



ภาคผนวก ก

ก1 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม

การทดลองที่ ก1.1 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด

วัสดุ

มวลรวมละเอียดที่ต้องการทดสอบประมาณ 1 กิโลกรัม

เครื่องมือ

- 1) เครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม
- 2) กระบอกตวง 500 มล.
- 3) กรวยโลหะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนบน 3.75 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนล่าง 8.9 ซม. ความสูง 7.4 ซม. ทำด้วยโลหะหนาประมาณ 0.9 มม.
- 4) เหล็กกระทุ้ง ปลายเรียบเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. น้ำหนัก 340 กรัม
- 5) เครื่องเป่าลม
- 6) ถาดโลหะ
- 7) เตาอบ

วิธีการทดลอง

- 1) นำมวลรวมละเอียดที่ต้องการทดสอบประมาณ 1 กก. แฉะน้ำทิ้งไว้ 24 ชม.
- 2) ทำมวลรวมให้แห้งโดยใช้เครื่องเป่าลมเป่าให้ทั่วจนแห้งสม่ำเสมอในสถานะของการไหลอิสระ
- 3) การทดสอบว่ามวลรวมไหลได้อิสระหรือไม่ทำได้โดยเทมวลรวมลงในกรวยโลหะจนเต็มแล้วใช้เหล็กกระทุ้งเบา ๆ เป็นจำนวน 25 ครั้ง แล้วยกกรวยขึ้นในแนวตั้ง หากมวลรวมยังมีความชื้นที่ผิว มวลรวมจะยังคงรูปกรวยอยู่ ให้ใช้เครื่องเป่าลมไล่ความชื้นที่ผิวต่อไป แล้วนำมวลรวมไปทดสอบอีกครั้งจนกว่ามวลรวมยุบตัวลงเล็กน้อย แสดงว่ามวลรวมอยู่ในสถานะไหลอิสระ ไม่มีความชื้นที่ผิว เรียกว่า อยู่ในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง
- 4) จากนั้นให้เทมวลรวมที่ได้ 500 กรัม ลงในกระบอกตวงแล้วเติมน้ำจนถึงขีดระดับประมาณ 450 มล.
- 5) นำกระบอกตวงที่ได้ไปแช่ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เขย่ากระบอกตวงเพื่อไล่ฟองอากาศเติมน้ำจนถึงระดับ 500 มล. ทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่ ชั่งน้ำหนักกระบอกตวง
- 6) เทมวลรวมในกระบอกตวงใส่ถาดโลหะ อบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนักมวลรวม

- 7) ชั่งหาน้ำหนักของกระบอกตวงที่มีน้ำระดับ 500 มล. ที่อุณหภูมิประมาณ 8 องศาเซลเซียส

การคำนวณ

- 1) คำนวณความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะอบแห้งด้วยเตาอบจาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด} = A / (B + 500 - C)$$

โดย A = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม

C = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีมวลรวมและน้ำที่ระดับ 500 มล., กรัม

- 2) คำนวณความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งจาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะปรากฏ} = 500 / (B + 500 - C)$$

- 3) คำนวณความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะปรากฏ} = (A / (B + A - C))$$

- 4) คำนวณร้อยละของการดูดซึม จาก

$$\text{ร้อยละของการดูดซึม} = 100 * (500 - A) / A$$

ตารางที่ ก1.1 แสดงผลค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดและการดูดซึมของวัสดุ

รายการ	การทดสอบ
1. ปริมาตรของกระบอกตวง, มล.	1000.00
2. น้ำหนักของกระบอกตวง, กรัม	200.50
3. น้ำหนักของมวลรวมในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง, กรัม	500.00
4. น้ำหนักกระบอกตวงที่ใส่น้ำและมวลรวม, กรัม (C)	991.20
5. น้ำหนักกระบอกตวงที่ใส่น้ำและมวลรวม, กรัม (B)	678.50
6. น้ำหนักของมวลรวมในสภาวะแห้งด้วยเตาอบ, กรัม (A)	511.60
7. ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดในสภาวะแห้งด้วยเตาอบ	2.73
8. ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	2.65
9. ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.57
10. ร้อยละของการดูดซึม	2.28

การทดลองที่ ก1.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

วัสดุ

ตารางที่ ก1.2 มวลรวมหยาบที่ต้องการทดสอบ ที่มีน้ำหนักขึ้นต่ำตามเกณฑ์ ดังนี้

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ, นิ้ว	น้ำหนักขึ้นต่ำ, กก.
$\frac{1}{2}$	2
$\frac{3}{4}$	3
1	4
$1\frac{1}{2}$	5
2	8
$2\frac{1}{2}$	12
3	18
$3\frac{1}{2}$	25

เครื่องมือ

- 1) เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.1% ของน้ำหนัก
- 2) ตะกร้าลวดเหล็ก
- 3) ผ้าแห้ง
- 4) เตาอบ

วิธีการทดลอง

- 1) นำมวลรวมหยาบที่ต้องการทดสอบตามเกณฑ์ ร่อนเอาส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ทิ้งไป
- 2) ใช้น้ำล้างฝุ่นและสิ่งสกปรกที่ติดมวลรวมออก แล้วนำมวลรวมไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม.
- 3) นำมวลรวมแต่ละก้อนมาเช็ดด้วยผ้าแห้ง ให้น้ำที่เกาะอยู่ที่ผิวมวลรวมถูกดูดซับออกไป โดยที่ผิวของมวลรวมยังขึ้นอยู่ระว่างไม่ให้เกิดการระเหยของความชื้น ในขณะที่เช็ด โดยหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับแดดและลมแรงโดยตรง มวลรวมจะอยู่ในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง ชั่งน้ำหนักมวลรวม
- 4) เเทมวลรวมลงในตะกร้าลวดเหล็กแล้วชั่งหาน้ำหนักในน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 23°C
- 5) อบมวลรวมให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ $100-110^{\circ}\text{C}$ จนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 1 วัน) ทั้งให้เย็น (ประมาณ 1 ชั่วโมง) ชั่งน้ำหนักมวลรวม

การคำนวณ

- 1) คำนวณความจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สถานะแห้งด้วยเตาอบ จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด} = A / (B - C)$$

โดย A = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม

B = น้ำหนักของมวลรวมที่สถานะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ, กรัม

C = น้ำหนักของมวลรวมที่สถานะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในน้ำ, กรัม

- 1) คำนวณความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สถานะอิ่มตัวผิวแห้ง จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด} = B / (B - C)$$

- 2) คำนวณความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะปรากฏ} = A / (A - C)$$

- 3) คำนวณร้อยละของการดูดซึม (% Absorption) จาก

$$\text{ร้อยละของการดูดซึม} = 100 * (B - A) / A$$

ตารางที่ ก1.3 แสดงผลค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบวัสดุ

รายการ	การทดสอบ
1. น้ำหนักของมวลรวมในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง, กก.(B)	3.00
2. น้ำหนักของตะกร้าลวดเหล็กในน้ำ, กก.	2.45
3. น้ำหนักของน้ำหนักของตะกร้าลวดเหล็กรวมมวลในน้ำ, กก.	4.30
4. น้ำหนักของมวลรวมอิ่มตัวในน้ำ, กก.(C)	1.89
5. น้ำหนักของมวลรวมในสถานะแห้งด้วยเตาอบ, กรัม(A)	2.98
6. ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดในสถานะแห้งด้วยเตาอบ	2.68
7. ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง	2.70
8. ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.73
9. ร้อยละของการดูดซึม	0.67

ก1.3 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

ตารางที่ ก1.4 แสดงผลการหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

รายการ	ผลการทดลอง
1. ชีตปริมาตรของน้ำมันก๊าดครั้งแรก, มล.	0.7
2. อุณหภูมิในอ่างครั้งแรก, °C	20.0
3. น้ำหนักซีเมนต์และถาดครั้งแรก, กรัม	106.4
4. ชีตปริมาตรของน้ำมันก๊าดครั้งหลัง, มล.	19.5
5. อุณหภูมิในอ่างครั้งหลัง, °C	20.0
6. น้ำหนักซีเมนต์และถาดครั้งหลัง, กรัม	47.2
7. น้ำหนักซีเมนต์ที่ใช้, กรัม, (3) - (6)	59.2
8. ปริมาตรของน้ำมันก๊าดที่ถูกต้องแทนที่, มล., (4) - (1)	18.8
9. ความถ่วงจำเพาะ, (7) / (8)	3.15

ก2 การคำนวณออกแบบส่วนผสม (Mix design)

ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสม

ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมสำหรับงานคอนกรีตทั่วไปนั้นอาจดำเนินงานเป็นขั้นตอนตามวิธีการนำเสนอที่มีหลายวิธี แต่ในโครงการนี้ใช้ของวิธีการออกแบบส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับในประเทศไทย การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตสำหรับประเทศไทยเป็นวิธีการออกแบบที่นำเอาการออกแบบของประเทศอเมริกา และของประเทศอังกฤษ มาประยุกต์เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพวัตถุดิบที่มีในประเทศไทย ซึ่งการที่จะทำการออกแบบคอนกรีตได้นั้นต้องทราบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่จะนำมาทำคอนกรีตเสียก่อน เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ ปริมาณส่วนละเอียดของวัสดุ ซึ่งขั้นตอนการออกแบบมีดังนี้

1. รวบรวมความต้องการคุณสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการดังนี้
 - กำลังอัด
 - ค่าการยุบตัว
 - ขนาดใหญ่สุดของหินที่ใช้
 - ใส่น้ำยาผสมคอนกรีตหรือไม่
2. หาปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวที่ต้องการ จากตารางที่ ก2.1
3. หาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดตามต้องการจากกราฟอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และค่ากำลังอัดจากรูปที่ ก2.1
4. คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้

ซึ่งการออกแบบคอนกรีตนี้สามารถปฏิบัติได้ตามขั้นตอนการออกแบบของแผนภูมิที่จะแสดงให้ดูต่อไปนี้

ขั้นตอนการออกแบบ Mix design



หมายเหตุ คอนกรีต 1ลบ.ม. มีปริมาตร 1000 ลิตร

ปริมาตรน้ำ = น้ำหนักน้ำ

ตารางที่ ก2.1 ปริมาตรน้ำและค่าการขุดตัวแบบไม่ใส่น้ำยา

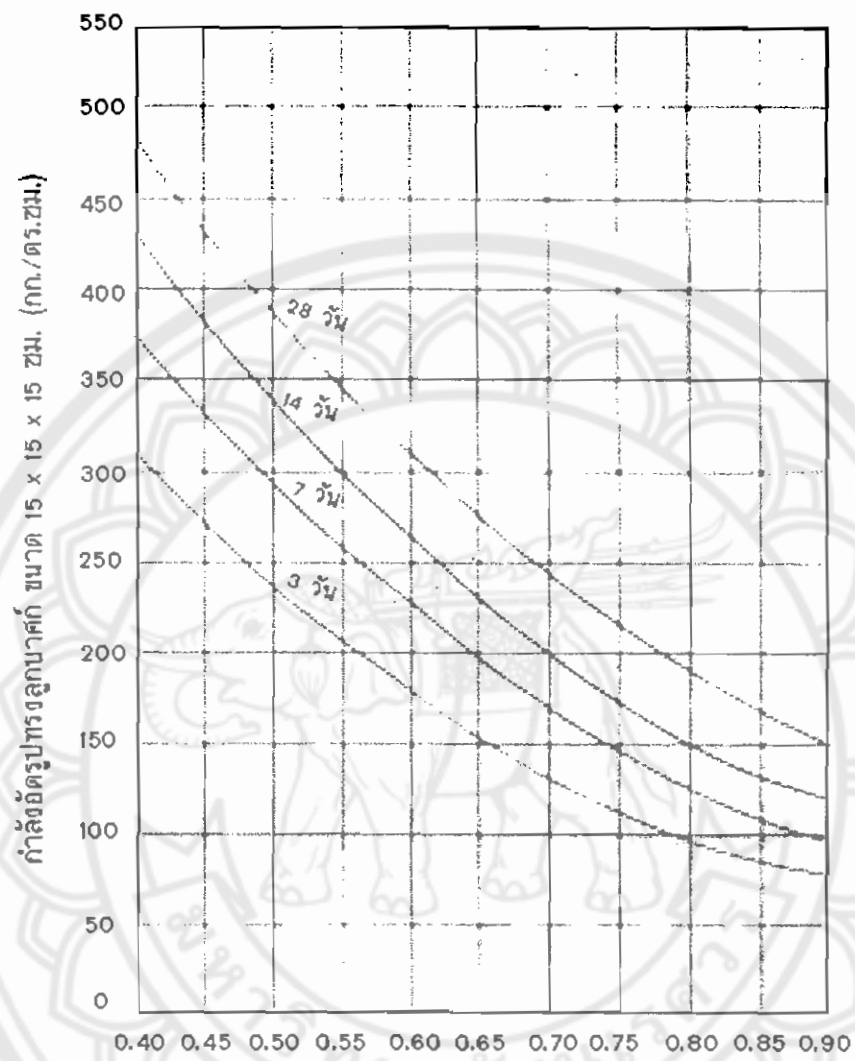
ค่าการขุดตัว (ซม.)	ปริมาตรน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต	
	หินย่อยขนาด	หินย่อยขนาด
	1 " - # 4	3/4 " - # 4
7.5 ± 2.5	180	190
10.0 ± 2.5	190	200
12.5 ± 2.5	200	210

ตารางที่ ก2.2 ปริมาตรน้ำและค่าการขุดตัวแบบใส่น้ำยา

ค่าการขุดตัว (ซม.)	ปริมาตรน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต	
	หินย่อยขนาด	หินย่อยขนาด
	1 " - # 4	3/4 " - # 4
7.5 ± 2.5	170	180
10.0 ± 2.5	180	190
12.5 ± 2.5	190	200

ตารางที่ ก2.3 ปริมาตรส่วนละเอียด

ขนาดหิน	ปริมาตรปูนซีเมนต์ + ปริมาตรทราย
1 " - # 4	38% โดยปริมาตร หรือ 380 ลิตร
3/4 " - # 4	40% โดยปริมาตร หรือ 400 ลิตร



รูปที่ ก2.1 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และกำลังอัดคอนกรีต

ผลการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ตารางแสดงข้อมูล รายการคำนวณและส่วนผสมคอนกรีต ที่ออกแบบ

ข้อกำหนดในการออกแบบ คอนกรีต

ขั้นตอนที่ 1

- กำลังอัดที่ออกแบบ 210 กก./ ตร.ซม.
- ค่าการยุบตัว 12.5 ± 2.5 ซม.
- ขนาดหิน # 3/4 - # 4
- ไม่ใส่น้ำยาลดน้ำและยืดเวลาการแข็งตัว

ขั้นตอนที่ 2 ปริมาณน้ำที่ใช้และน้ำหนักซีเมนต์

- หาปริมาณน้ำจากตารางที่ 3.1 ค่าการยุบตัว 12.5 ± 2.5 ซม. ใช้หิน ขนาดหิน # 3/4 - # 4 ไม่ใส่น้ำยา

ปริมาณน้ำที่ใช้ 210 ลิตร/ ลบ.ม. คอนกรีต

- หาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ จากรูปที่ 3.1 ซึ่งได้ค่า $W/C = 0.76$ ที่ 28 วัน
- น้ำหนักซีเมนต์ $210/0.76 = 276$ กก.

ขั้นตอนที่ 3 หาปริมาณซีเมนต์

ปริมาตรซีเมนต์ = น้ำหนักซีเมนต์ / ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

$$= 276/3.15$$

$$= 88 \text{ ลิตร}$$

ขั้นตอนที่ 4 หาปริมาณทราย

เนื่องจากที่ใช้เป็น # 3/4 - # 4

ปริมาณซีเมนต์ + ปริมาณทราย = 40% หรือ 400 ลิตร จากตารางที่ 3.3

$$\text{ปริมาณทราย} = 400 - 88$$

$$= 312 \text{ ลิตร}$$

ขั้นตอนที่ 5 หาน้ำหนักทราย

น้ำหนักทราย = ปริมาตรทราย * ความถ่วงจำเพาะของทราย

$$= 312 * 2.65$$

$$= 827 \text{ กก.}$$

ขั้นตอนที่ 6 หาปริมาณหิน

ปริมาณหิน = 1000 - ปริมาตรซีเมนต์ - ปริมาตรน้ำ - ปริมาตรทราย

$$= 1000 - 88 - 210 - 312$$

$$= 390 \text{ ลิตร}$$

ตอนที่ 7 หาน้ำหนักของหิน

น้ำหนักของหิน = ปริมาตรหิน * ความถ่วงจำเพาะของหิน

$$= 390 * 2.70$$

$$= 1053 \text{ กก.}$$

สรุป ส่วนผสม 1 ลบ.ม.คอนกรีต ดังนี้

ซีเมนต์	276	กก.
น้ำ	210	ลิตร
ทราย	827	กก.
หิน	1053	กก.

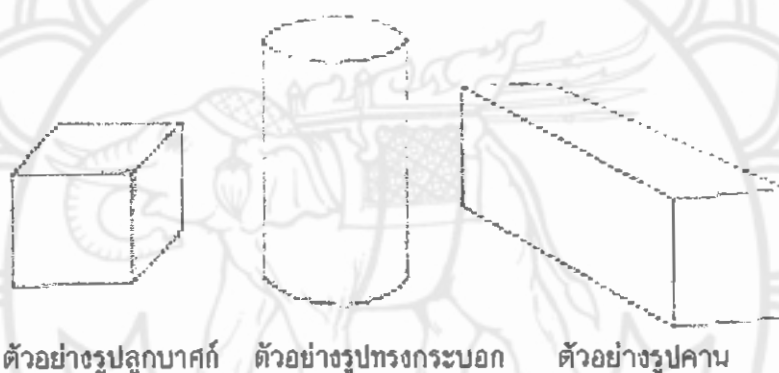
ก3 การทำตัวอย่างและการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

คอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้าง นอกจากมีความเหลวพอที่จะเทได้แล้ว เมื่อเป็นคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ยังต้องสามารถรับกำลังอัดได้ตามต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเก็บก้อนตัวอย่าง และนำมาทดสอบตามเวลาต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้

โดยทั่วไป ก้อนตัวอย่างในงานคอนกรีตที่ใช้ในประเทศไทย มีดังนี้

1. ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 เซนติเมตร
2. ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร
3. ตัวอย่างคอนกรีตรูปคาน ขนาด 15 x 15 x 60 เซนติเมตร

(วิธีการทำตัวอย่างรูปคานและการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต จะได้กล่าวไว้ในบทถัดไป)



รูปที่ ก3.1 แบบหล่อและก้อนตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์, รูปทรงกระบอก และรูปคาน

การทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

- มาตรฐานที่ใช้กำหนดรูปร่างและขนาดของตัวอย่าง

BS EN 12390 Part 1

Testing hardened concrete

Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds

- มาตรฐานที่ใช้กำหนดการทำและการบ่มตัวอย่าง

BS EN 12390 Part 2

Testing hardened concrete

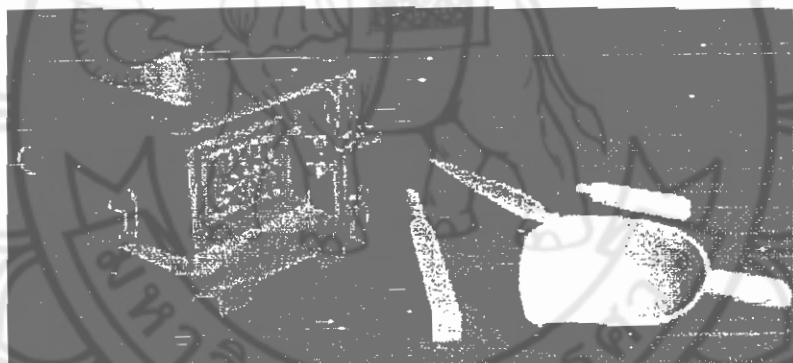
Making and curing specimens for strength tests

ข้อบ่งชี้

ส่วนหนึ่งของทั้งสองมาตรฐานนี้ ได้กำหนดรูปร่าง ขนาด และค่าคลาดเคลื่อนของตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่หล่อในแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์และกำหนดวิธีการทำตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังโดยครอบคลุมการจัดเตรียมและการใส่คอนกรีตสดในแบบหล่อ, การอัดแน่นคอนกรีต, การปรับระดับผิว, และการบ่มตัวอย่างทดสอบ

อุปกรณ์

1. แหล่งรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 เซนติเมตร
2. เหล็กดำ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว
3. น้ำยาและแปรงทาแบบ
4. ประแจประกอบแบบ
5. ช้อนตัก
6. เครื่องเหล็ก
7. แผ่นพลาสติก



รูปที่ ก3.2 อุปกรณ์ทำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

วิธีการทำตัวอย่างคอนกรีต

1. ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีต แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
2. ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่าๆ กัน โดยประมาณ แต่ละชั้น ตักด้วยเหล็กดำ

35 ที่

3. เมื่อตักชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ

4. ตัวอย่างคอนกรีตที่ทำเสร็จแล้ว ควรใช้แผ่นพลาสติกคลุมไว้ เพื่อป้องกันน้ำระเหยออก ทั้งคอนกรีตไว้ในแบบประมาณ 16-24 ชั่วโมง (ระยะเวลาถอดแบบหล่อขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการก่อตัวของ

คอนกรีต) หลังจากนั้นถอดแบบออกเขียนรายละเอียดต่างๆ บนหน้าก้อนปูน เช่น วันที่ทำตัวอย่าง, หมายเลขตัวอย่าง เป็นต้น

5. จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปบ่มโดยการแช่น้ำ จนถึงเวลาที่จะทำการทดสอบ โดยทั่วไป จะทดสอบที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน (อายุคอนกรีตที่จะทดสอบขึ้นอยู่กับประเภทของการใช้งานคอนกรีต เป็นสำคัญ) เมื่อถึงกำหนดเวลาทดสอบ นำก้อนตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่ม ทิ้งไว้ให้ผิวแห้งชั่งน้ำหนัก วัดขนาด จดบันทึกค่า แล้วนำไปทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตต่อไป



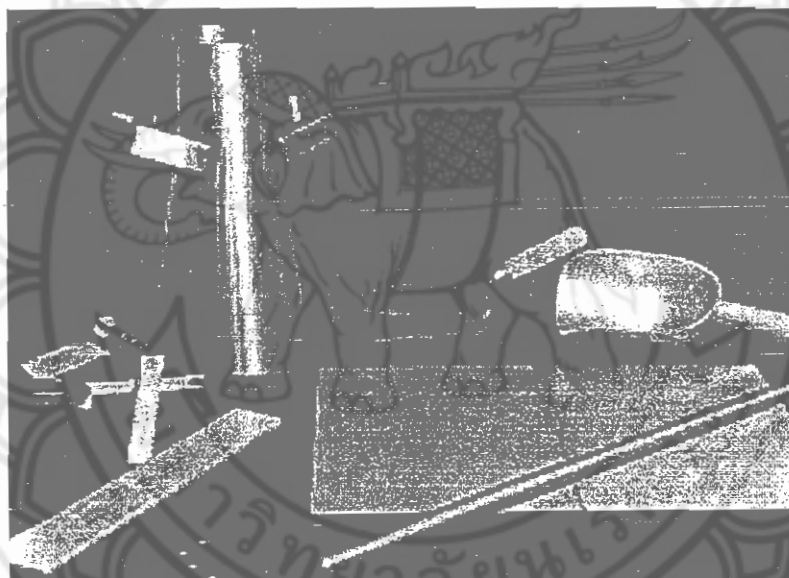
ก4 การทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต

วัสดุ

1) กรวยเหล็กสำหรับวัดการยุบตัว (Slump Mold) ซึ่งเป็นรูปกรวยหัวตัดทำด้วยแผ่นโลหะ คอนล่างมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 200 มม. (8 นิ้ว) ตอนบนมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 100 มม. (4 นิ้ว) และสูง 300 มม. (12 นิ้ว) มีหูสำหรับยกทั้งสองข้าง ดังรูปที่ 1

2) เหล็กกระทุ้ง (Tamping Rod) เป็นแท่งเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. (5/8 นิ้ว) ยาวประมาณ 600 มม. (24 นิ้ว) ปลายกลมมน

- 3) แผ่นเหล็ก
- 4) เครื่องวัดระยะการยุบตัว
- 5) เครื่องเหล็กและแปรงเหล็ก



รูปที่ ก4.1 อุปกรณ์ทดสอบค่ายุบตัว

วิธีทดสอบ

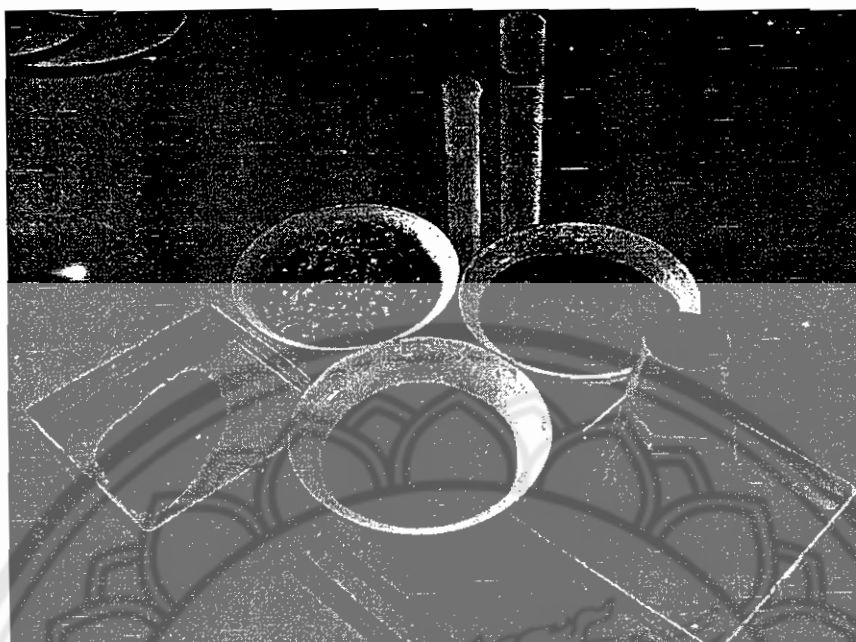
- 1) นำอุปกรณ์จุ่มน้ำให้เปียก
- 2) วางแผ่นเหล็กกับพื้นราบ นำโคนขึ้นวางใช้เท้าเหยียบปลายทั้ง 2 ข้าง
- 3) ใช้ช้อนตักคอนกรีตลงในโคนโดยแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นให้มีปริมาณเท่าๆ กัน ชั้นที่ 1 ใส่คอนกรีตลงในโคนสูง 6-7 ซม. ต่ำด้วยเหล็กด้า 25 ที่ ในการตาดึงด้าให้ทั่วพื้นที่ ใส่คอนกรีตชั้นที่ 2 จนได้ส่วนสูงประมาณ 15 ซม. ด้าให้ทะลุถึงคอนกรีตชั้นที่ 1 เล็กน้อย ใส่คอนกรีตชั้นที่ 2 จนเต็ม ต้าด้าให้ทะลุถึงคอนกรีตชั้นที่ 2 เพียงเล็กน้อยปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบรวมทั้งทำความสะอาดบริเวณ โคนและแผ่นเหล็กทรง
- 4) ดึงโคนขึ้นตรงๆ ไม่หมุน
- 5) วางโคนลงข้างๆ คอนกรีตแล้ววัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต

การทดลอง

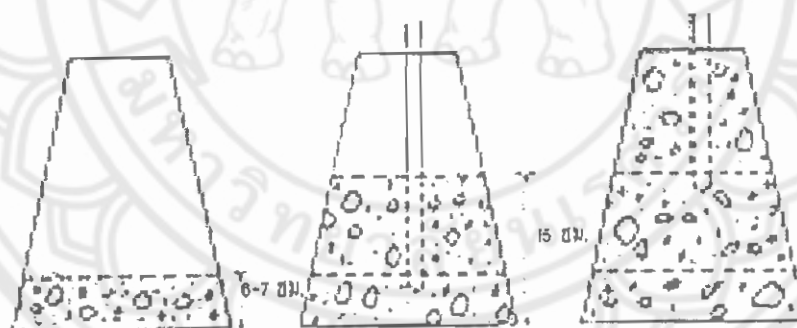
- คอนกรีต 100%
- เหล็กฝอยในหิน 20%
- เหล็กผงในทราย 15%



รูปที่ ก4.2 การเตรียมวัสดุสำหรับการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีตแทนที่เหล็กฝอยในหิน 20%



รูปที่ ก4.3 การเตรียมวัสดุสำหรับการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีตแทนที่เหล็กผงในทราย 15%



รูปที่ ก4.4 ปริมาณคอนกรีตที่ใส่ในโคนและการตำ



รูปที่ ก4.5 รูปแบบการยุบตัว

ตารางที่ ก4.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ประเภทของงาน	ค่าการยุบตัว	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	12.5	5.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างได้ น้ำ	10.0	2.5
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	15.0	7.5
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	15.0	7.5
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	7.5	5.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	7.5	2.5

ผลการทดสอบ

- กำลังอัดที่ออกแบบ 210 ksc คอนกรีต 100%

มีค่าการยุบตัว 10.5 ซม.

- กำลังอัดที่ออกแบบ 210 ksc ที่แทนที่ด้วยเหล็กฝอยในหิน 20%

มีค่าการยุบตัว 11.8 ซม.

- กำลังอัดที่ออกแบบ 210 ksc ที่แทนที่ด้วยเหล็กผงในหิน 15%

มีค่าการยุบตัว 11.3 ซม.

ก5 การทดสอบหาค่ากำลังอัด

วัสดุ

วัสดุซึ่งใช้ในการเตรียมแท่งตัวอย่างคอนกรีตซึ่งประกอบไปด้วยซีเมนต์มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

เครื่องมือ

- 1) แบบหล่อแท่งทดสอบรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. และ/หรือแบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 15 X 15 x 15 ซม.
- 2) เครื่องทำให้แน่น ซึ่งอาจเป็นเครื่องเขย่าแบบโต๊ะ (Vibrating Table) หรือเครื่องเขย่าแบบแท่ง (Vibrating Rod) ซึ่งจะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1/5 ของมิติของด้านที่เล็กที่สุด ของแท่งทดสอบหรือแท่งกระทุ้ง (Tamping Rod) ซึ่งเป็นแท่งเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. ยาว 500-600 มม. ปลายมน
- 3) เครื่องทดสอบแรงกดมาตรฐานแบบไฮดรอลิก
- 4) เวอร์เนีย คาลิเปอร์ (Vernier Caliper) อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มม.
- 5) เครื่องชั่ง อ่านได้ละเอียดถึง 1 กรัม
- 6) เครื่องมือที่จำเป็น เช่น พลั่ว เกรียง แปรง เป็นต้น

วิธีทดสอบ

- 1) วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของแท่งคอนกรีต (กระทำการก่อนการเคลื่อนผิวหน้า)
- 2) ทำความสะอาดแท่งคอนกรีตและผิวแท่นชาร (Bearing Faces) ทั้งบนและล่างของเครื่องทดสอบแรงกด
- 3) วางแท่งทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกด แล้วเลื่อนหรือหมุนผิวแท่นชารได้สัมผัสกับแท่งทดสอบสนิท
- 4) เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่ที่อยู่ในเกณฑ์ช่วง 14 – 34 นิวตัน ต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ในระยะช่วงครึ่งแรกของน้ำหนัก กดสูงสุดที่แท่งทดสอบจะรับได้นั้น อาจใช้อัตราสูงกว่าที่กำหนดให้ ส่วนในการควบคุมเครื่องทดสอบขณะที่แท่งทดสอบถึงจุดคลาก (Yielding) อย่างรวดเร็วทันทีก่อนเกิดถึงจุดประลัย (Ultimate) นั้น ห้ามปรับอัตราการกดหรือส่วนใด ๆ ของเครื่องทดสอบ
- 5) ให้กดจนกระทั่งแท่งทดสอบถึงจุดประลัย
- 6) บันทึกค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบสามารถรับได้ พร้อมทั้งบันทึกรูปลักษณะการแตกของแท่งทดสอบนั้นด้วย
- 7) คำนวณหาความต้านทานแรงอัดของแท่งทดสอบจากสูตร

$$f_c = \frac{P_u}{A}$$

โดยที่ f_c = ความต้านทานแรงอัดของแท่งทดสอบ กก./ชม.³

P_u = น้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบรับได้, กก.

A = พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของแท่งทดสอบ, ชม.³

8) กำหนดหาความหนาแน่นของแท่งทดสอบ (หรือหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต) จากสูตร

$$W_x = \frac{W}{V}$$

โดยที่ W_x = ความหนาแน่นแท่งทดสอบ, กก./ม³

W = น้ำหนักของแท่งทดสอบ, กก.

V = ปริมาตรของแท่งทดสอบ, ชม

การทดลองที่ ก5.1 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

ตารางที่ ก5.1 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตธรรมดา

คอนกรีตธรรมดา หล่อวันที่ 30 พ.ย. 48						
วันที่ทดสอบ	จำนวนวัน	ก้อนที่	น้ำหนัก	แรง (kN)	Strength (N/mm ²)	กำลังอัดเฉลี่ย(ksc)
7-ธ.ค.-48	7	1	7.935	408	18.14	186.95
		2	8.135	417	18.53	
14-ธ.ค.-48	14	1	8.100	512	22.77	228.64
		2	8.040	497	22.09	
28-ธ.ค.-48	28	1	8.030	545	24.22	249.95
		2	7.945	558	24.81	

การทดลองที่ ก5.2 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กฝอยในหิน

ตารางที่ ก5.2.1 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กฝอยในหิน 5%

คอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กฝอยในหิน 5% หล่อวันที่ 14 ธ.ค. 48						
วันที่ทดสอบ	จำนวนวัน	ก้อนที่	น้ำหนัก	แรง (kN)	Strength (N/mm ²)	กำลังอัดเฉลี่ย(ksc)
21-ธ.ค.-48	7	1	8.115	614	27.28	273.60
		2	8.125	594	26.39	
28-ธ.ค.-48	14	1	8.155	663	29.48	307.14
		2	8.275	692	30.77	
11-ม.ค.-49	28	1	8.250	713	31.68	328.24
		2	8.300	736	32.72	

ตารางที่ ก5.2.2 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กฝอยในหิน 10%

คอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กฝอยในหิน 10% หล่อวันที่ 22 พ.ย. 48						
วันที่ทดสอบ	จำนวนวัน	ก้อนที่	น้ำหนัก	แรง (kN)	Strength (N/mm ²)	กำลังอัดเฉลี่ย(ksc)
29-พ.ย.-48	7	1	8.125	535	23.76	249.95
		2	8.245	569	25.28	
6-ธ.ค.-48	14	1	8.110	623	27.68	280.94
		2	8.245	617	27.44	
20-ธ.ค.-48	28	1	8.275	663	29.48	304.69
		2	8.125	682	30.30	

ตารางที่ ก5.2.3 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กฝอยในหิน 20%

คอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กฝอยในหิน 20% หล่อวันที่ 29 พ.ย. 48						
วันที่ทดสอบ	จำนวนวัน	ก้อนที่	น้ำหนัก	แรง (kN)	Strength (N/mm ²)	กำลังอัดเฉลี่ย(ksc)
6-ธ.ค.-48	7	1	8.265	454	20.19	203.77
		2	8.250	444	19.78	
13-ธ.ค.-48	14	1	8.205	538	23.93	251.58
		2	8.245	572	25.43	
27-ธ.ค.-48	28	1	8.155	577	25.65	263.10
		2	8.205	584	25.97	

การทดลองที่ 5.3 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กผงในทราย

ตารางที่ 5.3.1 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กผงในทราย 3%

คอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กผงในทราย 3% หล่อวันที่ 6 ธ.ค. 48						
วันที่ทดสอบ	จำนวนวัน	ก้อนที่	น้ำหนัก	แรง (kN)	Strength (N/mm ²)	กำลังอัดเฉลี่ย(ksc)
13-ธ.ค.-48	7	1	8.045	479	21.28	224.36
		2	8.140	511	22.73	
20-ธ.ค.-48	14	1	8.055	576	25.61	261.98
		2	7.960	580	25.78	
3-ม.ค.-49	28	1	8.025	605	26.87	280.12
		2	8.040	632	28.08	

ตารางที่ 5.3.2 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กผงในทราย 5%

คอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กผงในทราย 5% หล่อวันที่ 8 ธ.ค. 48						
วันที่ทดสอบ	จำนวนวัน	ก้อนที่	น้ำหนัก	แรง (kN)	Strength (N/mm ²)	กำลังอัดเฉลี่ย(ksc)
15-ธ.ค.-48	7	1	8.045	490	21.78	226.20
		2	8.145	508	22.6	
22-ธ.ค.-48	14	1	8.055	590	26.22	271.05
		2	7.965	607	26.96	
5-ม.ค.-49	28	1	8.025	674	29.95	304.49
		2	7.995	670	29.79	

ตารางที่ 5.3.3 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กผงในทราย 15%

คอนกรีตแทนที่ด้วยเหล็กผงในทราย 15% หล่อวันที่ 22 ธ.ค. 48						
วันที่ทดสอบ	จำนวนวัน	ก้อนที่	น้ำหนัก	แรง (kN)	Strength (N/mm ²)	กำลังอัดเฉลี่ย(ksc)
29-ธ.ค.-48	7	1	8.045	514	22.86	237.31
		2	8.140	533	23.70	
5-ม.ค.-49	14	1	8.075	616	27.38	283.79
		2	7.960	637	28.30	
19-ม.ค.-49	28	1	8.025	692	30.77	317.23
		2	8.125	712	31.65	