

บทที่ 12

การทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต และปริมาณอากาศ

(Unit Weight and Air Content of Concrete)

บทนำ

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (Unit Weight of Concrete) และหาปริมาณอากาศ (Air Content) ในคอนกรีตด้วยวิธี Gravimetric และวิธีความดัน (Pressure Method) ค่าหน่วยน้ำหนักเป็นค่าที่บอกให้ทราบว่า คอนกรีตที่มีปริมาตรหนึ่งๆ นั้นมีค่าน้ำหนักเท่าใด ใช้สำหรับเปลี่ยนค่าปริมาตรให้เป็นค่าน้ำหนักหรือค่าน้ำหนักให้เป็นค่าปริมาตร เพื่อดำเนินการหาค่าน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กต่อไป ส่วนค่าปริมาณอากาศนั้นบอกให้ทราบว่าในหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีตนั้นมีปริมาณอากาศร้อยละเท่าใด ซึ่งปริมาณอากาศนั้นมีผลต่อการแยกตัว การเยิ้ม ค่ายุบตัว กำลังอัด และความคงทนต่อการแข็งตัวของน้ำ (Freeze and Thaw)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (Unit Weight of Concrete)

คือ ค่าน้ำหนักของคอนกรีตในหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยรวมปริมาณอากาศด้วย มีประโยชน์สำหรับการเปลี่ยนค่าปริมาตรให้เป็นค่าน้ำหนักหรือค่าน้ำหนักให้เป็นค่าปริมาตร เพื่อดำเนินการหาค่าน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณอากาศด้วยวิธี Gravimetric

1.1. ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (Unit Weight of Concrete) คือ

- จำนวนและหน่วยน้ำหนักของมวลรวมที่นำมาผสมทำคอนกรีต มวลรวมเบา (Lightweight Aggregate) ที่ใช้สำหรับผลิตคอนกรีตเบา เช่น Expanded Clay Aggregate, Expanded Shale

Aggregate, Foamed Slag, Sintered Fly Ash, Vermiculite, Perlite, หรือ Pumice มีหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 60-1,000 กก./ลบ.ม. ส่วนมวลรวมหนัก (Heavyweight Aggregate) ที่ใช้สำหรับผลิตคอนกรีตหนัก เช่น Magnetite (Fe_3O_4), Barite ($BaSO_4$) หรือก้อนเหล็ก มีหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 2,100-6,100 กก./ลบ.ม. และมวลรวมปกติที่ใช้สำหรับผลิตคอนกรีตทั่วไป เช่น หินปูนหรือกรวดมีหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1,100-1,750 กก./ลบ.ม.

- **ฟองอากาศที่ถูกกักกระจาย (Entrained Air) และปริมาณช่องว่างของน้ำที่ถูกกักอยู่ได้มวลรวมหรือเหล็กเสริม (Entrapped Air)** การที่คอนกรีตมีช่องว่าง หรือปริมาณอากาศมากขึ้นทำให้เนื้อแท้ของคอนกรีตลดลง ซึ่งจะส่งผลให้หน่วยน้ำหนักลดลงนั่นเอง

- **อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์** การที่คอนกรีตมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำนั้น จะมีเนื้อแน่นและส่งผลให้ค่าหน่วยน้ำหนักสูงขึ้นด้วย

1.2. ชนิดของคอนกรีตเมื่อใช้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต เป็นเกณฑ์สามารถแบ่งออกได้เป็น

- **คอนกรีตทั่วไป (Normal Weight Concrete)** คือ คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักประมาณ 2,400 กก./ลบ.ม ใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป ทั้งในอาคารและงานถนน

- **คอนกรีตเบา (Lightweight Concrete)** คือ คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 300-1,850 กก./ลบ.ม. นิยมนำไปใช้ในการก่อสร้างตั้งแต่ทำเป็นฉนวนกันความร้อน จนถึงใช้เป็นชั้นส่วนของโครงสร้าง เช่น พื้น เสา คาน ผนัง และฐานราก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดน้ำหนักของอาคาร ส่งผลให้เป็นการประหยัดต้นทุนโดยรวม มีความคงทนอยู่ในระดับที่ดีแต่มีความต้านทานต่อการขัดสีต่ำ

- **คอนกรีตหนัก (Heavyweight Concrete)**

คือคอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักมากกว่า 3,200 กก./ลบ.ม. โดยทั่วไปจะใช้สำหรับงานโครงสร้างที่ต้องป้องกันรังสีหรือกัมมันตภาพรังสี

2. ปริมาณอากาศ (Air Content)

คือ ค่าที่บอกให้ทราบว่าในหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีตนั้นมีปริมาณอากาศร้อยละเท่าใด ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น

2.1. โพรงอากาศของน้ำที่ถูกกักอยู่ได้มวลรวมหรือเหล็กเสริม (Entrapped Air) โพรงอากาศชนิดนี้จะมีขนาดใหญ่และเกิดในบริเวณที่จี๋เขยาคอนกรีตไม่ดีพอ โดยเกิดจากการที่คอนกรีตมีปริมาณน้ำมากเกินไป น้ำส่วนหนึ่งจะถูกกักอยู่ใต้หินหรือเหล็กเสริมเมื่อคอนกรีตแข็งตัว แอ่งน้ำดังกล่าวจะกลายโพรงอากาศ ทำให้ความทึบแน่น ความทนทาน และกำลังอัดคอนกรีตลดลง

2.2. โพรงอากาศที่ถูกกักกระจาย (Entrained Air) โพรงอากาศชนิดนี้เกิดจากการใส่สารกักกระจายฟองอากาศ ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบนผิวของอนุภาคที่มักจะรวมกันอยู่ระหว่างผิวหน้าและอากาศทำให้แรงดึงผิวลดลง ก่อให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.25-1 มม. กระจายตัวอยู่สม่ำเสมอและคงตัวในคอนกรีต

ผลของสารกักกระจายฟองอากาศต่อคอนกรีต

1. เพิ่มความทนทานของคอนกรีตในห้องเย็น ที่จุดเยือกแข็ง (Freezing) น้ำภายใน Capillary pore จะเกิดการขยายตัวจนเต็ม แล้วน้ำส่วนเกินจะถูกผลักดันไปยัง Air Void ผ่านทางเนื้อซีเมนต์เพสต์ ปริมาณความดันที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการไหลของน้ำจาก Capillary pore ไปยัง Air Void ถ้าความดันมีปริมาณมากอาจส่งผลให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ การใส่สารกักกระจายฟองอากาศจะเป็นการเพิ่ม Air Void ให้กระจายอยู่ทั่วเนื้อคอนกรีต ทำให้น้ำจาก Capillary pore สามารถไหลไปยัง Air Void ได้สะดวกขึ้น ดังนั้นความดันภายในคอนกรีตจึงลดลง ขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นน้ำใน Air Void จะละลาย (Thawing) และไหลกลับเข้าสู่เนื้อซีเมนต์เพสต์ ทำให้คอนกรีตสามารถทนทานอยู่ในสภาวะที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งได้อย่างต่อเนื่อง

2. เพิ่มความสามารถเทได้ ลดการแยกตัวและการเยิ้ม อนุภาคที่กลมของฟองอากาศจะประพุดตัวเหมือนมวลรวมละเอียด ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างผิวอนุภาค ทำให้ความสามารถเทได้เพิ่มขึ้นและช่วยพยุงมวลรวมให้ลอยตัวอยู่ในซีเมนต์เพสต์ จึงทำให้ลดการเยิ้ม

3. กำลังอัดคอนกรีตลดลง ปริมาณฟองอากาศภายในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นทุก 1% จะมีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงประมาณ 5% แต่เหตุผลหนึ่งที่ยังมีความนิยมใช้สารกักกระจายฟองอากาศ เพราะความสามารถเทได้ที่เพิ่มขึ้นนั้น จะทำให้สามารถลดปริมาณน้ำในส่วนผสมได้ ค่ากำลังอัดที่ลดลงจะถูกชดเชยกับกำลังอัดที่เพิ่มขึ้น

การหาปริมาณฟองอากาศสามารถทำได้โดย

1. Gravimetric Method วิธีนี้เป็นวิธีที่เก่าแก่ที่สุด โดยอาศัยการเปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่มีอากาศปนอยู่กับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ถูกไล่อากาศออกไปแล้ว วิธีนี้จะใช้ได้เมื่ออัตราส่วนผสมของคอนกรีตและค่าความถ่วงจำเพาะของวัตถุดิบที่ใช้ทำคอนกรีตคงที่

2. Volumetric Method วิธีนี้หาโดยเทน้ำใส่ด้านบนผิวคอนกรีต แล้วทำการไล่อากาศขึ้นด้านบนด้วยการเขย่าและกวนขณะที่คอนกรีตยังอยู่ใต้อัตราส่วนน้ำ จากนั้นเปรียบเทียบปริมาตรของคอนกรีตที่ถูกอัดแน่นในภาชนะ (Pycnometer) ซึ่งมีอากาศปนอยู่กับปริมาตรของคอนกรีตที่ถูกไล่อากาศออกไป อุปสรรคของการทดสอบด้วยวิธีนี้คือ น้ำหนักของน้ำที่จะไปแทนที่อากาศนั้นมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับน้ำหนักคอนกรีต นอกจากนั้นผลการทดสอบอาจจะคลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจากช่องว่างในมวลรวมเองอีกด้วย

3. Pressure Method วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด เหมาะสมกับการใช้งานในสนาม และถือว่ามีค่าความถูกต้องมากที่สุด การทดสอบอาศัยหลักการที่ปริมาตรของอากาศจะลดลงเมื่อความดันเพิ่มขึ้น (อุณหภูมิคงที่) ซึ่งทำการทดสอบโดยใส่คอนกรีตลงในแอร์มิเตอร์ (Air Meter) แล้วปิดฝาใส่น้ำเข้าไปจนเต็มแล้วอัดความดันจากด้านบนของผิวหน้า ปริมาตรของอากาศในคอนกรีตจะลดลงซึ่งทำให้ระดับน้ำลดลงด้วย จากนั้นจึงอ่านค่าปริมาณอากาศจากหน้าปัดของแอร์มิเตอร์

ข้อดีของวิธีนี้คือ ไม่จำเป็นต้องทราบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตและค่าปริมาณอากาศสามารถอ่านได้โดยตรงเลย แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับคอนกรีตที่มีมวลรวมพรุน

การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตและปริมาณอากาศด้วยวิธี Gravimetric

มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 138

Standard Method for Unit Weight and Air Content (Gravimetric) of Concrete

อุปกรณ์

1. ถังเหล็กสำหรับใส่คอนกรีตขนาดมาตรฐานซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดใหญ่สุดของหิน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดถังเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดใหญ่สุดของหิน (นิ้ว)	ขนาดถังเหล็กมาตรฐาน (ลิตร)
1	6
1 1/2	11
2	14
3	28
4 1/2	70
6	100

- เหล็กตำหนัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส พื้นที่ 1 ตร.นิ้ว
- เครื่องชั่งซึ่งสามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.1 กก.
- ช้อนตักและเหล็กปาดคอนกรีต



รูปที่ 1 อุปกรณ์ทดสอบหน่วยน้ำหนัก

วิธีทดสอบ

- ชั่งน้ำหนักถังเปล่าบันทึกค่าไว้
- เติมน้ำให้เต็มถังแล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาตรของถังโดยความสัมพันธ์

$$\text{ปริมาตรของถัง, } V_c = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่ชั่งได้}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำ}}$$

- ใส่คอนกรีตลงในภาชนะแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นทำตามข้อกำหนดที่ขึ้นกับขนาดถัง ดังตารางที่ 2 แล้วใช้ฆ้อนยางเคาะด้านข้าง 10-15 ครั้ง

ตารางที่ 2 จำนวนครั้งที่ทำตามขนาดถัง

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	จำนวนครั้งที่ตำ
14	10
24	25
35	50

- ใช้เหล็กปาดหน้าคอนกรีตให้เรียบทำความสะอาดด้านข้าง
- นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกน้ำหนักที่ได้ (W_c)

6. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนัก โดยในการคำนวณ ควรมีความละเอียดถึง 10 กก./ลบ.ม

$$\begin{aligned} \text{หน่วยน้ำหนักคอนกรีต, } W_U &= \frac{\text{น้ำหนักคอนกรีตในถัง}}{\text{ปริมาตรถัง}} \\ &= \frac{W_c}{V_c} \end{aligned}$$

7. คำนวณหาค่าปริมาณอากาศ

$$\text{ปริมาณอากาศ (\%)} = \frac{(W/V) - W_U}{(W/V)} \times 100$$

W = น้ำหนักของวัสดุทั้งหมด (กก.) ที่ใช้ทำคอนกรีตใน 1 ลบ.ม.
 V = ปริมาตรสัมบูรณ์ (Absolute Volume) ของคอนกรีต 1 ลบ.ม.
 = ผลรวมของน้ำหนักวัสดุแต่ละชนิดหารด้วยค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุแต่ละชนิด คูณ 1,000

ค่าตัวอย่าง

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักคอนกรีต (} W_c \text{)} &= 6.60 \text{ กก.} \\ \text{ปริมาตรของคอนกรีต (} V_c \text{)} &= 2.7 \times 10^{-3} \text{ ลบ.ม.} \\ \text{น้ำหนักหิน ต่อ 1 ลบ.ม.} &= 1,160 \text{ กก.} \\ \text{น้ำหนักทราย ต่อ 1 ลบ.ม.} &= 700 \text{ กก.} \\ \text{น้ำหนักปูน ต่อ 1 ลบ.ม.} &= 360 \text{ กก.} \\ \text{น้ำหนักน้ำ ต่อ 1 ลบ.ม.} &= 162 \text{ กก.} \\ \text{น้ำหนักรวมวัสดุดิบ ต่อ 1 ลบ.ม. (} W \text{)} \\ &= 1,160 + 700 + 360 + 162 = 2,382 \text{ กก.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรสัมบูรณ์ (Absolute Volume)} &= \frac{1,160}{(2.75 \times 1,000)} + \frac{700}{(2.65 \times 1,000)} \\ &+ \frac{360}{(3.15 \times 1,000)} + \frac{162}{(1.0 \times 1,000)} \\ &= 0.962 \text{ ลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยน้ำหนัก (} W_U \text{)} &= \frac{W_c}{V_c} \\ &= \frac{6.60}{2.7 \times 10^{-3}} \\ &= 2,445 \text{ กก./ลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณอากาศ (\% Air Content)} &= \frac{(W/V) - W_U}{(W/V)} \times 100 \\ &= \frac{(2,382/0.962) - 2,445}{(2,382/0.962)} \times 100 \\ &= 1.05 \% \end{aligned}$$

การทดสอบหาปริมาณอากาศด้วยวิธีความดัน (Pressure Method)

มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 231
 Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by Pressure Method

อุปกรณ์

1. แอร์มิเตอร์
2. เหล็กดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม.
3. ฆ้อนยาง ลูกยาง ภาชนะใส่น้ำ
4. ช้อนตักแผ่นเหล็กสำหรับปาดหน้า



รูปที่ 2 อุปกรณ์ทดสอบปริมาณอากาศ

วิธีทดสอบ

1. นำอุปกรณ์ทั้งหมดไปจุ่มน้ำให้เปียก แล้วใช้ผ้าซับน้ำที่คงค้างในภาชนะให้หมด
2. ตักคอนกรีตใส่ลงในแอร์มิเตอร์ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่าๆ กัน ในแต่ละชั้นต้ำ 25 ครั้งด้วยเหล็กต้ำ
3. ใช้หม้อนยางตีรอบๆ แอร์มิเตอร์ 10-15 ครั้ง เพื่อไล่อากาศในคอนกรีตออกให้หมด

4. ใช้แผ่นเหล็กปาดหน้าคอนกรีตให้เรียบ ทำความสะอาดบริเวณขอบแอร์มิเตอร์ ปิดฝาและขันสกรูให้แน่น

5. เปิดวาล์วสำหรับใส่น้ำทั้งสองข้าง ใช้ลูกยางดูดน้ำใส่จนเต็ม โดยสังเกตจากน้ำที่ไหลออกมาอีกด้านหนึ่ง เมื่อน้ำเต็มจึงปิดวาล์ว

6. อัดอากาศเข้าไปในหม้อลมที่อยู่บริเวณฝาปิดจนเต็มโดยสังเกตจากหน้าปัดของเครื่อง เข็มจะชี้ที่เลขศูนย์

7. กดปุ่มอัดอากาศแล้วใช้หม้อนยางเคาะด้าน ข้างแอร์มิเตอร์เบาๆ

8. บันทึกค่าจากหน้าปัดของเครื่อง

การประเมินผล

ในการหาปริมาณอากาศควรทำ 2 ครั้งและค่าที่ได้ทั้ง 2 ครั้งต้องแตกต่างกันไม่เกิน 0.2% นำค่าทั้ง 2 ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยที่ได้ คือ ค่าปริมาณอากาศในคอนกรีต