ภาคผนวก ก

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม

(Test for Specific Gravity and Absorption Aggregates)

วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) และความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) รวมทั้งค่าการดูดซึม (หลังการแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง) ของมวลรวมละเอียด และมวลรวมหยาบ

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM C127 และ C128

ทฤษฎี

ก). ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาณเนื้อแท้ของมวลรวมต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน โดยที่มวลรวมมีรูพรุน ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม จึงอาจแยกออกเป็น 3 ลักษณะคือ

1. ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity)

เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาตรรวม (ที่รวมทั้งรูพรุนทั้งหมดและช่องว่างภายในของมวลรวม) ต่อน้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน

2. ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity)

เป็นอัตราส่วนของน้ำหนักของปริมาตรเนื้อแท้ของมวลรวม (ที่รวมเอารูพรุนที่น้ำเข้าไปไม่ได้ (Impemeable pores)และช่องว่างภายในของมวลรวมด้วย) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน

3. ความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์ (Absolute or True Specific Gravity)

เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาตรเนื้อแท้ของมวล (ที่ไม่รวมรูพรุนและช่องว่างต่อน้ำหนักที่มีปริมาตรเท่ากัน ความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์อาจหาได้โดยทำให้เป็นผงละเอียดที่ไม่มีช่องว่างอยู่เลย อย่างไรก็ตามความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์ได้ประโยชน์ในงานคอนกรีต

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมขึ้นอยู่กับสมบัติของแร่ธาตุที่เป็นส่วนผสมและความพรุนของก้อนมวลรวม ความชื้นอาจทำให้ความถ่วงจำเพาะ ของมวลเปลี่ยนไปได้ ความถ่วงจำเพาะนี้ใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมของหินและทรายในคอนกรีต โดยใช้เป็นตัวเปลี่ยนน้ำหนักที่กำหนดให้มวลรวมเป็นปริมาตรเนื้อแท้ หรือเปลี่ยนปริมาตรเนื้อแท้ไปเป็นน้ำหนัก เพื่อหาปริมาตรมวลรวมสำหรับการผสมนั้นๆ

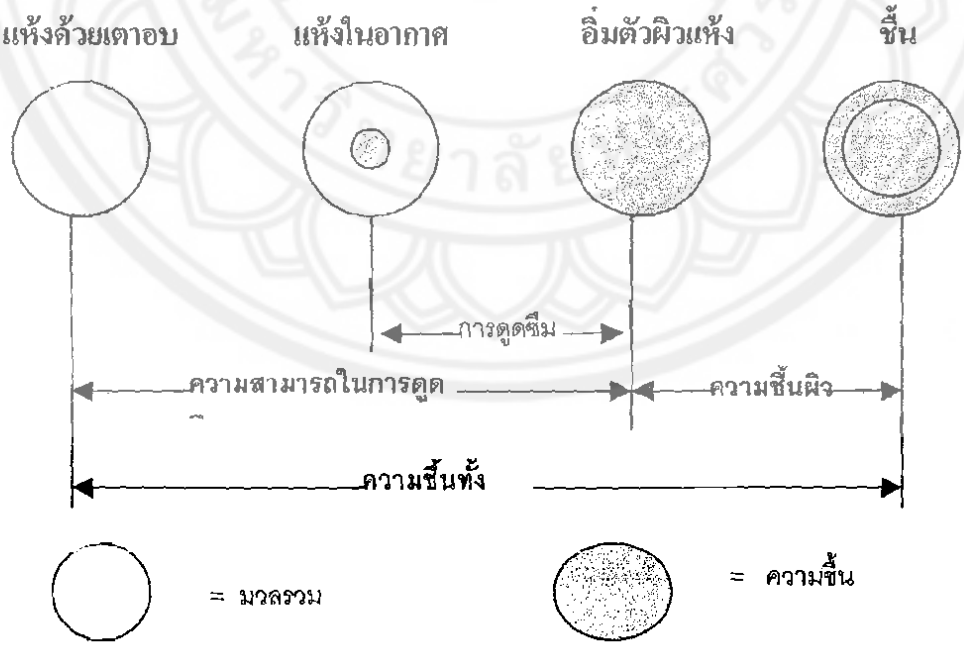
ตามปกติในการคำนวณปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต จะใช้ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ของมวลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry)ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมทั้งๆ ไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 2.40 – 2.90

ข). การดูดซึมของมวลรวม (Absorption of Aggregates) โครงสร้างภายในก้อนวัสดุผสมประกอบด้วยเนื้อของแข็งและช่องว่าง ช่องว่างเหล่านั้นจะดูดความชื้นเข้าไปเก็บไว้ได้ การผสมคอนกรีตจึงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติข้อนี้ด้วย เพื่อควบคุมปริมาตรน้ำในส่วนผสมให้ได้ความข้นเหลวคงที่อันจะทำให้คอนกรีตมีเนื้อสม่ำเสมอ

ปริมาตรน้ำในมวลรวมอาจอยู่ในสภาวะใดสภาวะหนึ่งใน 4 อย่าง ดังแสดงในรูป ก.

1. **แห้งด้วยเตาอบ** (Oven dry) ในสภาวะนี้มวลรวมสามารถดูดซึมความชื้นได้เต็มที่
2. **แห้งในอากาศ** (Air dry) หรือแห้งที่ผิวแต่มีความชื้นอยู่ภายในช่องว่างข้างใน ในปริมาณที่น้อยกว่าสภาวะแห้งและอิ่มตัว ดังนั้นมวลรวมอาจดูดซึมได้บ้าง
3. **อิ่มตัวและผิวแห้ง** (Saturated surface dry) เป็นสภาวะที่ดีที่สุด โดยที่มวลรวมไม่ระคายน้ำออกหรือดูดน้ำจากคอนกรีต
4. **ชื้นหรือเปียก** (Damp or Wet) เป็นสภาวะที่ปริมาณความชื้นสูงมากเกินไป โดยมีน้ำหุ้มก้อนมวลรวมอยู่ด้วย

ดังนั้นการทดสอบหาการดูดซึมของมวลรวม จึงมีประโยชน์ในการหาปริมาตรของน้ำที่มวลรวมคายออกมาหรือดูดซึมเข้าไป จากส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งทำให้เราสามารถปรับปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตให้เหมาะสมตามสภาวะของมวลรวมที่แท้จริง



รูป ก.1 สภาวะความชื้นของมวลรวม

ตอนที่ 1

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด

(Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates)

วัสดุ

มวลรวมละเอียดที่ต้องการทดสอบน้ำหนักประมาณ 1,000 กรัม

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม
2. กระบอกตวง ขนาดความจุ 500 มล.
3. กรวยโลหะ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนบน 3.75 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางส่วนล่าง 8.9 ซม. ความสูง 7.4 ซม. ทำด้วยแผ่นโลหะหนาประมาณ 0.9 ม.ม.
4. เหล็กกระทุ้ง ปลายเรียบเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. น้ำหนัก 340 กรัม
5. เครื่องเป่าผม
6. ถาดโลหะ
7. เตาอบ

วิธีทดลอง

1. นำเอามวลรวมละเอียดจากที่เก็บมาประมาณ 1,000 กรัม โดยใช้วิธีของการแบ่งสี่ (Method of Quartering) ไปอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 – 110 ° ซ. จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

2. หลังจากนั้นนำมวลรวมละเอียดมาทำให้โดยใช้เครื่องเป่าผมเป่ามวลรวมละเอียดให้ทั่วจนมวลรวมละเอียดนั้นแห้งสม่ำเสมอ และอยู่ในสภาวะของการไหลอิสระ (Free – Flowing)

3. การทดสอบว่ามวลรวมละเอียดนั้นอยู่ในสภาวะของการไหลอิสระทำได้โดยเทมวลรวมละเอียดนั้นลงในกรวยโลหะจนเต็ม แล้วให้เหล็กกระทุ้ง กระทุ้งเบาๆ เป็นจำนวน 25 ครั้ง จากนั้นยกกรวยขึ้นตรงๆ ในแนวดิ่ง ถ้าหากว่ามวลรวมละเอียดมีความชื้นผิว (Surface Moisture) อยู่มวลรวมละเอียดนั้นจะยังคงรูปร่างเป็นรูปกรวยอยู่

ในกรณีที่ยังมีความชื้นที่ผิวอยู่ ให้ใช้เครื่องเป่าผมเป่าไล่ความชื้นที่ผิวต่อไปอีก แล้วนำมวลรวมไปทดสอบในกรวยโลหะอีกเช่นเดิม ทำเช่นนี้เป็นช่วงๆ จนกระทั่งเห็นว่าเมื่อยกกรวยขึ้นแล้วมวลรวมละเอียดยุบตัวลงเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่ามวลรวมละเอียดนั้นมีการไหลตัวอิสระ ไม่มีความชื้นที่ผิว เราเรียกว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface – Dry)

4. จากนั้นให้เทมวลรวมละเอียดจำนวน 500 กรัม ลงไปในกระบอกตวงแล้วเติมน้ำจนถึงขีดระดับประมาณ 450 มล.

5. นำกระบอกตวงตามข้อ 4 ไปแช่ในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ประมาณ 27 ° - 1.7 ° ซ. แล้วเขย่ากระบอกตวงเพื่อไล่ฟองอากาศออก เติมน้ำจนถึงระดับ 500 มล. แล้งจึงทิ้งไว้ให้อุณหภูมิคงที่

6. ชั่งหาน้ำหนักของกระบอกตวง มวลรวมและน้ำทั้งหมด

7. เทมวลรวมละเอียดออกจากกระบอกตวงไปในถาดโลหะ แล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 – 110 ° ซ. จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ (อบประมาณ 24 ชั่วโมง) จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1 – 1 ½ ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่ผิวแห้ง

8. ชั่งหาน้ำหนักของกระบอกตวงที่มีน้ำที่ระดับ 500 มล. ที่อุณหภูมิประมาณ 28 ° ซ.

<u>การคำนวณ</u>

1. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะแห้งด้วยเตาอบ ได้จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด} = \frac{A}{B + 500 - C}$$

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม
B = น้ำหนักของกระบอกตวงและน้ำที่ระดับ 500 มล., กรัม
C = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีมวลรวมละเอียดและน้ำที่ระดับ 500 มล., กรัม

2. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Sufrace Dry Basis) ได้จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (อิ่มตัวผิวแห้ง)} = \frac{500}{B + 500 - C}$$

โดยที่ B = น้ำหนักของกระบอกตวงและน้ำที่ระดับ 500 มล., กรัม
C = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีมวลรวมละเอียดและน้ำที่ระดับ 500 มล., กรัม

3. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) ได้จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะปรากฏ} = \frac{A}{B + A - C}$$

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม

B = น้ำหนักของกระบอกตวงและน้ำที่ระดับ 500 มล., กรัม

C = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีมวลรวมละเอียดและน้ำที่ระดับ 500 มล., กรัม

4. คำนวณหาร้อยละของการดูดซึม (Percentage of Absorption) ได้จาก

$$\text{การดูดซึม \%} = \frac{(500 - A)}{A} \times 100\%$$

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม

ตอนที่ 2

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

(Test for Specific Grabity and Absorption of Coarse Aggregates)

วัสดุ

มวลรวมหยาบที่ต้องการทดสอบที่มีน้ำหนักตามเกณฑ์ดังนี้

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม	น้ำหนักต่ำสุด (กก.)
½"	2
¾"	3
1"	4
1 ½"	5
2"	8
2 ½"	12
3"	18
3 ½"	25

<u>เครื่องมือ</u>

1. เครื่องชั่งที่มีความละเอียดพอเหมาะ (0.1 % ของน้ำหนัก)
2. ตะกร้าลวดเหล็ก
3. ถาดโลหะ
4. ผ้าแห้ง
5. เตาอบ

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. นำมวลรวมหยาบที่เก็บมาประมาณเท่าที่ต้องการ โดยวิธีการของการแบ่งสี (Method of Quartering) ร่อนเอาส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ทิ้งไป

2. ล้างมวลรวมหยาบด้วยน้ำ เพื่อขจัดฝุ่นและสิ่งสกปรกที่ติดตามผิวของมวลรวมหยาบนั้น

3. นำมวลรวมหยาบไปอบในเตาอบให้ได้น้ำหนักคงที่ที่อุณหภูมิ 100 – 110 ° ซ. แล้วทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1 – 3 ชั่วโมง

4. จากนั้นมวลรวมหยาบนั้นไปแช่ไว้ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5. นำเอามวลรวมหยาบแต่ละก้อนมาเช็ดถูด้วยผ้า ในน้ำที่เกาะตามผิวของมวลรวมถูกดูดซับไป โดยที่ผิวของมวลรวมหยาบยังชื้นอยู่ หลีกเลี่ยงอย่าให้มีการระเหยของความชื้นในขณะเช็ดถู มวลรวมหยาบจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

6. ชั่งน้ำหนักของมวลรวมหยาบในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

7. เทมวลรวมหยาบในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งนี้ลงในตะกร้าลวดเหล็กแล้วชั่งหาน้ำหนักในน้ำที่อุณหภูมิ
ประมาณ 28 ° ซ.

8. จากนั้นนำเอามวลรวมหยาบนั้นไปอบในเตาอบอุณหภูมิประมาณ 100 –110 ° ซ. จนได้น้ำหนักคงที่ แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 – 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปชั่ง

<u>การคำนวณ</u>

1. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ในสภาวะแห้งด้วยเตาอบได้จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด} = \frac{A}{B - C}$$

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม

B = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ, กรัม

C = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในน้ำ, กรัม

2. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ผSaturated Surface – Dry) ได้จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด} = \frac{B}{B-C}$$

โดยที่ B = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ, กรัม

C = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งน้ำ, กรัม

3. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) ได้จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะปรากฏ} = \frac{A}{A-C}$$

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม

C = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในน้ำ, กรัม

4. คำนวณหาร้อยละของการดูดซึม (Percentage of Absorption) ได้จาก

$$\text{การดูดซึม \%} = \frac{B-A}{A} \times 100\%$$

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม

B = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ, กรัม

รายการคำนวณความถ่วงจำเพาะและ%การดูดซึมของทราย

ทราย(ตัวอย่างที่ 1)

น้ำหนักทรายแช่น้ำ 24 ชั่วโมง	=	0.5	ก.ก.
น้ำหนักทราย + น้ำ	=	1.726	ก.ก.
น้ำหนักทรายอบแห้ง	=	0.4932	ก.ก.
น้ำหนักน้ำ	=	1.421	ก.ก.

ความถ่วงจำเพาะ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักทรายแช่น้ำ 24 ชั่วโมง}}{\text{น้ำหนักน้ำ - น้ำหนักทรายแช่น้ำ 24 ชั่วโมง - (น้ำหนักทราย + น้ำ)}}$$

$$= \frac{0.5}{(1.421+0.5-1.726)}$$

$$= 2.56$$

เปอร์เซ็นการดูดซึม

$$\text{เปอร์เซ็นการดูดซึม} = \frac{(\text{น้ำหนักทรายแช่น้ำ 24 ชั่วโมง - น้ำหนักอบแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักอบแห้ง}}$$

$$= \frac{(0.5-0.493) \times 100}{0.493}$$

$$= 1.37$$

รายการคำนวณความถ่วงจำเพาะและ%การดูดซึมของทราย

ทราย(ตัวอย่างที่ 2)

น้ำหนักทรายแช่น้ำ 24 ชั่วโมง	=	0.5	ก.ก.
น้ำหนักทราย + น้ำ	=	1.722	ก.ก.
น้ำหนักทรายอบแห้ง	=	0.488	ก.ก.
น้ำหนักน้ำ	=	1.418	ก.ก.

ความถ่วงจำเพาะ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักทรายแช่น้ำ 24 ชั่วโมง}}{\text{น้ำหนักน้ำ - น้ำหนักทรายแช่น้ำ 24 ชั่วโมง - (น้ำหนักทราย + น้ำ)}}$$

$$= \frac{0.5}{(1.417+0.5-1.722)}$$

$$= 2.55$$

เปอร์เซ็นการดูดซึม

$$\text{เปอร์เซ็นการดูดซึม} = \frac{\text{(น้ำหนักทรายแช่น้ำ 24 ชั่วโมง - น้ำหนักอบแห้ง) X 100}}{\text{น้ำหนักอบแห้ง}}$$

$$= \frac{(0.5-0.488) \text{ X } 100}{0.488}$$

$$= 2.45$$

รายการคำนวณความชื้นที่ผิว

ทราย(ตัวอย่างที่ 1)

น้ำหนักตัวอย่าง = 0.2 ก.ก.

น้ำหนักน้ำในขวด = 0.74 ก.ก.

น้ำหนักน้ำในขวด + น้ำ = 0.86 ก.ก.

น้ำที่ตัวอย่างแทนที่ = 0.08 ก.ก.

$$V_d = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}{\text{ความถ่วงจำเพาะ}}$$

$$= \frac{0.2}{2.609}$$

$$= 0.077$$

ความชื้นที่ผิว

ความชื้นที่ผิว

$$= \frac{(\text{น้ำที่ตัวอย่างแทนที่} - V_d) \times 100}{(\text{น้ำหนักตัวอย่าง} - \text{น้ำที่ตัวอย่างแทนที่})}$$

$$= \frac{(0.08 - 0.077) \times 100}{(0.2 - 0.08)}$$

$$= 2.785$$

รายการคำนวณความชื้นที่ผิว

ทราย(ตัวอย่างที่ 2)

น้ำหนักตัวอย่าง = 0.2 ก.ก.

น้ำหนักน้ำในขวด = 0.74 ก.ก.

น้ำหนักตัวอย่าง + น้ำ = 0.84 ก.ก.

น้ำที่ตัวอย่างแทนที่ = 0.08 ก.ก.

$$V_d = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}{\text{ความถ่วงจำเพาะ}}$$

$$= \frac{0.2}{2.609}$$

$$= 0.077$$

ความชื้นที่ผิว

ความชื้นที่ผิว

$$= \frac{(\text{น้ำที่ตัวอย่างแทนที่} - V_d) \times 100}{(\text{น้ำหนักตัวอย่าง} - \text{น้ำที่ตัวอย่างแทนที่})}$$

$$= \frac{(0.08 - 0.077) \times 100}{(0.2 - 0.08)}$$

$$= 2.785$$

รายการคำนวณความถ่วงจำเพาะและ%การดูดซึมของหิน

หิน(ตัวอย่างที่ 1)

น้ำหนักหินที่ทดลอง	=	3.000	ก.ก.
น้ำหนักหลังแช่น้ำและเช็ดผิว	=	3.086	ก.ก.
น้ำหนักสภาพอิ่มตัวในน้ำ	=	1.960	ก.ก.
น้ำหนักอบแห้ง	=	3.060	ก.ก.

ความถ่วงจำเพาะ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำและเช็ดผิว}}{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำและเช็ดผิว - น้ำหนักสภาพอิ่มตัวในน้ำ}}$$

$$= \frac{3.086}{(3.086 - 1.960)}$$

$$= 2.741$$

เปอร์เซ็นการดูดซึม

$$\text{เปอร์เซ็นการดูดซึม} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำและเช็ดผิว} - \text{น้ำหนักอบแห้}) \times 100}{\text{น้ำหนักอบแห้ง}}$$

$$= \frac{(3.086 - 2.985) \times 100}{3.060}$$

$$= 0.850$$

รายการคำนวณความถ่วงจำเพาะและ%การดูดซึมของหิน

หิน(ตัวอย่างที่2)

น้ำหนักหินที่ทดลอง	=	3	ก.ก.
น้ำหนักหลังแช่น้ำและเช็ดผิว	=	3.079	ก.ก.
น้ำหนักสภาพอิ่มตัวในน้ำ	=	1.94	ก.ก.
น้ำหนักอบแห้ง	=	3.055	ก.ก.

ความถ่วงจำเพาะ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำและเช็ดผิว}}{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำและเช็ดผิว - น้ำหนักสภาพอิ่มตัวในน้ำ}}$$

$$= \frac{3.079}{(3.079 - 1.94)}$$

$$= 2.70$$

เปอร์เซ็นการดูดซึม

$$\text{เปอร์เซ็นการดูดซึม} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำและเช็ดผิว} - \text{น้ำหนักอบแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักอบแห้ง}}$$

$$= \frac{(3.079 - 3.055) \times 100}{3.055}$$

$$= 0.78$$

รายการคำนวณความชื้นที่ผิว

หิน (ตัวอย่างที่1)

น้ำหนักตัวอย่าง	=	0.200	ก.ก.
น้ำหนักน้ำในขวด	=	0.587	ก.ก.
น้ำหนักตัวอย่าง + น้ำ	=	0.710	ก.ก.
น้ำที่ตัวอย่างแทนที่	=	0.077	ก.ก.

$$V_d = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}{\text{ความถ่วงจำเพาะ}}$$

$$= \frac{0.200}{2.720}$$

$$= 0.074$$

ความชื้นที่ผิว

$$\text{ความชื้นที่ผิว} = \frac{(\text{น้ำที่ตัวอย่างแทนที่} - V_d) \times 100}{(\text{น้ำหนักตัวอย่าง} - \text{น้ำที่ตัวอย่างแทนที่})}$$

$$= \frac{(0.077 - 0.074) \times 100}{(0.200 - 0.077)}$$

$$= 2.822$$

รายการคำนวณความชื้นที่ผิว

หิน (ตัวอย่างที่ 2)

น้ำหนักตัวอย่าง = 0.200 ก.ก.

น้ำหนักน้ำในขวด = 0.571 ก.ก.

น้ำหนักตัวอย่าง + น้ำ = 0.695 ก.ก.

น้ำที่ตัวอย่างแทนที่ = 0.076 ก.ก.

$$V_d = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}{\text{ความถ่วงจำเพาะ}}$$

$$= \frac{0.200}{2.720}$$

$$= 0.074$$

ความชื้นที่ผิว

$$\text{ความชื้นที่ผิว} = \frac{(\text{น้ำที่ตัวอย่างแทนที่} - V_d) \times 100}{(\text{น้ำหนักตัวอย่าง} - \text{น้ำที่ตัวอย่างแทนที่})}$$

$$= \frac{(0.077 - 0.074) \times 100}{(0.200 - 0.077)}$$

$$= 1.992$$

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าต่างๆ จากการทดลอง

ค่าจากการทดลอง	Test		
	1	2	เฉลี่ย
ความถ่วงจำเพาะของหิน	2.74	2.70	2.72
ความถ่วงจำเพาะของทราย	2.56	2.55	2.56
ความชื้นผิวของหิน	2.82	1.99	2.41
ความชื้นผิวของทราย	2.79	2.79	2.79
เปอร์เซนต์การดูดซึมของหิน	0.85	0.78	0.82
เปอร์เซนต์การดูดซึมของทราย	1.38	2.46	1.92

ภาคผนวก ข

การทำการผสม และการทำก้อนตัวอย่าง

การทำการผสมคอนกรีต

วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบว่าส่วนผสมคอนกรีตที่ถูกออกแบบไว้นั้น มีคุณสมบัติต่างๆ เช่น ค่ายุบตัว, เวลาการแข็งตัว, ปริมาณอากาศ ตามที่ต้องการหรือไม่ การทดสอบแต่ละอย่างที่จะกล่าวต่อไปนี้ ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะเลือกทดสอบเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานเท่านั้น

มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 192

Standard Method of MAKING AND CURING CORCRETE TEST SPECIMENTSIN THE LABORATORY

วิธีการทดสอบ

หลังจากออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว นำส่วนผสมที่ได้มาทำการชั่งน้ำหนัก ซีเมนต์ หิน ทราย รวมทั้งวัดปริมาตรน้ำและน้ำยา ตามส่วนผสมโดยต้องคำนวณปรับน้ำหนักของ หิน ทราย ตามค่าความชื้นในสภาพที่เป็นจริง เสร็จแล้วนำวัตถุดิบดังกล่าวเทใส่โม่ (โม่ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการคือ โม่แบบ Tilt)

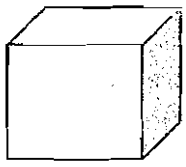
ก่อนที่จะผสมคอนกรีตใช้จริง ควรผสมมอร์ต้า เคลือบโม่ก่อน เพื่อส่วนผสมคอนกรีตที่ผสมถูกต้องและเพื่อให้วัตถุดิบทั้งหมดผสมเข้ากันได้ดี ลำดับการใส่วัตถุดิบจึงมีความสำคัญ โดยจะใส่หิน ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำตามลำดับ ถ้ามีการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตจะผสมน้ำยากับน้ำแล้วเทส่วนผสมใส่ในโม่

การทำก้อนตัวอย่าง

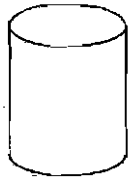
คอนกรีตที่เหมาะสำหรับงานก่อสร้าง นอกจากมีความเหลวที่จะเทได้แล้ว เมื่อเป็นคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วยังต้องสามารถรับกำลังอัดได้ตามต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเก็บก้อนตัวอย่าง และนำมาทดสอบตามเวลาต่างๆ ที่ได้กำหนด

ก้อนตัวอย่างในงานคอนกรีตที่ใช้ในประเทศไทย มีดังนี้

1. ตัวอย่างรูปลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม.
2. ตัวอย่างรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
3. ตัวอย่างรูปคาน ขนาด 15 x 15 x 60 ซม.



ตัวอย่างรูปลูกบาศก์



ตัวอย่างรูปทรงกระบอก

ตัวอย่างรูปคาน

รูปที่ ข.1 ลักษณะก้อนตัวอย่าง

<u>การทำก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐานที่ใช้</u>

BS 1881 : PAT\RT3

Method of MAKING AND CURING TEST SPECIMENS

<u>อุปกรณ์</u>

1) แบบหล่อก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ 15 x 15 x 15 ซม.
2) เหล็กตำ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว
3) ช้อนตัก, เกรียงเหล็ก

<u>วิธีทำ</u>

1) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
2) ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่าๆ กัน แต่ละชั้นตำด้วยเหล็กตำ 35 ที
3) เมื่อตำชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ
4) การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

ภาคผนวก ค

การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

มาตรฐานที่ใช้สำหรับตัวอย่างทรงลูกบาศก์

BS 1881 : PART 4

Method of

TESTING CONCRETE FOR STRENGTH

วิธีการทดสอบ

1. นำก้อนตัวอย่าง วางกึ่งกลางของแท่นทดสอบ โดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด
2. เปิดเครื่องทดสอบโดยในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมอ อัตราที่ใช้คือ 1.4 – 3.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
3. กดก้อนตัวอย่างจนแตก บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้
4. นำค่าน้ำหนัก และพื้นที่หน้าที่หน้าตัดที่ได้มาหาค่ากำลังอัดประลัย

$$\text{กำลังอัดประลัยของคอนกรีต} = \frac{\textit{น้ำหนักกดประลัย}}{\textit{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}}$$

หน่วยที่ใช้ทั่วไปคือ

1. กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Ksc)
2. นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm^2)

ภาคผนวก ง

การทดสอบการไหลตัวของมอร์ตา

<u>มาตรฐานที่ใช้</u>

DIN 1048 : PART 1

Method for

DETERMINATION OF FLOW

<u>วิธีการทดสอบ</u>

1. ทำอุปกรณ์ทั้งหมดให้เปียก
2. วางโคนลงกลางโต๊ะเขย่าให้ตรงรอยขีด ใช้เท้าเหยียบปลายทั้งสองข้าง
3. ตักคอนกรีตใส่โคน 2 ชั้นแต่ละชั้นตำด้วยไม้ตำ 10 ที
4. เมื่อตำชั้นสุดทายเสร็จ ปาดผิวหน้ามอร์ตาให้เรียบ ทำความสะอาดโต๊เขย่า
5. ยกโคนขึ้นตรง ๆ
6. ยกโต๊เย่าให้ถึงขอบและปล่อยลง ทำอย่างนี้ 25 ครั้ง คอนกรีตจะแผ่กระจายบนโตเขย่า
7. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่ออก โดยวัดสองแนวที่ตั้งฉากกัน
8. ค่าการไหลตัวของมอร์ตา คือค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 2 ที่วัดได้

<u>รายการคำนวณ</u>

มอร์ตาตามมาตรฐาน ASTM ต้องเป็นไปตามนี้ คือ ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อทราย 2.75 ส่วน โดยใช้ W/C = 0.485 โดยน้ำหนัก

ถ้าใช้โมลขนาด 6 ก้อน จะใช้ส่วนผสมดังนี้

ปูนซีเมนต์ปอร์แลนต์	500	กรัม
ทราย	1375	กรัม
น้ำ	242.5	กรัม

ปริมาตรของกรวยที่ใช้ทำการทดลอง มีค่าโดยประมาณเท่ากับขนาดของโมลของมอร์ตา 5 x 5 x 5 cm. จำนวน 36 ก้อน ทำให้ได้ว่าปริมาณส่วนผสมโดยน้ำหนักของมอร์ตาที่ใช้ในการทดลองจริง

1 กรวย = (น้ำหนักมอร์ตา 1 ก้อน) x 6

ปูนซีเมนต์ 500 x 6 = 3000 กรัม

ทราย 1375 x 6 = 8250 กรัม

ส่วนปริมาณน้ำนั้นจะเป็นตัวแปรในการทดลองโดยกำหนดการไหลของมอร์ตา เมื่อใช้ปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ประเภทที่ 1 และ W /C ต่างกัน ในขณะที่ การไหลแผ่มีค่าเท่ากันได้

ปริมาณส่วนผสม

Type	ปูนซีเมนต์ (kg)	ทราย (kg)	เถ้าลอย (kg)	น้ำ (kg)
P1	3.0	8.25	-	1.455
F10	2.7	8.25	0.3	1.35
F20	2.4	8.25	0.6	1.30
F30	2.1	8.25	0.9	1.25
F50	1.5	8.25	1.5	1.15
F70	0.9	8.25	2.1	1.10

ตาราง ง.1 แสดงส่วนผสมของมอร์ตา

ผลการทดลอง

Type	D1		D2		D3		D4		เฉลี่ย		$(D_{เฉลี่ย} - D_0)/D_0 \times 100$		W / C
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
P1	38	38	40	39	36.5	39	39	37	38.38	38.25	53.5	53	0.485
F10	38	38	39	38	38	39	36	38.5	38	37	52	48	0.45
F20	40	38	38	40	39	38	39	37	39	38.25	56	53	0.43
F30	38	38	38	39	39	38	39	40	38.5	38.75	54	55	0.417
F50	40	37	39	38	39	39	39	38	39.25	38	57	52	0.38
F70	39	40	40	39	39	39	39	39	39.25	39.25	57	57	0.37

ตาราง ง.2 แสดงการ ไหลตัวของมอร์ตาและ W / C ที่นำไปใช้จริง

ภาคผนวก จ

การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตา

มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 192

Method for

COMPRESSIVE STRENGTH OF MORTAR

วิธีการทดสอบ

1. ทาน้ำมันชนิดเหลวภายในแบบหล่อตัวอย่างบาง ๆ เพื่อจะได้เก็บแบบได้โดยง่าย
2. ให้เตรียมตัวอย่างทรายให้เพียงพอ ตามตารางที่ 2.2 โดยใช้น้ำในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 และ 0.5 และใช้ทรายเท่ากับ 0.4 ของปริมาตรทั้งหมดของมอร์ตา

ตารางที่ จ.1 อัตราส่วนผสมมอตาร์สำหรับแท่งตัวอย่างลูกบาศก์ ขนาด 5 x 5 x 5 ซม. จำนวน 24 ตัวอย่าง

Mixer type	W/C	Minoral Addmixer		kg/m^3 of 4 Morta			
		Type	%Replacement	Cement	Fly Ash	Water	Sand
P1	0.485	-	0	333.33	0.00	161.67	916.50
F10	0.45	Fly Ash	10	300.00	33.33	150.00	916.50
F20	0.43	Fly Ash	20	266.67	66.67	143.33	916.50
F30	0.417	Fly Ash	30	233.33	100.00	139.00	916.50
F50	0.38	Fly Ash	50	166.67	166.67	126.67	916.50
F70	0.37	Fly Ash	70	100.00	233.33	123.33	916.50

3. การผสมมอร์ตานั้น ให้ผสมด้วยเครื่องผสมมอร์ตา ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1 การผสมมอร์ตาปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกด้วยเครื่องผสม
4. หลังจากผสมตามข้อ 3 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทิ้งไว้ในอ่างอีก 90 วินาที แล้วผสมอีกครั้งด้วย ความเร็วปานกลางเป็นระยะเวลา 15 วินาที
5. ให้เริ่มเทมอร์ตาใส่แบบหล่อตัวอย่าง โดยใส่ชั้นแรกหนาประมาณ 25 มม. ให้ครบทุกแบบหล่อ กระทุ้งแต่ละแบบหล่อจำนวน 32 ครั้ง ให้เสร็จภายในเวลา 10

วินาที กระทุ้งเป็น 4 รอบ โดยแต่ละรอบให้ตั้งฉากกับรอบอื่นและกระทุ้งให้มีน้ำหนักเพียงพอที่จะทำให้มอร์ตาบรรจุได้เต็มแบบหล่อเท่านั้น กระทุ้งให้ครบ 4 รอบในแต่ละช่องก่อนที่จะไปกระทุ้งช่องอื่นต่อไปเมื่อกระทุ้งชั้นแรกเสร็จหมดเรียร้อยแล้ว ให้ใส่มอร์ตาส่วนที่เหลือให้เต็มครบทุกแบบหล่อแล้ว กระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรก โดยให้มอร์ตาเมื่อกระทุ้งเสร็จแล้วสูงกว่าแบบเล็กน้อย จากนั้นให้ใช้เกรียงแต่งให้เรียบร้อย

6. หลังจากที่หล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เก็บตัวอย่างซึ่งอยู่ในแบบหล่อไว้ในห้องเก็บความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถอดแบบออกแล้วแช่ในน้ำที่สะอาด และหมั่นเปลี่ยนน้ำอยู่เสมอ
7. ทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาลูกบาศก์ โดยนำไปกดโดยชุดทดสอบ Compressive Strenght เพื่อหากำลังอัดให้อยู่ในช่วง 3000 $\pm$150 psi ตามมาตรฐาน ASTM C1012

<u>วิธีทดสอบกำลังอัดมอตาร์</u>

1. เช็ดผิวแท่งตัวอย่างมอตาร์ให้แห้ง และทำความสะอาดผิวตัวอย่างด้วยผ้าสะอาด
2. วัดขนาด ความยาว ความกว้าง ความสูง ของแท่งตัวอย่างลูกบาศก์ และคำนวณหาพื้นที่หน้ากด
3. ทำความสะอาดผิวแท่นกด (Bearing Faces) ทั้งด้านบน และด้านล่างของเครื่องทดสอบแรงกด
4. วางแท่งทดสอบให้อยู่ในแนวจุดศูนย์กลางของน้ำหนักกดแล้วเลื่อนผิวกดสัมผัสกับแท่งตัวอย่างทดสอบให้สนิท
5. ป้อนข้อมูลพื้นที่หน้าตัด และ อัตราการกดลงในเครื่องทดสอบแรงกด เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดลงอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่ 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ตลอดการกดแท่งตัวอย่างทดสอบ และขณะเครื่องกดทำงาน
6. ให้สังเกตน้ำหนักที่กดลงบนแท่งตัวอย่าง บนหน้าจอเครื่องกดจนแท่งทดสอบถึงจุดประลัย และกำลังอัดตกลงเรื่อย ๆจนแท่งตัวอย่างแตก บันทึกค่า กำลังอัดสุดท้าย และค่าความเค้นสูงสุดที่แสดงบนหน้าจอเครื่องกด และหาค่าเฉลี่ยของกำลังอัดที่จุดประลัยอย่างน้อย 3 ก้อนตัวอย่าง อนึ่งหากกำลังอัดของแต่ละแท่งตัวอย่างแตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบทั้งหมดเกินกว่า 10% แล้วถือว่าค่านั้นใช้ไม่ได้ อย่างไรก็ตาม หลังจากที่ตัดค่าที่ใช้ไม่ได้ออกแล้ว จะต้องมีผลการทดสอบเหลือไว้อย่าง

น้อย 3 ค่า สำหรับหาค่าเฉลี่ย หากเหลือน้อยกว่า 3 ค่าจะต้องทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด

7. นำค่าน้ำหนักกด มาพล็อตกราฟกำลังอัดและระยะเวลาในการบ่ม

<u>รายการคำนวณ</u>

มอร์ตาตามมาตรฐาน ASTM ต้องเป็นไปตามนี้ คือ ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อทราย 2.75 ส่วน โดยใช้ W/C = 0.485 โดยน้ำหนัก

ถ้าใช้โมลขนาด 6 ก้อน จะใช้ส่วนผสมดังนี้

ปูนซีเมนต์ปอร์แลนต์	500	กรัม
ทราย	1375	กรัม
น้ำ	242.5	กรัม

ปริมาตรของกรวยที่ใช้ทำการทดลอง มีค่าโดยประมาณเท่ากับขนาดของโมลด์ของมอร์ตา 5 x 5 x 5 cm. จำนวน 4 ก้อน ทำให้ได้ว่าปริมาณส่วนผสมโดยน้ำหนักของมอร์ตาที่ใช้ในการทดลองจริง

ใช้จริง = 1 โมลด์ x 4/6

จะได้ว่า

ปูนซีเมนต์	500	x	4/6	=	333.33 กรัม
ทราย	137	x	4/6	=	916.50 กรัม
น้ำ				=	แปรผันตาม W / C

กำลังที่ต้องการตามมาตรฐาน ASTM คือ 3000 $\pm$ 150 psi (210 $\pm$ 10 ksc) จากเครื่องกดจะได้ค่าแรงกดมีหน่วยเป็น kN สามารถทำเป็นหน่วยแรงกดได้ดังนี้

จาก $f_c = P / A$

f_c = หน่วยแรงกด (ksc)

P = แรงอัดประลัย (kN)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างจริง (cm^2)

Ksc = (kN x 1000) / 9.81 x 1 / A (cm2)

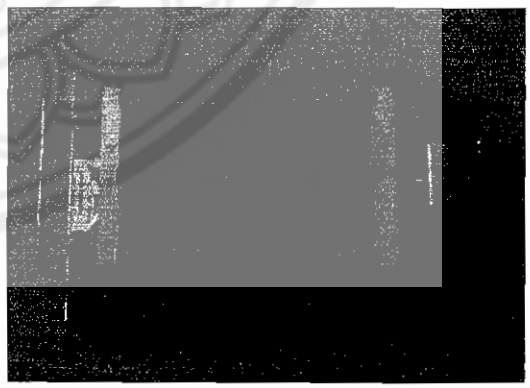
ภาคผนวก ฉ

ภาพในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา

โม่แบบ Pan ในการผสมคอนกรีต

เครื่องผสมมอร์ต้า

แบบหล่อตัวอย่างก้อนคอนกรีตขนาด 15x15x15 ซม.



แบบหล่อตัวอย่างก้อนมอร์ต้าขนาด 5x5x20 ซม.