรก จะมีทิศทางตั้งฉากกับ 8 ครั้งหลัง ให้ใช้แรงกระทุ้งพอประมาณและเท่ากันตลอด การเติมส่วนผสมครั้งที่ 2 ให้เลยขอบแบบหล่อเล็กน้อยและใช้มือป้องขณะกระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรก เมื่อเสร็จแล้วให้ใช้เกรียงปาดส่วนผสมส่วนเกินออกไป หลังจากหล่อเสร็จนำแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดจึงถอดแบบออกและบ่มก้อนตัวอย่างโดยใช้ผ้าชุ่มน้ำคลุมทับจนถึงเวลาทดสอบก้อนตัวอย่าง

การศึกษาการทำกากตะกรันให้เป็นก้อนด้วยปูนขาว เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กให้เป็นก้อนด้วยปูนขาว เป็นการศึกษาเพิ่มเติมพิเศษเพื่อพิจารณาสมบัติของก้อนตัวอย่างของกากตะกรันที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งโดยใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสาน แทนการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน โดยทำการผสมกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้งกากตะกรันดำและกากตะกรันขาวกับปูนขาว โดยทำการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสมของปูนขาว เพื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนผสมที่มีต่อสมบัติของก้อนตัวอย่าง ซึ่งได้แก่ กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และ ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด ในการศึกษาขั้นตอนนี้ ได้กำหนดอัตราส่วนผสม ดังนี้

1. กากตะกรันดำ ใช้ปูนขาว เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 15 20 25 30 35 40 50 60 และ 70 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.8

2. กากตะกรันขาว ใช้ปูนขาว เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 15 20 25 30 35 40 50 60 และ 70 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.8

สำหรับขั้นตอนการผสมกากตะกรันกับปูนขาวได้ดำเนินการเช่นเดียวกับการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน

4.2.2 การศึกษาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสม

จากผลการศึกษาหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสมที่มีสมบัติในการทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กให้เป็นก้อนได้ดีที่สุด จากวัสดุประสาน 4 ชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต และ ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซิลิเกต ซึ่งพบว่า วัสดุประสานที่ดีที่สุดในการทำกากตะกรันดำและกากตะกรันขาวให้เป็นก้อนแข็ง คือ ปูนซีเมนต์ ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน สำหรับในขั้นตอนการศึกษาอัตราส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมนี้ ได้ทำการผสมกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กกับปูนซีเมนต์ โดยทำการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสม เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด คือ ใช้วัสดุประสานในปริมาณที่ไม่มากหรือน้อยจนเกินไป เพื่อทำให้กากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กให้เป็นก้อนมีสมบัติด้านกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในการศึกษาอัตราส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสม ได้กำหนดอัตราส่วนผสม ดังนี้

1. กากตะกรันดำ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 15 18 22 และ 25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5

2. กากตะกรันขาว ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 15 18 22 และ 25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5

สำหรับขั้นตอนการผสมกากตะกรันกับวัสดุประสานได้ดำเนินการเช่นเดียวกับขั้นตอนการศึกษาหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสม

4.2.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

ผลจากการศึกษาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสม สามารถกำหนดสัดส่วนผสมที่เหมาะสม ได้ดังนี้ คือ อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันดำ เท่ากับ ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และ อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันขาว เท่ากับ ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ดังนั้นในขั้นตอนศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานจึงทำการผสมกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม โดยทำการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ดังนี้ คือ 0.3 0.4 0.6 0.7 และ 0.8 เพื่อ

ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์) ที่มีต่อสมบัติของก้อนตัวอย่าง ซึ่งได้แก่ กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และ ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด

สำหรับการผสมกากตะกรันกับวัสดุประสานและน้ำเป็นไปเช่นเดียวกับขั้นตอนแรก

4.3 การศึกษาสมบัติของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้า

กากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษา ได้นำมาวิเคราะห์หาสมบัติต่างๆ ดังนี้

4.3.1 สมบัติทางด้านกายภาพ

1. การดูดซึม

ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 127- 80 โดยการแช่ตัวอย่างกากตะกรันจมน้ำเป็นเวลา 24 ± 4 ชั่วโมง จากนั้น นำตัวอย่างมาทำให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวและผิวแห้ง โดยการเช็ดที่ผิวของตัวอย่างให้แห้งด้วยผ้าที่ดูดซับน้ำได้ดี แล้วนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก เสร็จทำให้แห้งสนิทโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C ประมาณ 1 ถึง 3 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง น้ำหนักที่หายไปหลังจากได้รับความร้อนจะแสดงถึงปริมาณความจุของการดูดซึม

2. การกระจายขนาดคละ

ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 136 – 80 โดยการร่อนตัวอย่างกากตะกรันผ่านตะแกรง (sieve) ขนาดเบอร์ต่างๆ ได้แก่ เบอร์ 4, 8, 10, 30, 50, 100 และ 200 แล้วชั่งน้ำหนักกากตะกรันที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละขนาด แล้วนำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ เพื่อหาขนาดโดยเฉลี่ย และค่า Coefficient of Uniformity (C_u) ของตัวอย่างกากตะกรัน การทดสอบนี้ทดสอบที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

นำตัวอย่างกากตะกรันมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาปริมาตรโดยการแทนที่ตัวอย่างกากตะกรันในปรอท หลังจากนั้นนำค่าน้ำหนักและปริมาตรที่หาได้ มาคำนวณหาความหนาแน่นรวม

4.3.2 สมบัติทางด้านเคมีของกากตะกรัน

ได้ทำการศึกษาหาองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญ โดยมุ่งเน้นปริมาณโลหะหนักที่จัดเป็นโลหะหนักอันตรายในเนื้อกากตะกรัน โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกรันด้วยกรดเข้มข้น และทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดกรดอ่อน

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกรันด้วยกรดเข้มข้น ทำโดยย่อยกากตะกรันอย่างรุนแรงในกรดไนตริก ตามวิธีมาตรฐานของ U.S. EPA method 3050 โดยการนำตัวอย่างกากตะกรัน 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 125 มล. เติมกรดไนตริกผสมน้ำกลั่น (อัตราส่วน 1:1) ปริมาณ 10 มล. แล้วนำบีกเกอร์มาตั้งบนเตา อุณหภูมิ 95 ^{o}C ประมาณ 10 นาที รอจนตัวอย่างเย็นแล้วจึงเติม กรดไนตริกเข้มข้น 5 มล. และนำมาตั้งบนเตาอีกประมาณ 30 นาที รอจนตัวอย่างเย็นแล้วจึงเติมน้ำกลั่น 2 มล. และเติม 30 % ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 3 มล. แล้วนำบีกเกอร์มาตั้งบนเตา รอจนกระทั่งฟองอากาศที่เกิดจากปฏิกิริยาเปอร์ออกไซด์หายไป แล้วค่อยๆ เติม 30 % ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ทีละ 1 มล. จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศ แล้วตั้งบนเตาต่อไปจนกระทั่งเหลือปริมาตรกรดลดลงเหลือ 2 มล. แล้วจึงนำบีกเกอร์ลงจากเตาแล้วเติมน้ำกลั่นปริมาณ 10 มล. แล้วเขย่าให้เข้ากัน หลังจากนั้นรอจนตัวอย่างเย็น แล้วจึงนำน้ำที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 42 แล้วนำน้ำที่ได้มาเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล. แล้วจึงนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก Atomic Absorption Spectrophotometer (AA)

สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดกรดอ่อน ใช้วิธีการสกัดสารตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) และนำน้ำสกัดมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนัก ได้แก่ อาร์เซนิค แคดเมียม โครเมียม ปรอท ตะกั่ว และ เหล็ก ด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก Atomic Absorption Spectrophotometer (AA)

นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกรันทั้ง 2 ประเภท แสดงผลในรูปออกไซด์ของธาตุต่างๆ วิเคราะห์โดยเครื่อง Energy Dispersive X-ray

Spectrometer ส่งไปทำการวิเคราะห์ที่ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การทดสอบสมบัติของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสาน

การผสมกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กกับวัสดุประสาน ทำการผสมด้วยมือ โดยนำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กที่ผ่านการย่อยขนาดด้วยการทุบ ให้มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 2 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.1 และ 4.2) มาใส่ภาชนะที่ใช้ผสมและเติมวัสดุประสานลงไปตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่กำหนดไว้แล้วกวนผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นจึงเติมน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ลงไปในส่วนผสมเพื่อผสมให้เข้ากันดี ในกรณีที่ใช้โซเดียมซิลิเกตเป็นส่วนผสมด้วย จะทำการผสมโซเดียมซิลิเกตลงไปในน้ำที่เตรียมไว้เติมในส่วนผสมก่อน แล้วจึงค่อยเติมน้ำที่ผสมโซเดียมซิลิเกตลงไปในส่วนผสม จากนั้นส่วนผสมจะถูกเทลงไปในแบบหล่อ (รูปที่ 4.3) และกระทุ้งให้เท่ากันตลอดตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 109 – 86 กล่าวคือ การหล่อจะแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยชั้นแรกจะหนาประมาณ 1 นิ้ว แล้วใช้ Tamper กระทุ้งชั้นละ 16 ครั้ง โดย 8 ครั้งแรก จะมีทิศทางตั้งฉากกับ 8 ครั้งหลัง ให้ใช้แรงกระทุ้งพอประมาณและเท่ากันตลอด การเติมส่วนผสมครั้งที่ 2 ให้เลยขอบแบบหล่อเล็กน้อยและใช้มือป้องขณะกระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรก เมื่อเสร็จแล้วให้ใช้เกรียงปาดส่วนผสมส่วนเกินออกไป หลังจากหล่อเสร็จนำแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดจึงถอดแบบออกและปิดก้อนตัวอย่างโดยใช้ผ้าชุบน้ำคลุมทับจนถึงเวลาทดสอบก้อนตัวอย่าง

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงแนวทางในการบำบัดกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าให้สามารถนำไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ ดังนั้น วิธีการทดสอบสมบัติของก้อนตัวอย่างจะยึดถือปฏิบัติตามข้อกำหนดดังนี้ การทดสอบกำลังรับแรงอัด ใช้ข้อกำหนดของประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)* การสกัดสาร ใช้ข้อกำหนดของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) โดยกำหนดการทดสอบดังนี้

4.4.1 กำลังรับแรงอัด

กำหนดใช้ค่า Unconfined compressive strength โดยทำการทดสอบจากก้อนตัวอย่างลูกบาศก์ ขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C 109 - 86 Standard

---

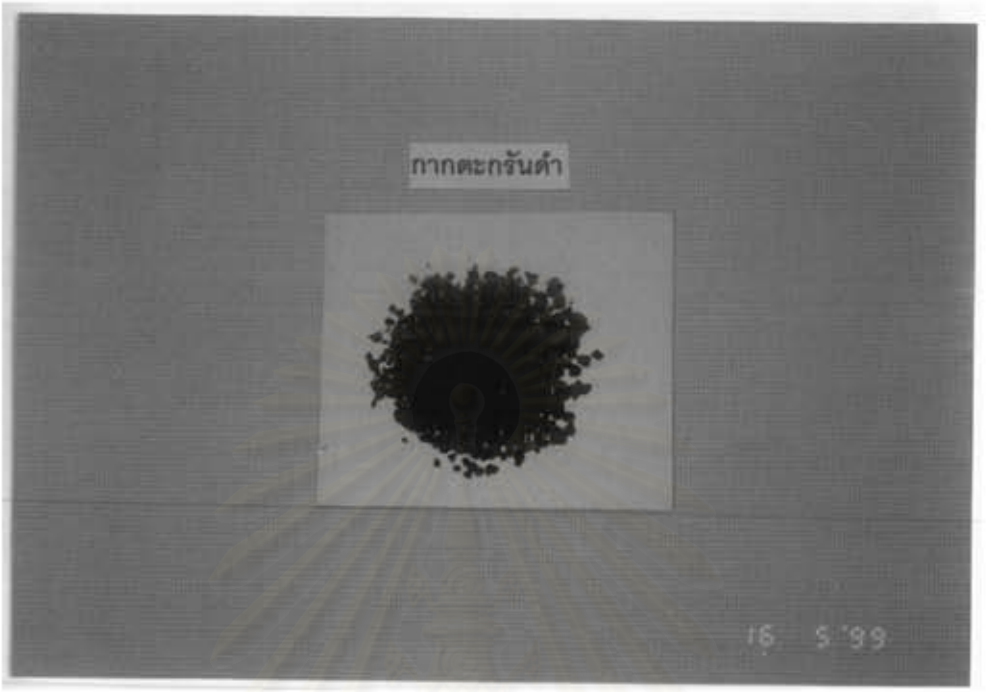
* การศึกษานี้เริ่มดำเนินการก่อนที่จะมีประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50-mm cube specimens) โดยเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด แสดงดังรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 และ ทดสอบที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน

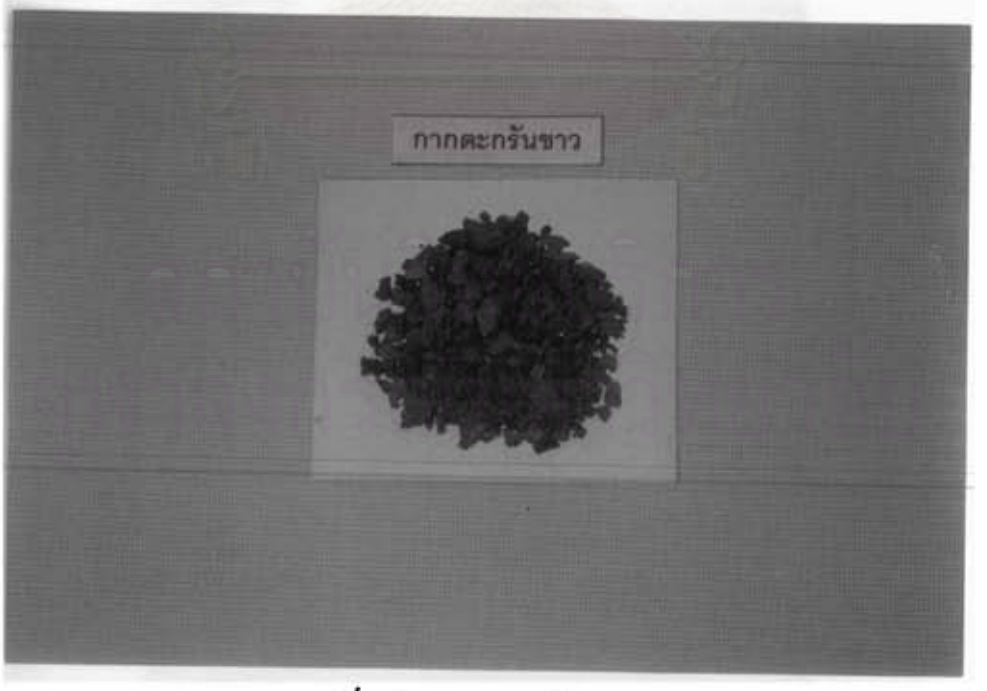
4.4.2 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด

ได้ทำการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน โดยใช้วิธีสกัดสารตามที่ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) กำหนดไว้ สำหรับการศึกษานี้ คือ นำก้อนตัวอย่างที่บดให้มีขนาดเล็กกว่า 9.5 มิลลิเมตร จำนวน 25 กรัม เติมด้วยน้ำสกัดเติมด้วยน้ำสกัด (Leachant) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในอัตส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนกว่าค่าความเป็นกรดด่างพีเอช (pH) ของส่วนผสม (Mixture) มีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงเติมปริมาตรของของผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าหมุน (Rotary agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที (รูปที่ 4.6) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง หลังจากนั้น กรองสารละลายจากการสกัด (Leachant) ด้วยแผ่นกรองใยแก้ว ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.8 ถึง 0.8 ไมครอน แล้วนำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวัดค่า pH และวิเคราะห์หาค่าปริมาณโลหะหนักโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AA)

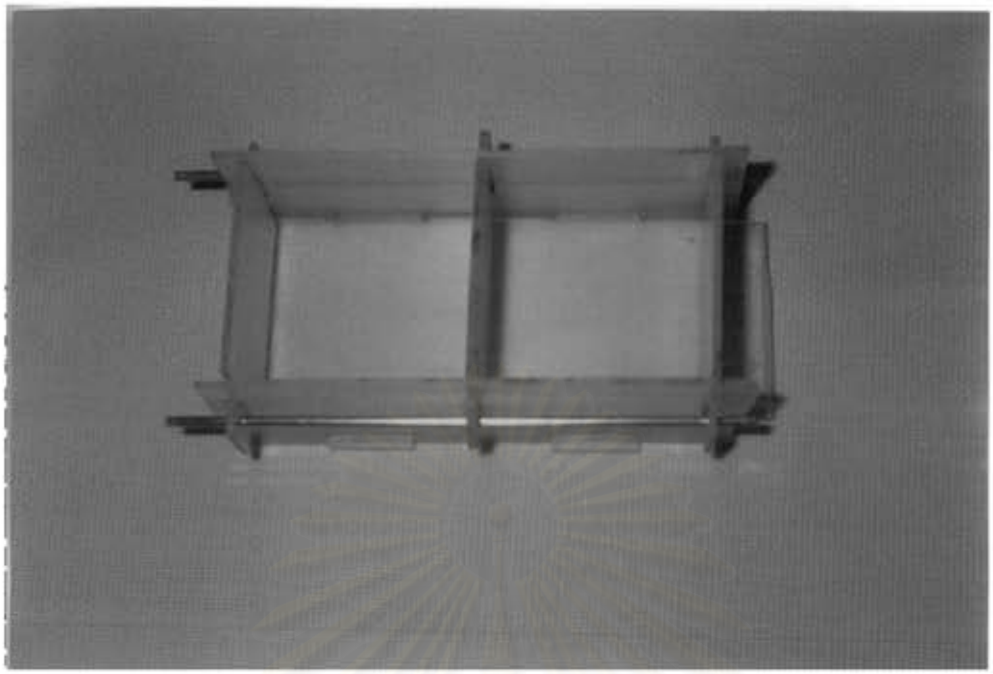
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 กากตะกรันดำ



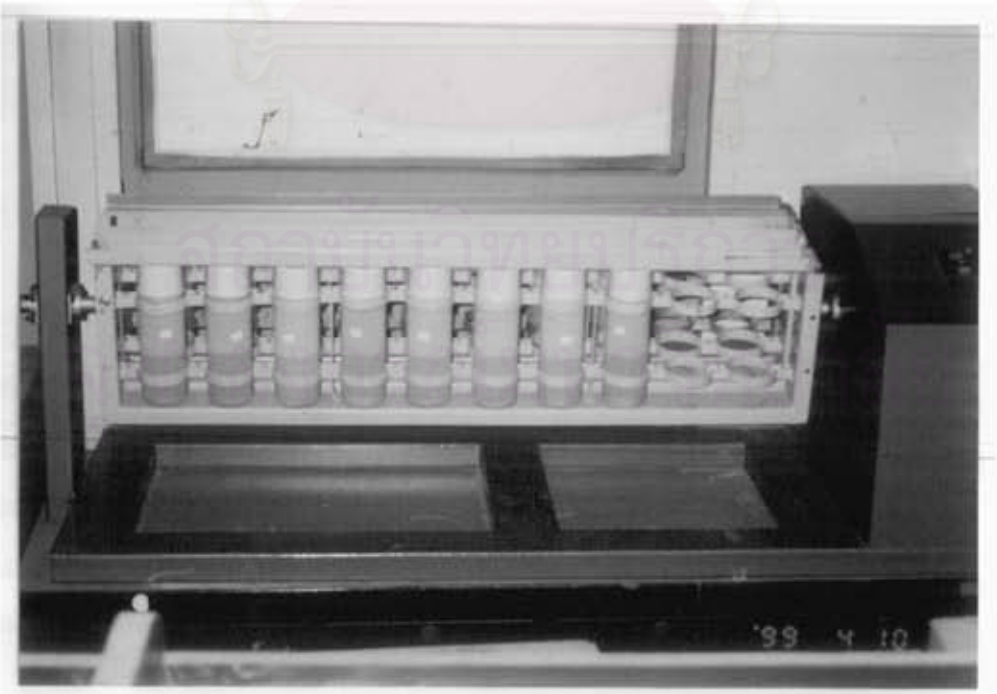
รูปที่ 4.2 กากตะกรันขาว



รูปที่ 4.3 แบบหล่อก้อนตัวอย่างขนาด 5 × 5 × 5 เซนติเมตร

รูปที่ 4.4 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด Autograph วัดแรงอัดได้สูงสุด 1 ตัน

รูปที่ 4.5 เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด ชนิดวัดแรงอัดได้สูงสุด 9 ตัน



รูปที่ 4.6 เครื่องกวนเขย่าหมุน (Rotary agitator)