

บทที่ 3

แผนการดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมการวิจัย

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 คราซัง ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ซึ่งผลิตขึ้นโดยมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM C150-95

3.1.1.2 ใ้ลลยที่ม่ม่การค้ดแยกมุลฝอย

ใช้ใ้ลลยที่ใ้จากบ่ฝงกลบใ้ลลยของโรงเผามูลฝอยจ้งหว้ดฎเก้ต เก้บตั่วอย่างเมื่่ววันที่ 28 ธันวาคม 2544 ในขณะท้โรงค้ดแยกมุลฝอยจ้งหว้ดฎเก้ตย้งม่ใ้ได้เป้ดค้าเน้การค้ดแยกมุลฝอย

3.1.1.3 ใ้ลลยท้ม่การค้ดแยกมุลฝอย

ใช้ใ้ลลยที่ใ้จากบ่ฝงกลบใ้ลลยของโรงเผามูลฝอยจ้งหว้ดฎเก้ต เก้บตั่วอย่างเมื่่ววันที่ 6 มีนาคม 2546 หลังจกท้โรงค้ดแยกมุลฝอยจ้งหว้ดฎเก้ตได้ค้าเน้การค้ดแยกมุลฝอยแ้ล้ประมาณ 1 ปี

3.1.1.4 ทราย

ทรายท้ใช้ผสมมอ้รตาเป็นทรายแม่้น้ำ มีล้กษณะเป็นทรายหยาบ เมื่ดอนุภาคมีเหล้ยมมม ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C778-92a

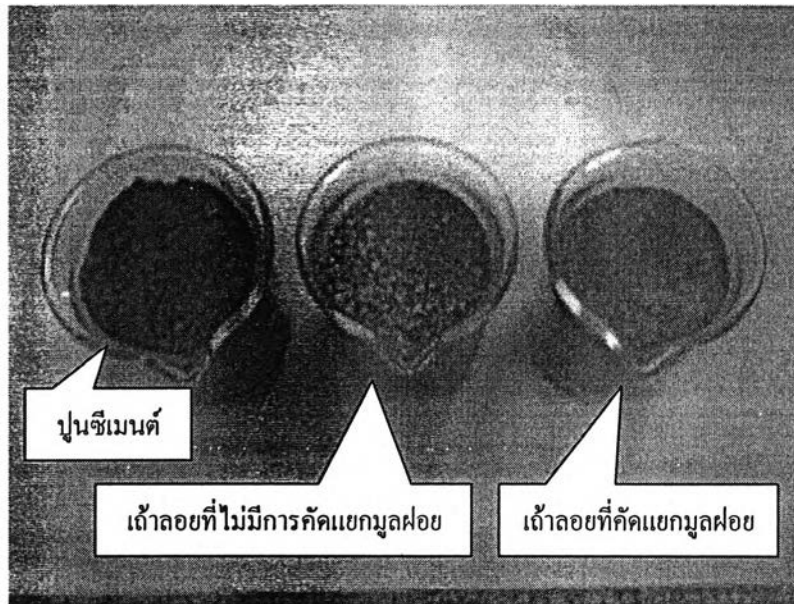
3.1.1.5 น้ำ

น้ำท้ใช้ในการว้จยเป็นน้ำประปา

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2.1 กรดซ้ลฟูร้ก

3.1.2.2 กรดไนตริก



รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ตัวอย่างที่ไม่มีการคัดแยกมวลฝอย และตัวอย่างที่คัดแยกมวลฝอย

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.3.1 ทดสอบลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ

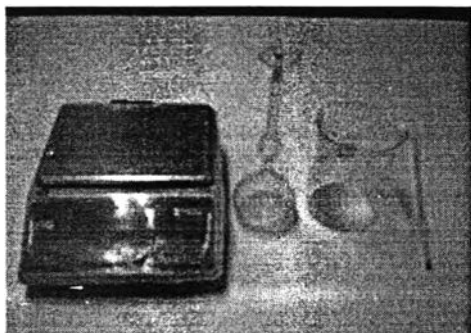
- ตะแกรงเบอร์ 3/8 4 8 16 30 50 100 และ 200
- ชุดทดสอบความถ่วงจำเพาะ
- เตาอบ
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)
- เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Laser Diffraction Particle Size Analyzer)

3.1.1.2 การทำให้เป็นก้อนและการทดสอบกำลังด้านแรงอัด

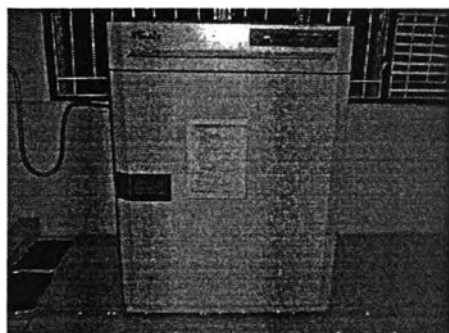
- เครื่องชั่งน้ำหนัก 15,000 กรัม อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
- แบบหล่อเหล็กขนาด 5x5x5 เซนติเมตร
- แบบหล่อคอนกรีตบล็อก
- ภาชนะสำหรับผสมซีเมนต์
- แทมเปอร์ (Tamper) มีขนาดหน้าตัด 0.5 นิ้ว x 1 นิ้ว มีความยาวประมาณ 5-6 นิ้วหน้าตัดเรียบ และตั้งฉากกับแกนจับ ทำด้วยวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ
- เกรียงฉาบซีเมนต์ ความกว้างขอบใน 4 ถึง 6 นิ้ว

- เครื่องทดสอบแรงอัด (Testing Machine)

- ตะแกรงเบอร์ 3/8 4 8 16 30 50 100 และ 200



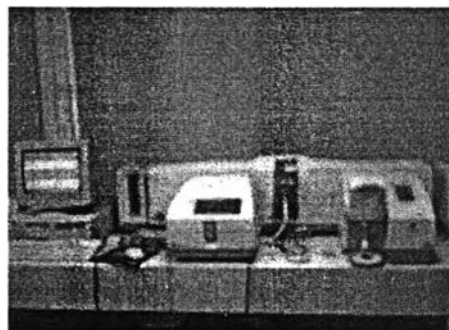
(ก) ชุดทดสอบความถ่วงจำเพาะ



(ข) เตาอบ



(ค) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

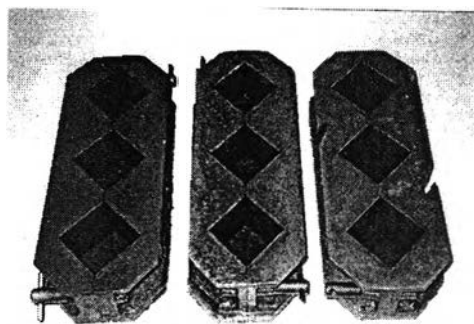


(ง) เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

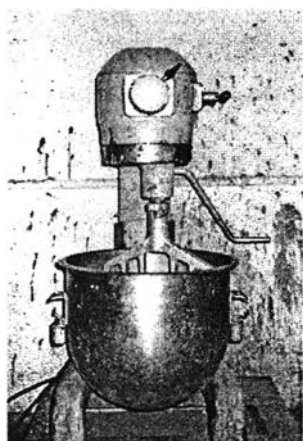
รูปที่ 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ



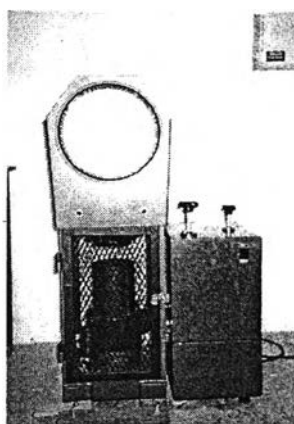
(ก) ตาซั้งและตะแกรงร้อน



(ข)แบบหล่อมอร์ตา



(ค) เครื่องผสม



(ง) เครื่องทดสอบ

กำลังต้านแรงอัด

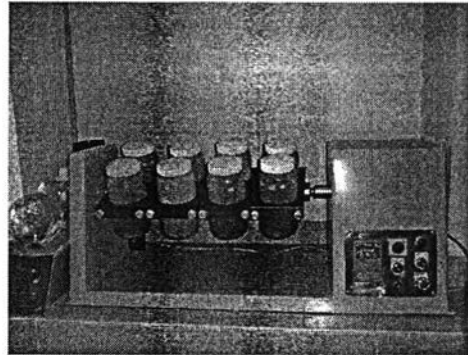
รูปที่ 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทำก่อนและทดสอบกำลังต้านแรงอัด

3.3.3 การทดสอบหาปริมาณโลหะหนักโดยการสกัดสาร

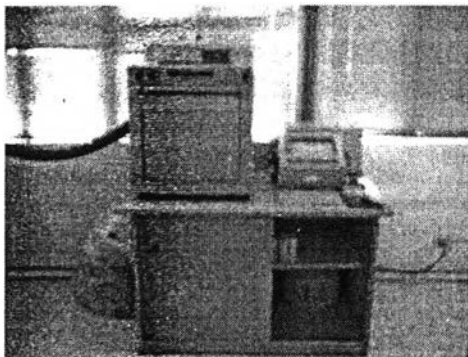
- ตะแกรงขนาด 9.5 มิลลิเมตร
- ขวดพลาสติกปริมาณ 2 ลิตร
- ขวดวัดปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
- เครื่องชั่งสารเคมี 200 กรัม อ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
- เครื่องกวนเขย่าหมุน (Rotary agitator) มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที
- กระดาษกรองใยแก้วขนาดรู 0.6 – 0.8 ไมครอน
- เครื่องวัดพีเอช
- เครื่องย่อยสลายและสกัดสาร (Microwave Digesters)
- เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก Inductively Coupled Plasma Spectrometer(ICP)
- Vacuum Pump



(ก) เครื่องชั่งความละเอียดถึง 0.01 กรัม



(ข) เครื่องกวนเขย่าหมุน



(ค) เครื่องย่อยสลายและสกัดสาร
(Microwave Digesters)



(ง) เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก Inductively Coupled
Plasma Spectrometer (ICP)

รูปที่ 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักโดยการสกัดสาร

3.1.4 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

- อัตราส่วนแก้าลอยต่อปูนซีเมนต์
- อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน
- ระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง

3.2 การดำเนินการวิจัย

การวิจัยแบ่งเป็น 5 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ทดสอบลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ

1. ลักษณะทางกายภาพ

1.1 ความถ่วงจำเพาะ : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยทั้งสองชนิด ทดสอบโดยการแทนที่ในน้ำมันก๊าดตามมาตรฐาน ASTM C188-95

1.2 การกระจายตัวของอนุภาค : ปูนซีเมนต์ และเถ้าลอยที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 ทดสอบโดยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Malvern Particle Size Analyzer Model Mastersizer 2000) ซึ่งสามารถวัดขนาดได้ทั้งตัวอย่างที่เป็นผงแห้งและที่เป็นของเหลว โดยในการวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างที่เป็นผงแห้ง และเครื่องนี้สามารถวัดขนาดอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.02 ถึง 2000 ไมโครเมตร ทำการทดสอบเพื่อศึกษาว่า ตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีการกระจายตัวอย่างไรและวัดขนาดอนุภาคที่ $d_{10\%}$, $d_{50\%}$ และ $d_{90\%}$ เท่าไร

1.3 ลักษณะอนุภาค : ทำการดูลักษณะของอนุภาคโดยการทดสอบด้วยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL JSM-6400 Scanning Electron Microscope ; SEM)

2. ลักษณะทางเคมี

2.1 ทดสอบหาส่วนประกอบโลหะทั้งหมดในเถ้าลอย โดยวิธีวิเคราะห์ X-Ray Fluorescence (XRF) Spectroscopy โดยเครื่อง Philips XRF Spectrometer Model 2400

2.2 หาปริมาณโลหะหนักตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ได้แก่ เงิน(Ag) แบเรียม(Ba) แคดเมียม(Cd) โครเมียม(Cr) และตะกั่ว(Pb) ของน้ำชะโดยวิธีสกัดสาร(Extraction Procedure) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยเครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectroscopy ซึ่งค่าปริมาณโลหะหนักใดที่มีค่าเกินมาตรฐานกำหนดหรือมีนัยสำคัญจะนำไปวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำเป็นก้อนในการทดลองที่ 2-5

การทดลองที่ 2 การศึกษาหาอัตราส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในเถ้าลอย โดยการทำให้เป็นก้อน

ศึกษาหาอัตราส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในเถ้าลอยด้วยการทำให้เป็นก้อน โดยใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ทั้งเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่คัดแยกมูลฝอยดังนี้

- อัตราส่วนเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 และ 100

โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

- ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน(ปูนซีเมนต์+เถ้าลอย) เท่ากับ 0.50 ต่อ 1
- อัตราส่วนวัสดุประสานต่อทราย เท่ากับ 1 ต่อ 2.75
- ระยะเวลาบ่มก้อนตัวอย่าง 28 วัน

รายละเอียดการหล่อก้อนตัวอย่างแสดงในภาคผนวก ง

ตารางที่ 3.1 ผลการศึกษาหาอัตราส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในเถ้าลอย โดยการทำให้เป็นก้อน

| ลำดับที่ | คุณสมบัติ | อัตราส่วน เถ้าลอย : ซีเมนต์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย | | | | | | | | | | อัตราส่วน เถ้าลอย : ซีเมนต์ เถ้าลอยที่คัดแยกมูลฝอย | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| 1. | ความหนาแน่น(kg/cu.m.) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. | กำลังรับแรงอัด(ksc.) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. | พีเอช (pH) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. | ปริมาณโลหะหนัก (mg/l) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | - Ag | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | - Ba | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | - Cd | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | - Cr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | - Pb | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

- หมายเหตุ 1. การทดสอบแต่ละครั้งจำนวนก้อนตัวอย่าง เท่ากับ 3 ก้อน /ครั้ง
 2. จำนวนการทดสอบ 22 ครั้ง เท่ากับ 66 ก้อนตัวอย่าง

การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทำให้เป็นก้อน

ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทำให้เป็นก้อน โดยกำหนดอัตราส่วนผสม
 etailoyต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมจากการศึกษาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสม (การทดลองที่

2) ทั้งetailoyที่ไม่มีกรดแกลกมูลฝอยและetailoyที่คัดแยกมูลฝอย ดังนี้

- เปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน(ปูนซีเมนต์+etailoy) เท่ากับ 0.40 0.50 0.60 และ 0.70
- อัตราส่วนวัสดุประสานต่อทราย เท่ากับ 1 ต่อ 2.75
- ระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง 28 วัน

รายละเอียดการหล่อก้อนตัวอย่างแสดงในภาคผนวก ง

ตารางที่ 3.2 ผลการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทำให้เป็นก้อน

| ลำดับที่ | คุณสมบัติ | อัตราส่วน น้ำ : วัสดุประสาน etailoyที่ไม่มีกรดแกลกมูลฝอย | | | | อัตราส่วน น้ำ : วัสดุประสาน etailoyที่คัดแยกมูลฝอย | | | |
|----------|------------------------|---|------|------|-----|---|------|------|-----|
| | | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.7 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.7 |
| 1. | ความหนาแน่น(kg/cu.m.) | | | | | | | | |
| 2. | กำลังต้านแรงอัด (ksc.) | | | | | | | | |
| 3. | พีเอช (pH) | | | | | | | | |
| 4. | ปริมาณโลหะหนัก (mg/l) | | | | | | | | |
| | - Ag | | | | | | | | |
| | - Ba | | | | | | | | |
| | - Cd | | | | | | | | |
| | - Cr | | | | | | | | |
| | - Pb | | | | | | | | |

หมายเหตุ 1. การทดสอบแต่ละครั้งจำนวนก้อนตัวอย่าง เท่ากับ 3 ก้อน / ครั้ง

2. จำนวนการทดสอบ 8 ครั้ง เท่ากับ 24 ก้อนตัวอย่าง

การทดลองที่ 4 การศึกษาระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง

ศึกษาระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง โดยกำหนดสัดส่วนผสมเถ้าลอยต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม จากการศึกษาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสม (การทดลองที่ 2) และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสม (การทดลองที่ 3) ทั้งเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมวลฝอย และเถ้าลอยที่คัดแยกมวลฝอย โดยทำการเปลี่ยนระยะเวลาบ่มเป็น 1 3 7 14 และ 28 วัน

รายละเอียดการหล่อก้อนตัวอย่างแสดงในภาคผนวก ง

ตารางที่ 3.3 ผลการศึกษาระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง

| ลำดับ ที่ | คุณสมบัติ | ระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมวลฝอย (วัน) | | | | | ระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง เถ้าลอยที่คัดแยกมวลฝอย (วัน) | | | | |
|--------------|------------------------|---|---|---|----|----|---|---|---|----|----|
| | | 1 | 3 | 7 | 14 | 28 | 1 | 3 | 7 | 14 | 28 |
| 1. | ความหนาแน่น(kg/cu.m.) | | | | | | | | | | |
| 2. | กำลังต้านแรงอัด (ksc.) | | | | | | | | | | |
| 3. | พีเอช (pH) | | | | | | | | | | |
| 4. | ปริมาณโลหะหนัก (mg/l) | | | | | | | | | | |
| | - Ag | | | | | | | | | | |
| | - Ba | | | | | | | | | | |
| | - Cd | | | | | | | | | | |
| | - Cr | | | | | | | | | | |
| | - Pb | | | | | | | | | | |

หมายเหตุ 1. การทดสอบแต่ละครั้งจำนวนก้อนตัวอย่าง เท่ากับ 3 ก้อน / ครั้ง

2. จำนวนการทดสอบ 10 ครั้ง เท่ากับ 30 ก้อนตัวอย่าง

การทดลองที่ 5 การศึกษาการใช้ประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมบางส่วนของคอนกรีตบล็อก

ศึกษาการใช้ประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการใช้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมบางส่วนของวัสดุประสานในการทำคอนกรีตบล็อก โดยทำการเปรียบเทียบวัสดุประสาน 3 ชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ซึ่งกำหนดสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยที่เหมาะสมจากการศึกษาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสม (การทดลองที่ 2) และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสม (การทดลองที่ 3) ที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อหินฝุ่น เท่ากับ 1 ต่อ 2.75 ระยะเวลา 7 14 และ 28 วัน

การหล่อก่อนคอนกรีตบล็อกทำการหล่อที่โรงงานของห้างหุ้นส่วนจำกัด สมกมลโรจนะ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ตารางที่ 3.4 ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมบางส่วนของคอนกรีตบล็อก

| ลำดับที่ | คุณสมบัติ | วัสดุประสาน | | |
|----------|------------------------|-------------|--|--|
| | | ปูนซีเมนต์ | ปูนซีเมนต์+ เถ้าลอย ที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย | ปูนซีเมนต์+ เถ้าลอย ที่คัดแยกมูลฝอย |
| 1. | น้ำหนัก (kg / ก้อน) | | | |
| 2. | กำลังด้านแรงอัด (ksc.) | | | |
| | - 7 วัน | | | |
| | - 14 วัน | | | |
| | - 28 วัน | | | |
| 3. | ทีเอช (pH) | | | |
| 4. | ปริมาณโลหะหนัก (mg/l) | | | |
| | - Ag | | | |
| | - Ba | | | |
| | - Cd | | | |
| | - Cr | | | |
| | - Pb | | | |
| 5. | การดูดกลืนน้ำ (%) | | | |

หมายเหตุ 1. การทดสอบแต่ละครั้งจำนวนก้อนตัวอย่าง เท่ากับ 3 ก้อน / ครั้ง

2. จำนวนการทดสอบ 12 ครั้ง เท่ากับ 36 ก้อนตัวอย่าง

จำนวนก้อนตัวอย่างที่จะต้องทำการหล่อเพื่อทดสอบมีจำนวนทั้งสิ้น 156 ก้อนตัวอย่าง