

มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย
วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer)

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานนี้ครอบคลุมการใช้ค้อนกระแทก (Rebound Hammer) ในการวัดค่าการสะท้อน (Rebound Number) และข้อแนะนำเกี่ยวกับการแปลความหมายของผลการวัดที่ได้
- 1.2 ค่าที่มีการกล่าวถึงในมาตรฐานนี้กำหนดให้มีหน่วยตามระบบหน่วยระหว่างประเทศ (SI)

2. นิยาม

- “ค้อนกระแทก” หมายถึง เครื่องมือสำหรับการทดสอบความแข็งของผิวโดยอาศัยหลักการของการสะท้อนกลับของพลังงานที่แตกต่างกันของวัตถุที่มีความแข็งของผิวต่างกัน
- “ค้อนกระแทกแบบสมิทท์ (Schmidt's Hammer)” หมายถึง ค้อนกระแทกที่มีกลไกการส่งพลังงานโดยใช้พลังงานศักย์ของสปริงเป็นหลัก
- “ค่าการสะท้อน” หมายถึง ค่าแสดงระดับของการสะท้อนของก้อนเหล็กในค้อนกระแทก สามารถอ่านได้จากมาตรวัดของค้อนกระแทก
- “ก้อนหินขัด” หมายถึง เป็นก้อนหินที่มีผิวหยาบและมีส่วนผสมของซิลิโคนคาร์ไบด์ หรือวัสดุเทียบเท่าอื่นๆ ใช้ในการเตรียมผิวโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการทำการวัดค่าการสะท้อน
- “ความแข็งของผิว (Surface Hardness)” หมายถึง ความสามารถของผิววัตถุในการทนแรงกระแทก
- “กำลังอัด (Compressive Strength)” หมายถึง ค่าหน่วยแรงสูงสุดที่วัตถุสามารถรับได้ในสถานะถูกอัด

3. อุปกรณ์และส่วนประกอบของค้อนกระแทก

- 3.1 ค้อนกระแทกแบบสมิทท์ มีส่วนประกอบหลัก คือ ตัวค้อนภายนอก (Body) แท่งเหล็ก (Plunger) ก้อนเหล็ก (Hammer) สปริง (Spring) สลัก (Latch) และช่องสไลด์ที่ใช้วัดระยะสะท้อนของก้อนเหล็ก (Indicator) ระยะสะท้อนของค้อนกระแทกวัดได้จากมาตราส่วนซึ่งติดกับค้อนโดยมีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 100 เรียกว่า ค่าการสะท้อน (Rebound Number) รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของค้อนกระแทกแบบสมิทท์ (Schmidt's Rebound Hammer)
- 3.2 ก้อนหินขัด (Abrasive Stone) เป็นก้อนหินที่มีผิวหยาบและมีส่วนผสมของซิลิโคนคาร์ไบด์ หรือวัสดุเทียบเท่าอื่นๆ
- 3.3 แท่งทดสอบ (Test Anvil) เป็นก้อนเหล็กทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 150 มิลลิเมตร มีความแข็งของจุดรับการกระแทกเท่ากับ Brinell 500 หรือ Rockwell 52C และมีอุปกรณ์ที่ช่วยให้ค้อนกระแทกตั้งฉากกับจุดกระแทกขณะทดสอบ

4. วิธีการใช้งานค้อนกระแทก

- 4.1 ก่อนการทดสอบ ผู้ทดสอบต้องปลดแท่งเหล็กให้หลุดจากตัวล็อก ด้วยการกดค้อนกระแทกที่คอนกรีตและค่อยๆ ผ่อนออก แท่งเหล็กจะยื่นออกมาจากตัวค้อน สลักจะยึดก้อนเหล็กให้อยู่ติดกับแท่งเหล็ก
- 4.2 ระหว่างการทดสอบให้ตั้งตัวค้อนตั้งฉากกับผิวคอนกรีตแล้วค่อยๆ กดค้อนกระแทกเข้าหาผิวคอนกรีต เมื่อค้อนกระแทกถูกกดเข้าหาผิวคอนกรีต สปริงที่ยึดระหว่างตัวค้อนและก้อนเหล็กจะยืดตัวออก และเมื่อค้อนกระแทกถูกกดจนถึงระดับหนึ่ง ตัวสลักจะปล่อยก้อนเหล็กโดยอัตโนมัติ และก้อนเหล็กจะเคลื่อนเข้ากระแทกแท่งเหล็กและสะท้อนกลับ
- 4.3 ในระหว่างที่แท่งเหล็กสะท้อน ตัวอ่านค่าจะเคลื่อนที่ไปกับก้อนเหล็กและค้างอยู่ที่ระยะมากที่สุดที่ก้อนเหล็กสะท้อน และอ่านค่าการสะท้อนได้จากมาตรวัดที่ติดอยู่กับตัวค้อน
- 4.4 ค้อนกระแทกสามารถทดสอบได้ทั้งทิศแนวนอน แนวตั้ง หรือ แนวเฉียง อย่างไรก็ตามทิศทางการทดสอบมีผลต่อแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อก้อนเหล็ก ดังนั้นการทดสอบในทิศทางแตกต่างกันจะให้ผลการทดสอบแตกต่างกัน สำหรับคอนกรีตชนิดเดียวกัน และต้องปรับให้ถูกต้องด้วยการคูณค่าสัมประสิทธิ์หรือ อ่านค่าจากตารางของแต่ละทิศทาง
- 4.5 โดยทั่วไปตารางหรือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) จะเป็นไปตามผลการทดสอบของผู้ผลิตค้อนกระแทก อย่างไรก็ตามค่ากำลังอัดที่ได้จากกราฟอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุ เช่น มวลรวมในโครงสร้างที่ตรวจสอบ และคอนกรีตที่ผู้ผลิตค้อนกระแทกทดสอบในห้องปฏิบัติการแตกต่างกัน ดังนั้นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อนของคอนกรีตที่ใช้วัสดุประเภทเดียวกับคอนกรีตที่ทำการทดสอบในโครงสร้าง จะช่วยให้การประเมินผลการตรวจสอบเป็นไปด้วยความแม่นยำกว่า โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) ดังต่อไปนี้
- (1) เตรียมตัวอย่างทดสอบคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร และสูง 300 มิลลิเมตร โดยเปลี่ยนแปลงสัดส่วนผสมให้มีช่วงครอบคลุมกำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้างที่ตรวจสอบ โดยมีจำนวนตัวอย่างทดสอบอย่างน้อย 3 ตัวอย่างสำหรับแต่ละช่วงกำลังอัดของคอนกรีต
 - (2) หลังจากการเตรียมผิวให้เรียบ (Capping) นำตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต และเพิ่มแรงกดตัวอย่างทดสอบให้มีค่าประมาณร้อยละ 15 ของกำลังอัดประลัย เพื่อยืดรั้งตัวอย่างทดสอบให้อยู่นิ่ง ตัวอย่างทดสอบต้องอยู่ในสภาพอึดตัวผิวแห้งในขณะทดสอบ
 - (3) วัดค่าการสะท้อน 15 ครั้ง โดยแบ่งตำแหน่งทดสอบเป็นแนวตั้ง 3 แนว และทดสอบ 5 ครั้งต่อแนว โดยแต่ละแนวให้ห่างกันเป็นมุม 120 องศา ตำแหน่งการกดควรอยู่ในระยะ 200 มิลลิเมตร บริเวณช่วงกลางของตัวอย่างทดสอบ หรือประมาณ 2 ใน 3 ของความสูงของแท่งตัวอย่างทดสอบ และต้องไม่ทดสอบซ้ำตำแหน่งเดียวกัน
 - (4) เฉลี่ยค่าการสะท้อนที่ได้ และค่าเฉลี่ยจะเป็นค่าการสะท้อนของตัวอย่างทดสอบ

- (5) ให้ดำเนินการขั้นตอน 1 – 4 กับตัวอย่างทดสอบอื่น
- (6) ทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีต และบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบลงในกราฟ
- (7) วิเคราะห์ผลและสร้างเส้นความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการสะท้อนและกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีการทางสถิติ เช่น วิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Square Technique) เป็นต้น

5. ขั้นตอนการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยการใช้ก้อนกระแทก

- 5.1 ทำการกำหนดตำแหน่งที่จะทำการวัดค่าการสะท้อน โดยควรเป็นบริเวณผิวคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก ร้าว หรือการกะเทาะออกของผิวคอนกรีต และทำการขีดผิวคอนกรีตให้เรียบด้วยก้อนหินขัด
- ข้อแนะนำ 5.1: ในกรณีที่โครงสร้างมีชั้นปูนฉาบให้ทำการสกัดชั้นปูนฉาบออกก่อนทำการขีดผิวคอนกรีตให้เรียบด้วยหินขัด
- 5.2 ตรวจสอบแท่งเหล็กของก้อนกระแทกให้ยื่นในลักษณะพร้อมทดสอบ
- 5.3 จับก้อนกระแทกอย่างมั่นคงให้แกนของก้อนกระแทกตั้งฉากกับผิวคอนกรีต
- 5.4 ค่อยๆ กดก้อนกระแทกเข้าหาผิวคอนกรีต จนกระทั่งมีการสะท้อนของก้อนเหล็กภายในก้อนกระแทก แท่งเหล็กจะถูกล็อกโดยอัตโนมัติ
- 5.5 อ่านค่าการสะท้อน (Rebound Number) จากมาตรวัดของก้อนกระแทก โดยให้อ่านค่าจำนวนเต็มที่ใหญ่ใกล้เคียงมากที่สุด
- 5.6 ตำรวจดูความเสียหายของผิวคอนกรีตอันเนื่องมาจากการกระแทกของก้อนกระแทก กรณีพบความเสียหายอันเนื่องได้มาจากข้อบกพร่องของคอนกรีต ณ บริเวณที่ทดสอบ เช่น ฟองอากาศขนาดใหญ่ เป็นต้น ให้บันทึกรายละเอียดเพิ่มเติม หรือยกเลิกการใช้ค่าการสะท้อนที่วัดได้ ณ ตำแหน่งนี้
- 5.7 บันทึกค่าการกระแทกที่วัดได้ และทดสอบจุดต่อไป โดยให้มีระยะห่างระหว่างจุดที่ทดสอบไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร

6. ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ และข้อควรระวัง

การทดสอบคอนกรีตด้วยก้อนกระแทก เป็นวิธีการที่รวดเร็วและสะดวกในการทดสอบวัดกำลังอัดของคอนกรีต อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อจำกัดและมีผลกระทบจากตัวแปรหลายประการซึ่งผู้ดำเนินการตรวจสอบจำเป็นต้องคำนึงถึง ได้แก่ ความขรุขระของผิวโครงสร้าง ขนาดและความแข็งแกร่งของโครงสร้าง (Rigidity) อายุของตัวอย่างทดสอบ ประเภทของมวลรวม ประเภทของซีเมนต์ และคาร์บอนเนชันของผิวคอนกรีต (Carbonation)

- 6.1 ลักษณะของผิวคอนกรีต มีผลต่อการสะท้อนของคอนกรีต จึงกระทบโดยตรงต่อผลการทดสอบคอนกรีตด้วยก้อนกระแทก กรณีผิวคอนกรีตขรุขระมากแท่งเหล็กของก้อนกระแทกอาจกระแทกและทำให้ผิวคอนกรีตแตก ค่าการสะท้อนที่ได้จึงมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง ดังนั้นก่อนการทดสอบผิวโครงสร้างคอนกรีตที่มีความขรุขระควรขัดให้เรียบด้วยก้อนหินขัด

- 6.2 ขนาดของโครงสร้างที่ทดสอบ รวมถึงความแข็งแรง เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการวัดค่าการสะท้อน กรณีโครงสร้างที่ตรวจสอบมีขนาดเล็ก การเคลื่อนที่ของโครงสร้างระหว่างการกระทบจะทำให้ค่าการสะท้อนที่วัดได้นั้นมีค่าน้อยลงกว่าความเป็นจริง ระหว่างการตรวจสอบอาจจำเป็นต้องถ่วงหรือยึดโครงสร้างดังกล่าวให้มีความแข็งแรงมากขึ้น
- 6.3 เนื่องจากวิธีการทดสอบด้วยค้อนกระทบเป็นวิธีการวัดความแข็งแรงของผิวคอนกรีต จึงไม่เหมาะสำหรับการวัดคอนกรีตที่มีอายุน้อยมากๆ ซึ่งยังไม่มีแข็งแรงเพียงพอ นอกจากนี้การใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนและกำลังอัดที่อายุ 28 วันนั้นอาจจะไม่เหมาะกับการตรวจสอบโครงสร้างที่มีอายุมากๆ และควรมีการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนที่ได้จากโครงสร้างและค่ากำลังอัดที่ได้จากการเจาะเก็บตัวอย่างจากโครงสร้างในกรณีดังกล่าว
- 6.4 ประเภทของมวลรวม และปูนซีเมนต์ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทดสอบ โครงสร้างคอนกรีตด้วยค้อนกระทบ โดยทั่วไปแล้วค่าการสะท้อน (Rebound Number) ของคอนกรีตที่มีมวลรวมเป็นหินปูน (Limestone) จะมีค่าน้อยกว่าค่าการสะท้อนของคอนกรีตที่มีมวลรวมเป็นหินแม่น้ำซึ่งมีค่ากำลังอัดประลัยเท่ากัน ความแตกต่างนี้จะมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Lightweight Aggregate) กับคอนกรีตธรรมดา นอกจากนี้การใช้หินชนิดเดียวกันจากแหล่งอาจส่งผลให้ค่าการสะท้อนของคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดเท่ากันมีค่าแตกต่างกันได้
- 6.5 ประเภทของปูนซีเมนต์ที่ใช้อาจส่งผลต่อค่าการสะท้อนที่วัดได้ โดยปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณอูมินาสูงนั้นอาจมีกำลังอัดที่แท้จริงมากกว่าค่าที่แปรผลจากการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) ที่ได้จากการทดสอบคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ดังนั้นจึงควรมีการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) สำหรับประเภทของปูนซีเมนต์ที่ใช้เพื่อการประเมินกำลังอัดที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ
- 6.6 การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนชันในคอนกรีตมีผลกระทบต่อค่าการสะท้อนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงสร้างที่อยู่ในเขตการจราจรหนาแน่นและมีอายุการใช้งานมานาน อาจมีความลึกของชั้นที่เกิดคาร์บอนชันในคอนกรีตไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร ค่าการสะท้อนที่ได้นั้นอาจจะมีค่ามากเกินไปได้ถึงร้อยละ 50 ซึ่งต้องมีการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) สำหรับคอนกรีตที่มีคาร์บอนชันสูงเป็นการเฉพาะ

7. การสรุปผลการทดสอบและการแปลความผลการทดสอบ

- 7.1 ให้เฉลี่ยค่าการกระทบที่ทดสอบได้อย่างน้อย 10 ตำแหน่ง และตัดค่าการกระทบที่มีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยมากกว่า 6 และเฉลี่ยค่าที่เหลือใหม่ หากมีค่าตั้งแต่สามค่าขึ้นไปที่แตกต่างกันเฉลี่ยเกิน 6 ให้ทดสอบค่าชุดใหม่
- 7.2 นำค่าการกระทบที่ได้เทียบเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีต ตามความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ข้อแนะนำ 7. หากโครงสร้างที่ทำการวัดมีความแข็งแรงน้อย เช่น เป็นโครงสร้างที่บางมากหรือ ไม่มีการยึดกับโครงสร้างข้างเคียงอย่างเพียงพอ การเทียบค่าการกระแทกเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีความคลาดเคลื่อนสูง ในกรณีดังกล่าวผู้ทดสอบสามารถทำได้เพียงเปรียบเทียบความสม่ำเสมอ (Uniformity) ของความแข็งแรงของคอนกรีตในบริเวณที่มีความแข็งแรงใกล้เคียงกันเท่านั้น

8. เอกสารอ้างอิง

- 8.1** ACI 228.2R-98 Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures -Reported by ACI committee 228
- 8.2** BS 1881 - 201: 1986, Testing Concrete. Guide to the Use of Non-Destructive Methods of Test for Hardened Concrete
- 8.3** ASTM C805-02 Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete
- 8.4** BS EN 12504-2:2001 Testing Concrete in Structures. Non-Destructive Testing. Determination of Rebound Number
- 8.5** BS 1881 - 202: 1986, Testing Concrete. Recommendations for Surface Hardness Testing by Rebound Hammer