

มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย
วิธีทดสอบประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตด้วยการยิงด้วยหัวยิงทดสอบ

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานนี้ครอบคลุมการประเมินความสามารถต้านทานการทะลุ (Penetration Resistance) ของโครงสร้างคอนกรีตด้วยการยิงด้วยหัวยิงทดสอบ และข้อแนะนำเกี่ยวกับการแปลความหมายของผลการวัดที่ได้

1.2 ค่าที่มีกรกล่าวถึงในมาตรฐานนี้กำหนดให้มีหน่วยตามระบบหน่วยระหว่างประเทศ (SI)

2. นิยาม

“ความแข็งของผิว (Surface Hardness)” หมายถึง ความสามารถของผิววัสดุในการทนแรงกระแทก

“กำลังอัด (Compressive Strength)” หมายถึง ค่าหน่วยแรงสูงสุดที่วัสดุสามารถรับได้ในสถานะถูกอัด

“ความต้านทานการทะลุ (Penetration Resistance)” หมายถึง ความสามารถของวัสดุในการป้องกันการทะลุของวัสดุอื่น

“หัวยิงทดสอบ (Probe)” หมายถึง แท่งโลหะอัลลอยที่มีปลายด้านหนึ่งเป็นโคนซึ่งสามารถทะลุเข้าไปในคอนกรีตและปักอยู่ได้โดยไม่มีการเสียรูปทรง และปลายอีกข้างหนึ่งมีลักษณะเป็นเกลียวเพื่อให้สามารถวัดระยะทะลุและดึงหัวยิงทดสอบออกจากโครงสร้างคอนกรีตได้โดยสะดวก

“ระยะทะลุ (Penetration Depth)” หมายถึง ความยาวระยะฝังลึกของวัตถุหนึ่งซึ่งถูกยิงเข้าไปในวัตถุอีกวัตถุหนึ่ง โดยวัดจากผิวของวัตถุที่ถูกยิง

3. อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องยิงหัวยิงทดสอบ

3.1 หัวยิงทดสอบ คือ แท่งโลหะอัลลอยที่มีปลายด้านหนึ่งเป็นโคนที่ซึ่งสามารถทะลุเข้าไปในคอนกรีตและปักอยู่ได้โดยไม่มีการเสียรูปทรง และปลายอีกข้างหนึ่งมีลักษณะเป็นเกลียวเพื่อให้สามารถวัดระยะทะลุและดึงหัวยิงทดสอบออกจากโครงสร้างคอนกรีตด้วยเครื่องมือเฉพาะได้โดยสะดวก นอกจากนี้หัวยิงทดสอบควรมีความยาวคงที่ หรือแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยปรกติจะมีความแข็งอยู่ในช่วงระหว่าง Rockwell 44 HRC และ 48 HRC

3.2 เครื่องยิงหัวยิงทดสอบเป็นอุปกรณ์ที่สามารถส่งผ่านพลังงานไปให้กับหัวยิงทดสอบได้อย่างคงที่ทุกครั้ง โดยให้ค่าความเร็วของ หัวยิงทดสอบ แตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 3 นอกจากนี้เครื่องยิงต้องมีกลไกป้องกันการยิงหัวยิงทดสอบโดยมิได้ตั้งใจเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ

3.3 อุปกรณ์ยึดตำแหน่งเครื่องยิงทำหน้าที่ควบคุมตำแหน่งและทิศทางการยิงของหัวยิงทดสอบ โดยเครื่องยิงหัวยิงทดสอบต้องถูกยึดกับโครงสร้างคอนกรีตอย่างมั่นคงโดยระดับของการยึดขึ้นอยู่กับพลังงานของเครื่องยิงหัวยิงทดสอบที่ใช้

3.4 ชุดอุปกรณ์วัดระยะทะเลว ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์วัดความยาวที่มีความแม่นยำในระดับ 0.5 มิลลิเมตร และต้องมีช่วงการวัดที่เหมาะสมกับผลการทดสอบ และแผ่นเหล็กอ้างอิงที่ถูกยึดอยู่กับผิวคอนกรีตไม่น้อยกว่า 3 จุด ทุกจุดต้องอยู่ห่างจากกันเท่าๆกัน และอยู่ห่างจากจุดที่จะทำการยิงหัวยิงทดสอบไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร

4. วิธีการใช้งานเครื่องยิงหัวยิงทดสอบ

4.1 คอนกรีตที่จะทดสอบด้วยวิธีการยิงหัวยิงทดสอบ ต้องมีความต้านทานการทะลุมากพอที่จะทำให้ ความลึกของแท่งเหล็กที่ทะลุเข้าไปในคอนกรีตนั้น ไม่เกินครึ่งหนึ่งของความหนาของโครงสร้าง และไม่เกินความยาวของแท่งเหล็ก นอกจากนี้แท่งเหล็กต้องปักติดกับคอนกรีตอย่างมั่นคงภายหลังทดสอบเพื่อ บันทึกผลได้อย่างแม่นยำ

4.2 ตำแหน่งของการยิงหัวยิงทดสอบแต่ละจุดจะต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 175 มิลลิเมตร

4.3 ตำแหน่งของการยิงหัวยิงทดสอบจะต้องห่างจากขอบของโครงสร้างไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร

4.4 การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตจากระยะทะเลวของหัวยิงทดสอบต้องเป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างระยะทะเลวของหัวยิงทดสอบและกำลังอัดของคอนกรีตสามารถวัดได้ในห้องปฏิบัติการตามขั้นตอนดังนี้

(1) เตรียมตัวอย่างทดสอบคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร และสูง 300 มิลลิเมตร หรือตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 150 มิลลิเมตร และแผ่นคอนกรีตตัวอย่างขนาด 600 x 600 x 200 มิลลิเมตร โดยใช้ชนิดของซีเมนต์และมวลรวมที่เหมือนกับโครงสร้างที่ต้องการตรวจสอบจริงและเปลี่ยนแปลงสัดส่วนผสมให้มีช่วงที่ครอบคลุมกำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้างที่ตรวจสอบ

(2) ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตจากตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก หรือตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ตามมาตรฐาน ASTM C42

(3) ทำการทดสอบหาค่าระยะทะเลวของแผ่นคอนกรีตตัวอย่างจนได้ค่าการทะลุอย่างน้อย 3 ครั้ง โดยให้ระยะห่างของจุดทดสอบแต่ละครั้งห่างจากกัน และห่างจากขอบตัวอย่างทดสอบอย่างน้อย 150 มิลลิเมตร หากหัวยิงทดสอบไม่ยึดติดกับตัวอย่างทดสอบอย่างมั่นคงให้ทำการทดสอบเพิ่มเติม

(4) ดำเนินการขั้นตอนที่ 1 – 3 กับตัวอย่างทดสอบที่มีสัดส่วนผสมอื่นๆ อย่างน้อย 3 ชุด

(5) บันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบลงในกราฟและสร้างเส้นความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการทะลุและกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีการทางสถิติ เช่น วิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Square Technique) เป็นต้น

หมายเหตุ ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทะลุและกำลังอัดของคอนกรีตจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของหัวหยั่งทดสอบ พลังงานที่เครื่องยิงส่งผ่านไปที่หัวหยั่งทดสอบ ดังนั้นการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทะลุและกำลังอัดของคอนกรีตจึงต้องใช้ขนาดของหัวหยั่งทดสอบ และพลังงานที่เท่ากับการวัดโครงสร้างจริง

5. ขั้นตอนการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบ

5.1 ติดตั้งอุปกรณ์ยิงหัวหยั่งคอนกรีต ตามคู่มือการใช้งานอุปกรณ์ทดสอบ ต้องระมัดระวังมิให้หัวหยั่งทดสอบถูกยิงออกมาโดยมิได้ตั้งใจ และต้องยึดเครื่องยิงไว้อย่างมั่นคง

หมายเหตุ 5.1: หากคอนกรีตที่ต้องการทำการทดสอบมีกำลังอัดต่ำกว่า 17 เมกาปาสกาล หรือมีความหนาแน่นน้อยกว่า 2000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ให้ลดพลังงานที่เครื่องยิงส่งผ่านไปที่หัวหยั่งทดสอบ หรือเพิ่มขนาดของหัวหยั่งทดสอบ และเพิ่มระยะห่างจากตัวยิงและจุดที่ต้องการทดสอบ โดยขั้นตอนที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้เครื่องมือ

5.2 ยิงหัวหยั่งคอนกรีต เข้าไปในโครงสร้างคอนกรีต

5.3 นำอุปกรณ์ยิงหัวหยั่งทดสอบออก และทำการเคาะหัวหยั่งคอนกรีตเบาๆเพื่อทำการยืนยันว่าหัวหยั่งคอนกรีตไม่ได้สะท้อนออกมาจากระยะทะลุลึกสุดที่เข้าไปได้ หากหัวหยั่งทดสอบไม่ยึดอยู่กับโครงสร้างคอนกรีตอย่างมั่นคงให้ยกเลิกผลการทดสอบดังกล่าว

หมายเหตุ 5.3: หากหัวหยั่งทดสอบไม่ยึดอยู่กับโครงสร้างอย่างมั่นคงผู้ตรวจสอบอาจพิจารณาเพิ่มพลังงานในการยิง

5.4 หากหัวหยั่งทดสอบยึดอยู่กับโครงสร้างอย่างมั่นคง ให้ทำการติดตั้งแผ่นเหล็กอ้างอิง หากผิวของโครงสร้างมีการกะเทาะออกเนื่องจากการทะลุของหัวหยั่งทดสอบให้เอาคอนกรีตส่วนที่กะเทาะดังกล่าวออกก่อนการติดตั้งแผ่นเหล็กอ้างอิง

5.5 ทำการวัดระยะจากแผ่นเหล็กอ้างอิงถึงปลายของหัวหยั่งทดสอบที่ยื่นมาจากโครงสร้าง โดยต้องทำการวัดระยะทะลุอย่างน้อย 3 ครั้ง หากหัวหยั่งทดสอบอยู่ในลักษณะเอียง ให้ทำการทดสอบคอนกรีตบริเวณดังกล่าวเพิ่มเติมอีก 4 ครั้งรอบจุดที่ทำการวัดเดิมและทำการเฉลี่ยระยะทะลุที่วัดได้

5.6 เปรียบเทียบค่าความต้านทานการทะลุที่ได้กับความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทะลุและกำลังอัดที่ได้จากห้องปฏิบัติการ ดังระบุไว้ในหัวข้อ 4.2

5.7 ซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดจากการยิงหัวหยั่งทดสอบ ด้วยวิธีการที่เหมาะสม

6. ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ และข้อควรระวัง

- 6.1 วิธีการทดสอบคอนกรีตด้วยการยิงหัวหยั่งทดสอบนี้ทำให้บริเวณผิวคอนกรีตได้รับความเสียหายและจำเป็นต้องได้รับการซ่อมแซมในภายหลัง
- 6.2 ตำแหน่งของการยิงและตำแหน่งของมวลรวมหยาบที่อยู่ใกล้ผิวคอนกรีตมีผลต่อค่าการทะลุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่มีมวลรวมหยาบมีขนาดใหญ่ จะต้องเลือกเครื่องมือให้เหมาะสมกับคอนกรีตในโครงสร้าง
- 6.3 ช่องว่างในคอนกรีตที่เกิดจากฟองอากาศส่งผลให้ค่าการทะลุที่วัดได้มีค่ามากเกินไป ดังนั้นจึงควรสำรวจลักษณะของรูที่เกิดจากการยิงโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีค่าการทะลุที่ได้แตกต่างจากค่าอื่นมาก เพื่อประกอบการสรุปผล
- 6.4 ในกรณีที่ทำการทดสอบ โครงสร้างที่มีลักษณะบาง หรือมีความแข็งแรงน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป เช่น คอนกรีตที่มีอายุน้อยกว่า 7 วันหรือคอนกรีตมวลเบา จะต้องมีการปรับพลังงานในการยิงให้เหมาะสมกับโครงสร้างนั้น ๆ และต้องใช้กราฟความสัมพันธ์สำหรับการแปลผลโดยเฉพาะ

7. การสรุปผลการทดสอบและการแปลความผลการทดสอบ

ค่าการทะลุที่วัดได้จากคอนกรีตเดียวกันต้องต่างกันไม่เกิน ค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 1 หากค่าการทะลุที่วัดได้ในชุดการวัดเดียวกันแตกต่างกันเกินกว่านี้ ให้ทดสอบเพิ่มเติมและทิ้งค่าการทะลุที่มีความแตกต่างมากที่สุดออก

ตารางที่ 1: ข้อกำหนดเกี่ยวกับความแม่นยำของการวัดระยะทะลุ
(หัวข้อ 7.1)

ขนาดมวลรวมใหญ่สุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความแตกต่างมากสุดในหนึ่งชุดข้อมูลที่ยอมรับได้ (มม.)	ความแตกต่างมากสุดระหว่างชุดข้อมูลต่างกันที่ยอมรับได้ (มม.)
No. 4 (มอร์ตาร์)	2.0 มม.	6.6 มม.	3.3
25 มม.	2.5 มม.	8.4 มม.	4.1
50 มม.	3.6 มม.	11.7 มม.	5.6

หมายเหตุ:

- ตารางที่ 1 เป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับความแม่นยำของการวัดระยะทะลุในกรณีที่ผู้ทดสอบเป็นคนเดียวกัน
- หลักที่ 3 หมายถึงความแตกต่างมากสุดที่ยอมรับได้ในชุดข้อมูลเดียวกัน (3 ค่าระยะทะลุ)
- ความแตกต่างระหว่างชุดข้อมูลที่มากกว่าค่าที่กำหนดในหลักที่ 4 แสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะมีความแตกต่างของคอนกรีตที่ทำการวัดแต่ละครั้ง

ที่มา : มาตรฐาน ASTM C803/C803M-97

8. เอกสารอ้างอิง

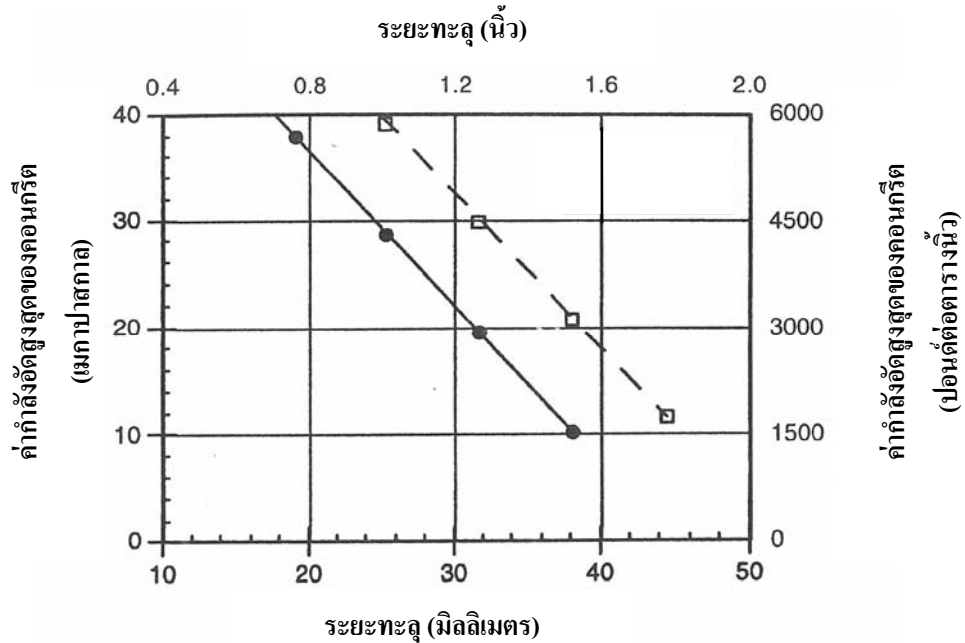
- 8.1** ACI 224.1R-03 In-Place Methods to Estimate Concrete Strength – Report by ACI Committee 228.
- 8.1** ACI 228.2R-98 Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures - Reported by ACI committee 228
- 8.2** BS 1881 - 201: 1986, Testing Concrete. Guide to the Use of Non-Destructive Methods of Test for Hardened Concrete
- 8.3** ASTM C803/C803M-97 Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete
- 8.4** BS 1881 - 207: 1992 Testing Concrete. Recommendations for the Assessment of Concrete Strength by Near-to-Surface Tests

ภาคผนวก 1 ข้อควรพิจารณาเพิ่มเติมของการทดสอบ

1. หลักการของวิธีการยิงด้วยหัวหึ่งทดสอบ คือ การให้พลังงานระดับคงที่จากเครื่องยิงไปยังแท่งเหล็ก เพื่อให้เจาะทะลุเข้าไปในผิวคอนกรีต เพื่อตรวจสอบความต้านทานการทะลุของคอนกรีต (Penetration Resistance) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความยาวของแท่งเหล็กที่ทะลุเข้าไปในคอนกรีต หรือ ความลึกของรูที่เกิดจากการเจาะจากผิวคอนกรีต
2. การทดสอบความต้านทานการทะลุของคอนกรีตด้วยหัวหึ่งทดสอบ สามารถใช้ประเมินกำลังอัดประลัยของคอนกรีต โดยมีสมมติฐานว่าความต้านทานการทะลุของคอนกรีตมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแตกต่างกันไปสำหรับอุปกรณ์การทดสอบแต่ละแบบ และต้องมีการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการทะลุของคอนกรีต ที่วัดได้จากเครื่องยิงหัวหึ่งทดสอบกับค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต
3. หัวหึ่งทดสอบ แท่งเหล็ก หรือ หัวเจาะเหล็กที่ถูกยิงเข้าไปในคอนกรีต อาจกระทบจุดที่มีมวลรวมหยาบหรือบริเวณอื่นก็ได้ ดังนั้นค่าความต้านทานการทะลุของคอนกรีตที่วัดได้จึงกระจายตัวค่อนข้างมาก และขึ้นอยู่กับสมบัติของมวลรวมหยาบที่อยู่ในคอนกรีตด้วย

ภาคผนวกที่ 2 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทะลุและกำลังอัดของคอนกรีต

รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทะลุและค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต จากผลทดสอบ ในกรณีมวลรวมหยาบอ่อน กับมวลรวมหยาบแข็ง



- มวลรวมหยาบอ่อน (Soft Aggregate) เช่น หินปูน (Limestone)
- มวลรวมหยาบแข็ง (Hard Aggregate) เช่น หินเชิร์ต (Chert)

รูปที่ 1 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างระยะทะลุและค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต
(ภาคผนวก 2)

ที่มา: ACI 228.1R-03 Figure 2.4

หมายเหตุ: ในการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตจากรยะทะลุของหัวหยั่งทดสอบ ควรพิจารณาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระยะทะลุของหัวหยั่งทดสอบและกำลังอัดของคอนกรีตเฉพาะสำหรับโครงการแต่ละโครงการเพื่อให้มีความแม่นยำในการตรวจสอบค่ากำลังอัด

ภาคผนวก 3 แบบฟอร์มบันทึกผลการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีทดสอบประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตด้วยการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบ

โครงการ: สถานที่: ชนิดโครงสร้าง: ตำแหน่ง: วันที่ทดสอบ:			บพ. มยผ. 1503			ทะเบียนทดสอบ:..... หน้าที่/.....		
			(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)			ผู้ทดสอบ:		
			การทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก วิธีทดสอบประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีต ด้วยการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบ			ผู้ประเมินผล:		
						ผู้ตรวจสอบ:		
ลำดับ ที่	ชนิด โครงสร้าง	ตำแหน่ง ที่ทดสอบ	ค่าการทะลุที่ทดสอบได้ (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.) (2)	ค่ากำลังอัดสูงสุด ของคอนกรีต โดยประมาณ (เมกาปาสกาล) (3)	หมายเหตุ
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			

- หมายเหตุ:
- (1) ค่าการทะลุที่ทดสอบได้ โดยให้ทดสอบอย่างน้อย 3 จุด
 - (2) ค่าเฉลี่ยจากค่าการทะลุที่ทดสอบได้
 - (3) กำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตโดยประมาณ ซึ่งประเมินจากค่าการทะลุที่ทดสอบได้