องค์ความรู้ตามประเด็นยุทธศาสตร์กรมโยธาธิการและผังเมือง

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๑

การทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธีค้อนกระแทก (Rebound Hammer)

การจัดการความรู้ตามประเด็นยุทธศาสตร์
ด้านการบริการด้านช่าง

องค์ความรู้ตามประเด็นยุทธศาสตร์ **ด้านการบริการด้านช่าง**

ดำเนินการจัดทำตามแผนการจัดการความรู้กรมโยธาธิการและผังเมือง (DPT KM Action Plan)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.๒๕๖๑

โดย สถาบันพัฒนาบุคลากรด้านการพัฒนาเมือง

โทรศัพท์ ๐ ๒๒๙๙ ๔๖๒๑

โทรสาร ๐ ๒๒๙๙ ๔๖๒๘

กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ

โทรศัพท์ ๐ ๒๒๙๙ ๔๔๒๓

โทรสาร ๐ ๒๒๙๙ ๔๔๓๐

พิมพ์ครั้งที่ ๑ กันยายน ๒๕๖๑

จำนวน ๓๓๐ เล่ม

พิมพ์ที่ บริษัท เพรส ครีเอชั่น จำกัด

โทรศัพท์ ๐ ๒๘๘๑ ๑๒๔๕

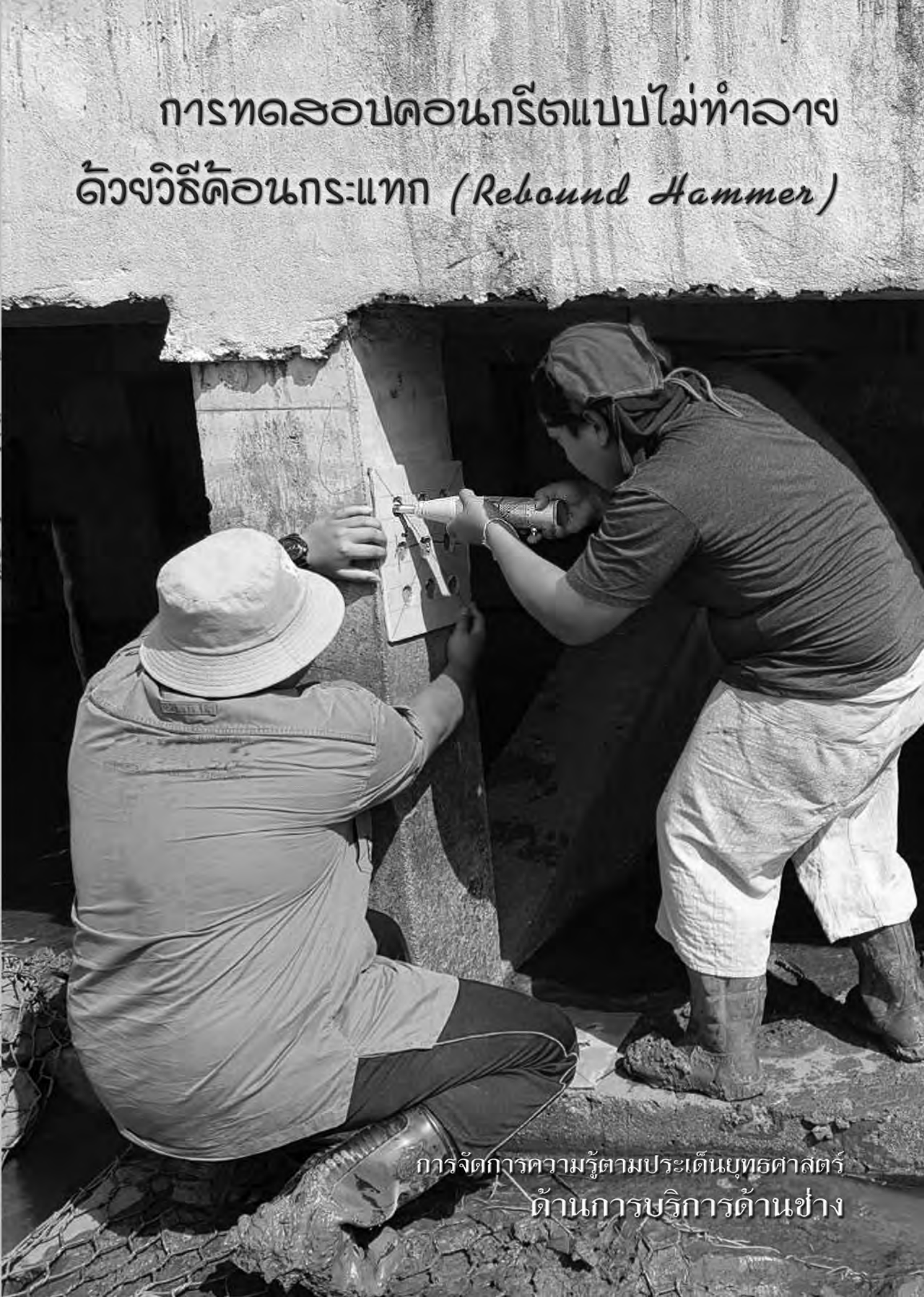
โทรสาร ๐ ๒๘๘๑ ๑๒๔๖

สงวนลิขสิทธิ์ตามพ.ร.บ.ลิขสิทธิ์ พ.ศ. ๒๕๓๗ และที่แก้ไขเพิ่มเติม

การดำเนินการใดๆ ไม่ว่าบางส่วน หรือทั้งหมดของหนังสือเล่มนี้ ต้องได้รับอนุญาต

จากกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย

การทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธีค้อนกระแทก (Rebound Hammer)



การจัดการความรู้ตามประเด็นยุทธศาสตร์
ด้านการบริการด้านช่าง

คำนำ

พระราชกฤษฎีกาว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี พ.ศ. 2546 กำหนดให้ส่วนราชการมีหน้าที่พัฒนาความรู้ในส่วนราชการ เพื่อให้มีลักษณะเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้อย่างสม่ำเสมอ โดยต้องรับข้อมูลข่าวสาร และสามารถประมวลผลความรู้ในด้านต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติราชการได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และเหมาะสมต่อสถานการณ์ รวมทั้งต้องส่งเสริมและพัฒนาความรู้ ความสามารถ สร้างวิสัยทัศน์ และปรับเปลี่ยนทัศนคติของข้าราชการในสังกัดให้เป็นบุคลากรที่มีประสิทธิภาพและมีการเรียนรู้ร่วมกัน

กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ กรมโยธาธิการและผังเมืองเป็นหน่วยงานซึ่งมีภารกิจหลักในการวิเคราะห์วิจัย และทดสอบวัสดุที่เกี่ยวข้องกับงานด้านวิศวกรรมโยธา มีประสบการณ์ยาวนานหลายสิบปี จึงได้จัดทำองค์ความรู้ เรื่อง การทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธีค้อนกระแทก (Rebound Hammer) ในการจัดการความรู้ (Knowledge Management) ประจำปีงบประมาณ 2561 เพื่อสนับสนุนยุทธศาสตร์ด้านการบริการด้านช่าง โดยได้นำมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบดังกล่าว เช่น มาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1502-51) มาขยายความในเชิงปฏิบัติ พร้อมด้วยภาพประกอบ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติหรือผู้ที่สนใจทั้งภายในกรมโยธาธิการและผังเมืองเอง ตลอดจนหน่วยงานภายนอก ได้เกิดความรู้ ความเข้าใจ สามารถดำเนินการทดสอบได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐาน อีกทั้งยังได้รวบรวมองค์ความรู้ และข้อควรระวังเชิงประสบการณ์ต่างๆ โดยความร่วมมือของผู้เชี่ยวชาญทั้งจากภายในและภายนอกกรมฯ อันจะทำให้เอกสารคู่มือฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ สามารถสร้างความมั่นใจให้กับผู้ดำเนินการทดสอบ และผู้ที่ใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบนี้ต่อไป และขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ได้กรุณาสละเวลาเพิ่มเติมข้อมูลอันเป็นประโยชน์มา ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

1. บทนำ

1.1 หลักการพื้นฐานของการทดสอบแบบไม่ทำลาย 1

1.2 ชนิดของการทดสอบแบบไม่ทำลาย 1

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติความเป็นมา 5

2.2 หลักการทำงานของค้อนกระแทก 6

3. การทดสอบโครงสร้างคอนกรีตแบบไม่ทำลาย ด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer) ตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ. 1502-51)

3.1 อุปกรณ์และส่วนประกอบของค้อนกระแทก 9

3.2 วิธีการใช้งานค้อนกระแทก 10

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดและค่าการสะท้อน 12

3.4 การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน ตาม มยผ. 1502-51 12

3.5 ขั้นตอนการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยการใช้ค้อนกระแทก 15

4. การแปลผล และข้อควรระวัง

4.1 การแปลผล 17

4.2 ข้อควรระวัง 17

5. การจัดทำรายงานผลการทดสอบ

5.1 ลักษณะของโครงการและข้อมูลทั่วไป 25

5.2 การทดสอบของโครงการ 25

5.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบ 26

5.4 สรุปผลการทดสอบ 27

บรรณานุกรม 29

บทที่ 1

บทนำ

การทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธีค้อนกระแทก (Rebound Hammer) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดหนึ่ง มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1502-51) ได้กำหนดวัตถุประสงค์หลักของการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตแบบไม่ทำลายไว้ว่า คือ การประเมินสภาพและประสิทธิภาพของโครงสร้างคอนกรีต โดยจะพิจารณาทั้งความแข็งแรงของโครงสร้าง (Load Carrying Capacity) ความสามารถใช้งาน (Serviceability) และความคงทน (Durability) ของโครงสร้างคอนกรีต ดังนั้น เป้าหมายที่สำคัญในการตรวจสอบโครงสร้าง คือ การหาสาเหตุของความเสียหาย หรือการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้น และการประเมินระดับความเสียหายของโครงสร้าง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนซ่อมบำรุง หรือบำรุงรักษาโครงสร้างอย่างเหมาะสม การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย จึงเป็นการตรวจสอบในที่ (In-situ Test) และเป็นการประเมินพฤติกรรมของโครงสร้างเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นและมีความสำคัญ

1.1 หลักการพื้นฐานของการทดสอบแบบไม่ทำลาย

วิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายส่วนใหญ่เป็นการทดสอบอาศัยการประเมินจากผลการวัดค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับสมบัติของโครงสร้าง หรือมีความเกี่ยวข้องกับกลไกของการเสื่อมสภาพแบบต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีการประเมินโดยอ้อมเป็นส่วนใหญ่ เช่น กรณีที่พบว่ากำลังรับแรงของคอนกรีตไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ หรือกรณีที่พบความบกพร่องในโครงสร้างคอนกรีตระหว่างก่อสร้าง รวมทั้งกรณีที่มีข้อสงสัยอื่นๆ เกี่ยวกับโครงสร้าง เป็นต้น แต่สิ่งที่สำคัญที่สุดของการทดสอบแบบไม่ทำลาย คือ การเก็บข้อมูลการประเมินสภาพของโครงสร้างให้เพียงพอ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างในระดับที่มากเกินไป

การตรวจสอบด้วยเทคนิคการทดสอบโดยไม่ทำลายสามารถประยุกต์ใช้ในกรณีดังต่อไปนี้

ก. การตรวจสอบคุณภาพของงานก่อสร้างใหม่

ข. การแก้ปัญหางานก่อสร้างในระหว่างการก่อสร้าง

ค. การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างเก่าเพื่อการวางแผนบำรุงรักษา

ง. การประเมินคุณภาพของงานซ่อมแซม

1.2 ชนิดของการทดสอบแบบไม่ทำลาย

การทดสอบแบบไม่ทำลายมีหลายชนิด และมีหลักการ วิธีการ และวัตถุประสงค์ ในการทดสอบที่แตกต่างกัน การเลือกวิธีการทดสอบที่เหมาะสมนั้น จึงขึ้นอยู่กับข้อมูลสมบัติของโครงสร้างที่ต้องการทำการตรวจสอบ

1.2.1 วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายสำหรับโครงสร้างคอนกรีต ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ. 1501-51 ถึง มยผ. 1507-51) ได้แสดงรายการวิธีการทดสอบ และวัตถุประสงค์การใช้งาน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงรายการวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายชนิดต่างๆ สำหรับงานโครงสร้างคอนกรีต

วิธีการทดสอบ	วัตถุประสงค์การใช้งาน
1. การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีตรวจพินิจ	ประเมินสาเหตุและระดับความเสียหายหรือการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง
2. วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer)	ประเมินกำลังอัดของคอนกรีต
3. วิธีทดสอบประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตด้วยการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบ (Penetration Resistance)	ประเมินกำลังอัดของคอนกรีต
4. วิธีทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity)	ตรวจสอบความคงที่ของคุณภาพคอนกรีตในโครงสร้างหรือค้นหาช่องว่างในโครงสร้างคอนกรีต
5. วิธีตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต (Cover Meter)	ตรวจหาตำแหน่งของเหล็กเสริมในโครงสร้างและวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก
6. วิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม (Half-Cell Potential Test)	ประเมินโอกาสเกิดสนิมในเหล็กเสริม
7. วิธีทดสอบเพื่อประเมินสภาพสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีตด้วยคลื่นเรดาร์ (Radar)	ตรวจสอบหาช่องว่างหรือวัตถุแปลกปลอมในโครงสร้างคอนกรีต

1.2.2 วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายชนิดอื่น เช่น

- **วิธีวัดความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequencies)** มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญทางพลศาสตร์ของคุณสมบัติต่อไปนี้ คือ โมดูลัสยืดหยุ่น โมดูลัสแข็งเกร็ง และอัตราส่วนปัวซอง โดยหลักการทดสอบ คือ ตัวอย่างจะถูกทำให้สั่นที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งจุดสูงสุดที่ชัดเจนของการตอบสนอง คือ ค่าความถี่พื้นฐาน

- **วิธีใช้การแผ่รังสีนิวเคลียร์แกมมา (Nuclear Gamma Radiation)** มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความหนาแน่นของคอนกรีตในที่ โดยนำแหล่งของรังสีแกมมา หรือตัวตรวจวัดจะถูกติดไว้ในหัวหยั่ง (Probe) ซึ่งจะถูกสอดเข้าไปในรูเจาะของคอนกรีตที่ทราบระยะความลึกค่าต่างๆ ที่อ่านได้สามารถนำไปเทียบเป็นค่าความหนาแน่นของคอนกรีตจากกราฟเทียบเคียง (Calibration)

- **วิธีทดสอบความถี่กำทอน (Resonant Frequency Testing)** มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบพื้นฐาน (Fundamental Modes) ในห้องปฏิบัติการของการสั่นสะเทือน สำหรับการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ใช้ในงานสนามสำหรับตรวจหาช่องว่าง การลอกเป็นชั้น สิ่งเจือปน การเสื่อมสภาพ และใช้หลักการพื้นฐาน คือ สภาวะของความถี่กำทอน (Resonant Frequency) จะถูกทำให้เกิดขึ้นระหว่างผิวสะท้อนสองผิว พลังงานจะถูกใส่เข้าไปในระบบ โดยการใช้การกระแทกของค้อน หรือใช้ระบบ Oscillator Amplifier

- **วิธี Ultrasonic Pulse-echo** เป็นวิธีที่ใช้เป็นตัวบอกถึงความสม่ำเสมอและคุณภาพของคอนกรีตและบอกตำแหน่งของเหล็กเสริม ช่องว่างในคอนกรีต ความหนาแน่น และความหนาของคอนกรีต อาศัยหลักการที่ว่าทิศทางขนาดและความถี่ของคลื่นที่ปล่อยสู่คอนกรีตถูกเปลี่ยนแปลงโดยสิ่งกีดขวาง เช่น รอยแตก และวัตถุอื่นๆ หรือคุณสมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลง

- **วิธีการแพร่ของคลื่นเสียง (Acoustic Emission)** ใช้เพื่อตรวจวัดอย่างต่อเนื่องถึงแนวโน้มของการวิบัติของโครงสร้างที่อาจเกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งาน เพื่อตรวจวัดขีดความสามารถของโครงสร้างระหว่างการทดสอบพิสูจน์ (Proof Testing) โดยอาศัยหลักการที่ว่าในช่วงระหว่างการขยายตัวของรอยแตก หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างแบบพลาสติก จะมีการคายพลังงานความเครียด (Strain Energy) จะทำให้เกิดคลื่นเสียง ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยเซนเซอร์ที่ติดอยู่ที่ผิวของวัตถุที่ถูกทดสอบ

- **วิธีการกระทบของคลื่นเสียง (Acoustic Impact)** เพื่อใช้ในการตรวจจับการสูญเสียแรงยึดเกาะ การลอกเป็นชั้น ช่องว่างและรอยแตกขนาดเส้นผม โดยพื้นผิวของวัตถุที่ต้องการทดสอบจะถูกเคาะด้วยเครื่องมือทดสอบ ผลของความถี่ที่วัดได้ตลอดช่วงเวลาในการส่งผ่านคลื่นเสียงและคุณลักษณะของความหน่วงของคลื่นเสียงที่วัดได้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในวัสดุ

- **วิธีวัดความต้านทานไฟฟ้า (Electrical Resistance Measurement)** ใช้เพื่อพิจารณาหาปริมาณความชื้นในคอนกรีต โดยใช้หลักว่าการนำไฟฟ้าของคอนกรีตจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในคอนกรีต

- **วิธีใยแก้วนำแสง (Fiber Optics)** ใช้เพื่อดูส่วนของโครงสร้างที่ไม่สามารถมองเห็นได้ โดยใช้หัวหยั่งใยแก้วนำแสง ซึ่งประกอบด้วย ใยแก้วที่ยืดหยุ่น เลนส์ และระบบส่องแสง ถูกสอดเข้าไปในรอยร้าวหรือรูเจาะในคอนกรีต แล้วใช้เลนส์กล้องส่องดูรอยตำหนิ เช่น รอยร้าวโพรง หรือการแยกตัวของมวลรวม ใช้ทั่วไป ในบริเวณที่คอนกรีตถูกเจาะเอาแก่นคอนกรีตออกมาหรือหลุมขุด (Bore Holes) ที่ถูกเจาะตรวจหาช่องว่างระหว่างผนัง และรูอื่นๆ ในงานวัสดุก่อสร้าง

- **วิธีฉายรังสีแกมมา (Gamma Radiograph)** ใช้เพื่อคาดคะเนตำแหน่งขนาดและสภาพของเหล็กเสริมโพรงในคอนกรีต ความหนาแน่น และความหนาของคอนกรีต โดยใช้หลักการที่ว่าความหนาแน่นและความหนาของตัวอย่างทดสอบมีผลกระทบต่ออัตราการดูดซึมของรังสีแกมมา รังสีแกมมาจะถูกปล่อยจากเครื่องมือทะลุผ่านตัวอย่างไปออกอีกด้านหนึ่งและจะถูกบันทึกบนฟิล์ม

- **การสะท้อนของการกระแทก (Impact Echo)** เพื่อพิจารณาหาการร้าว คุณสมบัติของหน้าตัด การลอกเป็นชั้นและโพรงแบบรวงผึ้ง ตรวจวัดการเคลื่อนของพื้นผิว ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ของคลื่นหน่วยแรงชั่วขณะ (Transient Stress Waves) กับความไม่ต่อเนื่องภายในของคอนกรีต ต้องการความชำนาญในการทดสอบปานกลาง เป็นเทคนิคที่ง่าย และมีประสิทธิภาพสำหรับการแปลผล โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถี่ของการเคลื่อนที่ของคลื่น ต้องพิจารณาหาความเร็วคลื่นในวัตถุทดสอบที่ทราบความหนา

- **วิธีตรวจจับความร้อนโดยใช้รังสีอินฟาเรด (Infrared Thermography)** ใช้เพื่อตรวจจับตำหนิภายใน (Internal Flaws) การขยายตัวของรอยร้าว การลอกเป็นชั้น และโพรงภายใน โดยอาศัยหลักการที่ว่าสามารถตรวจจับตำหนิได้ โดยเลือกใช้ช่วงความถี่ของรังสีอินฟาเรดในการตรวจจับความร้อนรูปแบบต่างๆ ซึ่งความร้อนแต่ละรูปแบบที่ได้จะระบุถึงชนิดที่แน่นอนของข้อบกพร่อง (Defects)

- **Laser Interferometry** เพื่อพิจารณาหาจุดกำเนิด และการแพร่ขยายของรอยร้าว และตรวจวัดพฤติกรรมที่สัมพันธ์กันของทั้งสอง ภาพสามมิติ (Hologram) ของวัตถุจะถูกสร้างขึ้น โดยการใช้เลเซอร์รูปแบบลายตะเข็บ ต้องการความชำนาญในการทดสอบสูง สามารถตรวจวัดพฤติกรรมของรอยร้าวเนื่องจากการคืบ (Creep Cracks) ได้ มีค่าใช้จ่ายสูงเป็นวิธีการทดสอบที่ยังไม่แพร่หลาย

- **วิธีโพลาไรเซชัน (Polarization Method)** เพื่อประเมินอัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมซึ่งอยู่ใต้ตำแหน่งที่ทดสอบ โดยการวัดกระแสไฟฟ้าที่ต้องเปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้ความต่างศักย์ระหว่างเหล็กเสริมกับแท่งอ้างอิงมาตรฐาน (Standard Reference Electrode) มีค่าตามที่กำหนด ค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ตรวจวัดได้จะใช้ในการประเมินความต้านทานโพลาไรเซชัน (Polarization Resistance) ซึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีต

- **Penetrability Method** เพื่อเปรียบเทียบส่วนผสมของคอนกรีตทั่วไปใช้ในงานวิจัย แต่อาจใช้เพื่อตรวจสอบกระบวนการบ่ม โดยอาศัยหลักการว่าอัตราการไหลของของเหลวขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการแทรกซึมได้ (Penetration) ของคอนกรีตและทดสอบโดยวัดการไหลของของเหลว (อากาศหรือน้ำ) เข้าไปในคอนกรีตภายใต้สภาวะที่กำหนด

จากวิธีการดังกล่าวข้างต้นจะเห็นว่า เทคนิคการตรวจสอบโดยไม่ทำลายแต่ละชนิด มีความสามารถตรวจสอบได้แตกต่างกัน ดังนั้น ในการตรวจสอบโครงสร้างโดยทั่วไป ควรใช้เครื่องมือตรวจสอบมากกว่าหนึ่งชนิด เพื่อให้ข้อมูลที่วัดได้มีความสมบูรณ์และวิเคราะห์ผลได้แม่นยำยิ่งขึ้น รวมทั้งควรเลือกวิธีการตรวจสอบที่เหมาะสมกับสภาพหน้างานด้วย

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติความเป็นมา

การประเมินค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีค้อนกระแทก (Rebound Hammer) หรือชื่ออื่นๆ ที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือ Schmidt Hammer Test หรือ Swiss Hammer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดคุณสมบัติยืดหยุ่น หรือค่ากำลังความแข็งแรงของคอนกรีตหรือหินที่ผิวหรือความต้านทานการเจาะ (Penetration Resistance) ซึ่งไม่มีผลเสียหายต่อเสถียรภาพของโครงสร้าง สามารถทำการตรวจสอบได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยค่าที่ได้จะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงเพียงพอที่จะนำผลการทดสอบที่ได้พิจารณาร่วมกับการทดสอบอื่นๆ เพื่อประเมินค่าความแข็งแรงของโครงสร้างได้

ค้อนกระแทก ถูกคิดค้นโดยวิศวกรชาวสวิสในปี ค.ศ.1951 มีชื่อว่า Ernst Schmidt ใช้ในการประมาณกำลังรับแรงอัดแบบไม่ทำลายของวัสดุ เช่น คอนกรีต หิน เป็นต้น ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดจะได้จากการวัดการสะท้อนกลับของมวลน้ำหนักสปริง (Spring-Loaded Mass) หลังจากกระแทกกับผิวของตัวอย่าง โดยการใช้ค้อนกระแทกกับคอนกรีตด้วยพลังงานที่กำหนด ค่ากำลังรับแรงอัด จะสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ของค่าสะท้อนกลับ (Rebound Number) กับค่ากำลังรับแรงอัด ในการทดสอบควรให้ค้อนกระแทกมีทิศทางทำมุมตั้งฉากกับพื้นผิว โดยพื้นผิวจะต้องเป็นพื้นราบ สม่ำเสมอ ไม่ขรุขระ เพราะทิศทางการวางแนวตำแหน่งของค้อนจะมีผลต่อค่าการสะท้อนกลับ เช่น เมื่อการทดสอบกระทำในตำแหน่งแนวตั้งฉากกับพื้นแรงโน้มถ่วงของโลกจะเพิ่มระยะของการสะท้อนกลับ

โดยทั่วไป ค้อนกระแทกที่ผลิตขายตามท้องตลาด จะมีค่าการอ่านที่วัดได้อยู่ระหว่าง 10 ถึง 100 และมีช่วงพลังงานที่แตกต่างกันหลายประเภท (Type) สามารถจำแนกได้ดังนี้

1.Type N จะมีค่าพลังงานในการกระแทก (Impact Energy) เท่ากับ 2.207 นิวตัน-เมตร เป็นการทดสอบกับที่ใช้ในการก่อสร้างปกติทั่วไปรวมทั้งงานก่อสร้างสะพานคอนกรีต

2.Type NR มีค่าพลังงานในการกระแทกเท่ากับ 2.207 นิวตัน-เมตร ใช้กับการทดสอบลักษณะงานเช่นเดียวกับ Type N แต่จะมีอุปกรณ์ในการบันทึกข้อมูลติดตั้งร่วมด้วย

3.Type L จะมีค่าพลังงานในการกระแทกเท่ากับ 0.735 นิวตัน-เมตร เป็นการทดสอบที่ใช้พลังงานน้อยกว่า Type N เหมาะสำหรับการทดสอบขนาดเล็กและวัสดุที่ทำการทดสอบนั้นมีความอ่อนไหวต่อแรงกระแทก เช่น หินเทียม (Artificial Stone) เป็นต้น

4.Type LR จะมีค่าพลังงานในการกระแทกเท่ากับ 0.735 นิวตัน-เมตร เป็นการทดสอบลักษณะเช่นเดียวกับ Type L แต่จะมีอุปกรณ์ในการบันทึกข้อมูลร่วมอยู่ด้วย

5. Type LB จะมีค่าพลังงานในการกระแทกเท่ากับ 0.735 นิวตัน-เมตร ซึ่งจะเป็นการทดสอบปลีกย่อย สำหรับการควบคุมคุณภาพอย่างต่อเนื่องของวัสดุประเภทดินเผา หรือผลิตภัณฑ์จำพวกกระเบื้องเซรามิค

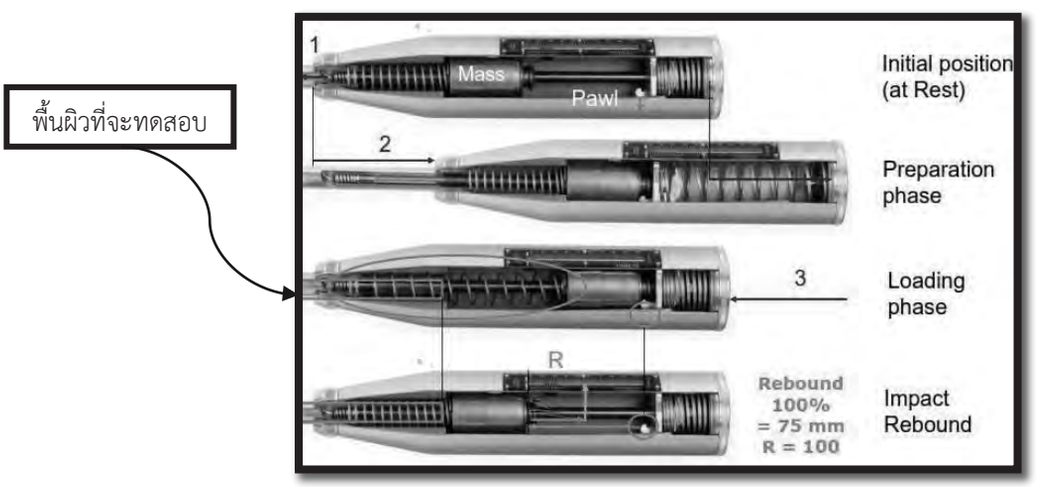
6. Type M จะมีค่าพลังงานในการกระแทกเท่ากับ 29.43 นิวตัน-เมตร เป็นการทดสอบที่เหมาะกับมวลคอนกรีตขนาดใหญ่ ได้แก่ งานถนนคอนกรีต และงานทางวิ่งของสนามบิน

7. Type Pendulum จะมีค่าพลังงานในการกระแทกเท่ากับ 0.883 นิวตัน-เมตร เป็นการทดสอบกับที่ ใช้กับวัสดุที่มีค่าความแข็งต่ำ เช่น วัสดุมวลเบาในการก่อสร้างงานปูนฉาบผิวต่างๆ ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 5 – 25 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจะให้ผลการทดสอบที่ดีกว่าการใช้เครื่องมือแบบ Type N หรือ Type L

8. Type PT จะมีค่าพลังงานในการกระแทกเท่ากับ 0.883 นิวตัน-เมตร เป็นการทดสอบกับที่ประกอบด้วยหัวค้อนทดสอบที่มีขนาดใหญ่ที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในการทดสอบวัสดุก่อสร้างที่มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำมาก (0.5 – 5 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

2.2 หลักการทำงานของค้อนกระแทก

เมื่อจะเริ่มใช้งานให้กดแกน Plunger ไปบนพื้นผิวที่ต้องการทดสอบ และกดปุ่มล็อคแกนสปริงที่อยู่ด้านข้าง เพื่อปลดล็อคแกนสปริง แกน Plunger ที่หดตัวอยู่ภายในกระบอกจะเลื่อนออกมาอยู่ในตำแหน่งพร้อมทดสอบ จากนั้นเริ่มให้แรงกด (Loading) ที่ท้ายกระบอกในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิว แกน Plunger จะเลื่อนเข้าสู่ตัวกระบอกด้วยแรงกดอย่างช้าๆ เมื่อแกน Plunger สัมผัสกับพื้นผิวที่ทดสอบแล้ว มวลน้ำหนักสปริงจะสะท้อนกลับด้วยแรงกดนั้น และจะแสดงค่าสะท้อนบนมาตรวัดด้วยแกนเลื่อน ซึ่งเป็นค่าการสะท้อน (Rebound Value) ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลน้ำหนักสปริงตามความแข็งแรงของผิวพื้น หลักการทำงานดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงหลักการทำงานของค้อนกระแทก

สูตรคำนวณค่าตัวเลขการสะท้อนกลับ (ค่า R ; Rebound Value) ค่าตัวเลขสะท้อนกลับเป็นตัวเลขที่แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของพลังงานที่สะท้อนกลับกับพลังงานที่กระแทก บนพื้นผิวที่ต้องการหาค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ค่าการสะท้อนจะขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุนั้น

$$R = 100 \cdot \sqrt{\frac{E_{reflected}}{E_{forward}}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{\frac{1}{2} D x_R^2}{\frac{1}{2} D x_0^2}} = 100 \cdot \frac{x_R}{x_0}$$

R: Rebound value
D: Spring constant
$E_{reflected}$: Energy following the impact
$E_{forward}$: Energy before the impact
x_0: Displacement at triggering of impact
x_R: Displacement following the impact (Rebound distance)

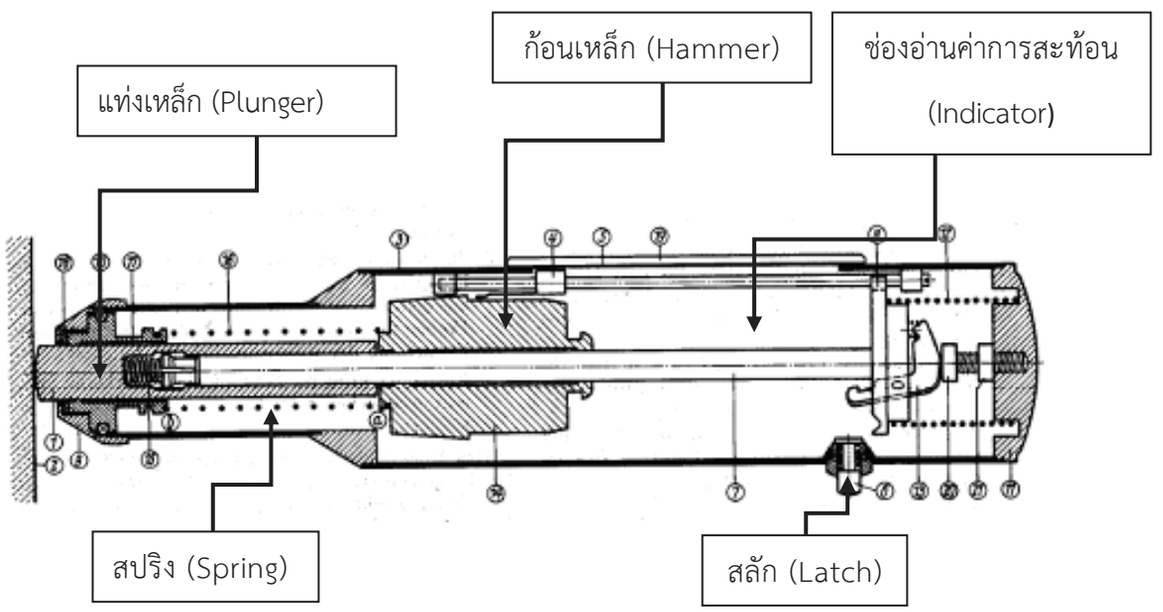
ที่มา: ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตสินค้า PROCEQ

บทที่ 3

การทดสอบโครงสร้างคอนกรีตแบบไม่ทำลาย ด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer) ตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ. 1502-51)

3.1 อุปกรณ์และส่วนประกอบของค้อนกระแทก

3.1.1 ค้อนกระแทกแบบสมิดท์ มีส่วนประกอบหลัก คือ ตัวค้อนภายนอก (Body) แท่งเหล็ก (Plunger) ก้อนเหล็ก (Hammer) สปริง (Spring) สลัก (Latch) และช่องสไลด์ที่ใช้วัดระยะสะท้อนของก้อนเหล็ก (Indicator) ระยะสะท้อนของค้อนกระแทกวัดได้จากมาตรวัด ซึ่งติดกับค้อนโดยมีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 100 เรียกว่าค่าการสะท้อน (Rebound Number) รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของค้อนกระแทกแบบสมิดท์ (Schmidt's Rebound Hammer)



รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของค้อนกระแทกแบบสมิดท์ (Schmidt's Rebound Hammer)

3.1.2 ก้อนหินขัด (Abrasive Stone) เป็นก้อนหินที่มีผิวหยาบ และมีส่วนผสมของซิลิคอนคาร์ไบด์หรือวัสดุเทียบเท่าอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 ใช้สำหรับตกแต่งหน้าพื้นผิวทดสอบให้เรียบ และมีความสม่ำเสมอ

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างก้อนหินขัด (Abrasive Stone)

3.1.3 ทั่งทดสอบ (Test Anvil) เป็นก้อนเหล็กทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 150 มิลลิเมตร มีความแข็งของจุดรับการกระแทกเท่ากับ Brinell 500 หรือ Rockwell 52C และมีอุปกรณ์ที่ช่วยให้ค้อนกระแทก ตั้งฉากกับจุดกระแทกขณะทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4 ใช้ในการหาค่าปรับแก้ (Correction Factor) ค่าสะท้อนกลับภายหลังการทดสอบ จากก้อนเหล็กมาตรฐานที่ทราบค่าความแข็งที่แน่นอน

รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างทั่งทดสอบ (Test Anvil)

3.2 วิธีการใช้งานค้อนกระแทก

3.2.1 ก่อนการทดสอบ ผู้ทดสอบต้องปลดแท่งเหล็กให้หลุดจากตัวล็อค ด้วยการกดค้อนกระแทกที่ผิวคอนกรีต และค่อยๆ ผ่อนออก แท่งเหล็กจะยื่นออกมาจากตัวค้อน

3.2.2 ระหว่างการทดสอบ ให้ตั้งตัวค้อนตั้งฉากกับผิวคอนกรีต แล้วค่อยๆ กดค้อนกระแทกเข้าหาผิวคอนกรีต เมื่อค้อนกระแทกถูกกดเข้าหาผิวคอนกรีต สปริงที่ยืดระหว่างตัวค้อน และก้อนเหล็กจะหดตัว เมื่อค้อนกระแทกถูกกดจนถึงระดับหนึ่ง ตัวสลักจะปล่อยก้อนเหล็กโดยอัตโนมัติ และก้อนเหล็กจะสะท้อนเข้ากระแทกแท่งเหล็ก

3.2.3 ในระหว่างก้อนเหล็กสะท้อน ตัวอ่านค่าจะเคลื่อนที่ไปกับก้อนเหล็ก และค้างอยู่ที่ระยะมากที่สุดที่ก้อนเหล็กสะท้อนกลับ ดังนั้น จะสามารถอ่านค่าการสะท้อนกลับได้จากมาตรวัดที่ติดอยู่กับตัวค้อน

3.2.4 การทดสอบนี้สามารถใช้ได้ทั้งทิศแนวนอน แนวตั้ง แนวเอียง 45 องศา หรือแนวเฉียงอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 5 ทั้งนี้ จะต้องมีกราฟการแปลผลตามทิศทางที่ทำการทดสอบด้วย เนื่องจากทิศทางของการทดสอบมีผลต่อแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อก้อนเหล็ก ดังนั้น การทดสอบในทิศทางแตกต่างกันจะให้ผลการทดสอบแตกต่างกันสำหรับคอนกรีตชนิดเดียวกัน

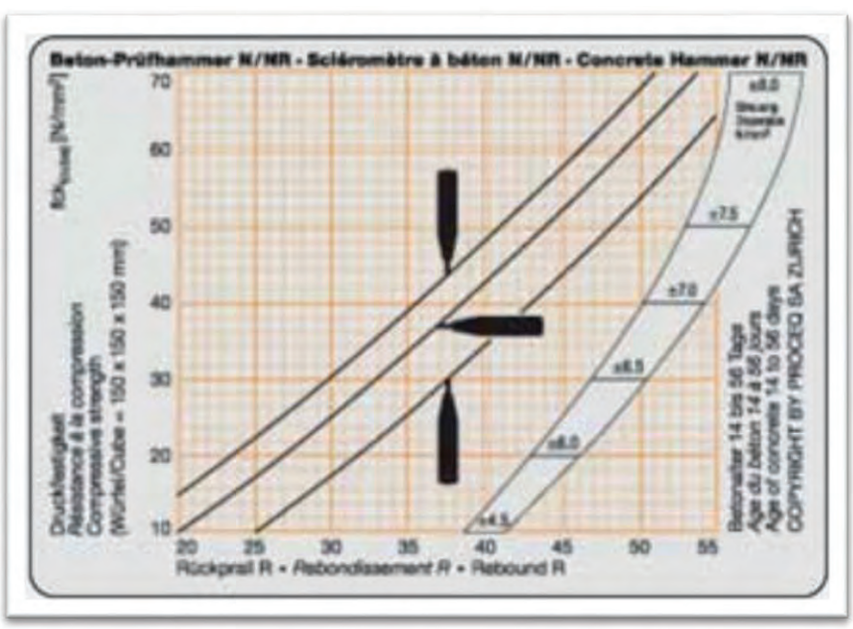
3.2.5 ค่าการสะท้อนกลับที่ได้ จะต้องถูกนำมาปรับแก้ด้วยการคูณค่าปรับแก้ ก่อนนำค่าดังกล่าวไปอ่านค่าจากกราฟแปลผลของค่ากำลังอัดในแต่ละทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 6

5 (ก)

5 (ข)

5 (ค)

รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างทิศการทดสอบ แนวตั้ง แนวนอน และแนวเอียง 45 องศา ด้วยค้อนกระแทก



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างกราฟแปลผลของการทดสอบในทิศทางต่างๆ ด้วยค้อนกระแทก

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดและค่าการสะท้อน

โดยทั่วไปความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัด และค่าการสะท้อน (Rebound Number) จะเป็นไปตามผลการทดสอบของบริษัทผู้ผลิตค้อนกระแทกแต่ละราย อย่างไรก็ตาม ค่ากำลังอัดที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้ เนื่องจากวัสดุสัดส่วนผสมของคอนกรีตที่ตรวจสอบ สภาวะแวดล้อมขณะทดสอบ และคอนกรีตที่ผู้ผลิตค้อนกระแทกแต่ละยี่ห้อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ อาจมีความแตกต่างกัน ดังนั้น การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด และค่าการสะท้อนของคอนกรีตที่ใช้วัสดุประเภทเดียวกัน หรือสัดส่วนเดียวกัน หรือสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน รวมทั้งเงื่อนไขการทดสอบที่คล้ายคลึงกันกับคอนกรีตที่ใช้จริงในโครงสร้าง จะยิ่งช่วยให้การประเมินผลการตรวจสอบเป็นไปด้วยความแม่นยำมากขึ้น

นอกจากนี้ ควรจะมีการทดสอบชนิดอื่นเสริม เพื่อดูแนวโน้มของชุดข้อมูลว่า มีความสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยค้อนกระแทกหรือไม่ เช่น การเจาะเก็บก้อนตัวอย่างในพื้นที่ (Coring) การใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity) การยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบ (Penetration Resistance Penetrate) เป็นต้น

3.4 การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน ตาม มยผ.1502-51

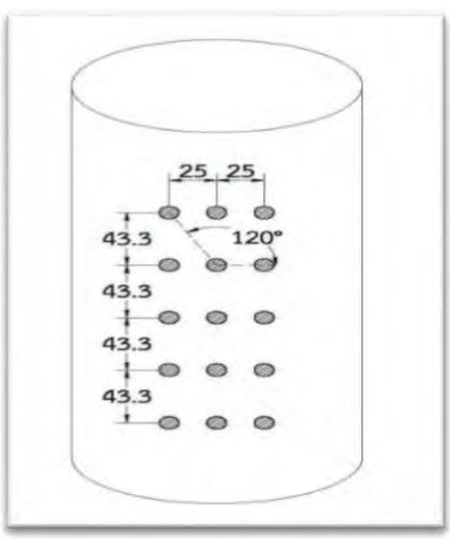
3.4.1 เตรียมตัวอย่างทดสอบคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร และสูง 300 มิลลิเมตร โดยเปลี่ยนแปลงสัดส่วนผสมให้มีช่วงครอบคลุมกำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้างที่ตรวจสอบ โดยมีจำนวนตัวอย่างทดสอบอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง สำหรับแต่ละช่วงกำลังอัดของคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 7

รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างตัวอย่างทดสอบคอนกรีตทรงกระบอก
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร

3.4.2 หลังจากการเตรียมผิวให้เรียบ (Capping) นำตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต และเพิ่มแรงกดตัวอย่างทดสอบให้มีค่าประมาณร้อยละ 15 ของกำลังอัดประลัยเพื่อยึดรั้งตัวอย่างทดสอบให้อยู่นิ่ง ตัวอย่างทดสอบต้องอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งในขณะทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 8

รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างการทดสอบค่ากำลังอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีต โดยใช้เครื่องทดสอบกำลังอัด

3.4.3 วัดค่าการสะท้อน 15 ครั้ง โดยแบ่งตำแหน่งทดสอบเป็นแนวตั้ง 3 แนว และทดสอบ 5 ครั้งต่อแนว โดยแต่ละแนวให้ห่างกันเป็นมุม 120 องศา ตำแหน่งการกดควรอยู่ในระยะ 200 มิลลิเมตร บริเวณช่วงกลางของตัวอย่างทดสอบหรือประมาณ 2 ใน 3 ของความสูงของแท่งตัวอย่างทดสอบ และต้องไม่ทดสอบซ้ำตำแหน่งเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงตำแหน่งจุดทดสอบการสะท้อนของก้อนตัวอย่างคอนกรีต หน่วยเป็นมิลลิเมตร

3.4.4 เฉลี่ยค่าการสะท้อนที่ได้ และค่าเฉลี่ยจะเป็นค่าการสะท้อนของตัวอย่างทดสอบ ดังตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ Rebound hammer test

Rebound number for horizontal (→) hammer position

Sample No.	Observed Rebound Number (RN)										Average RN	Revised Average RN rejecting the distant values
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	23	25	27	19*	24	26	27	26	23	27	24.70	25.34
2	27	22	26	24	24	23	27	23	27	27	25.00	25.00
3	25	24	26	24	28	24	26	26	22	26	25.10	25.10
4	24	27	22	25	22	24	26	27	26	23	24.60	24.60
5	14	15	15	14	16	20	19	15	20	17	16.50	16.50
6	20	18	16	21	20	16	20	17	18	19	18.50	18.50
7	22	23	22	22	25	26	22	18	23	20	22.30	22.30
8	16	15	22	19	23	22	15	21	22	20	19.50	19.50
9	18	20	19	22	23	20	20	24	19	18	20.30	20.30
10	22	21	22	18	25	26	24	20	28	20	22.60	22.60

* Neglected in revised average calculation.

ที่มา : Md. Roknuzzaman, Md. Belal Hossain, Md. Ibrahim Mostazid, Md. Rashedul Haque," Application of Rebound Hammer Method for Estimating Compressive Strength of Bricks", Journal of Civil Engineering Research 2017, 7(3): 99-104

3.4.5 ให้ดำเนินการขั้นตอน 1 – 4 กับตัวอย่างทดสอบอื่น

3.4.6 ทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีตและบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบลงในกราฟ

3.4.7 วิเคราะห์ผล และสร้างเส้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนและกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีการทางสถิติ เช่น วิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Square Technique) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 10

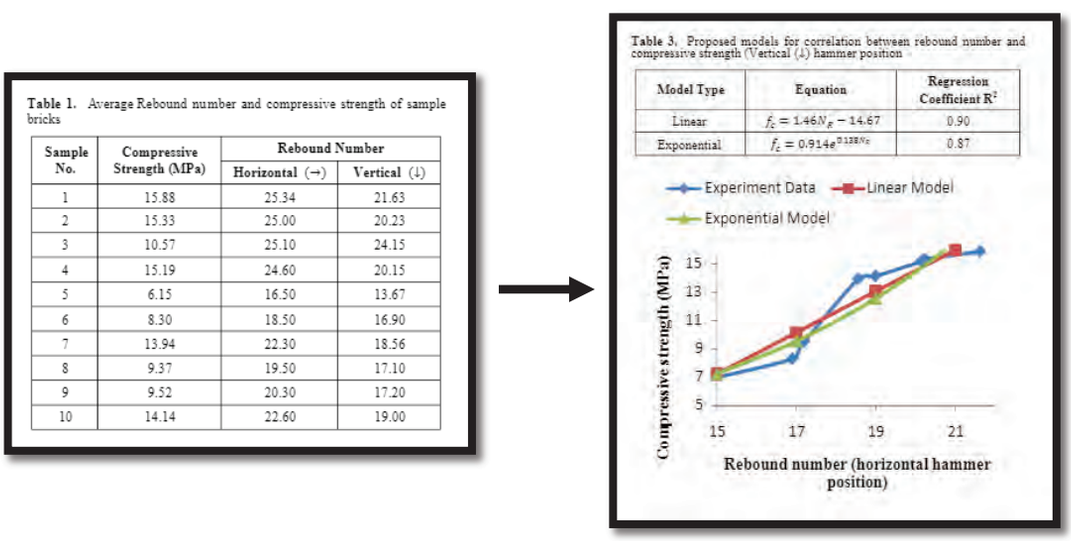


Table 1. Average Rebound number and compressive strength of sample bricks

Sample No.	Compressive Strength (MPa)	Rebound Number	
		Horizontal (→)	Vertical (↓)
1	15.88	25.34	21.63
2	15.33	25.00	20.23
3	10.57	25.10	24.15
4	15.19	24.60	20.15
5	6.15	16.50	13.67
6	8.30	18.50	16.90
7	13.94	22.30	18.56
8	9.37	19.50	17.10
9	9.52	20.30	17.20
10	14.14	22.60	19.00

Table 3. Proposed models for correlation between rebound number and compressive strength (Vertical (↓) hammer position

Model Type	Equation	Regression Coefficient R^2
Linear	$f_c = 1.46N_R - 14.67$	0.90
Exponential	$f_c = 0.914e^{0.138N_R}$	0.87

ที่มา : Md.Roknuzzaman*, Md. Belal Hossain, Md. Ibrahim Mostazid, Md. Rashedul Haque," Application of Rebound Hammer Method for Estimating Compressive Strength of Bricks", Journal of Civil Engineering Research 2017, 7(3): 99-104

รูปที่ 10 ตัวอย่างการวิเคราะห์ผลและสร้างเส้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนและกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีการทางสถิติวิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Square Technique)

3.5 ขั้นตอนการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยการใช้ค้อนกระแทก

3.5.1 ทำการกำหนดตำแหน่งที่จะทำการวัดค่าการสะท้อน โดยควรเป็นบริเวณผิวคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตกร้าว หรือการกะเทาะออกของผิวคอนกรีต และทำการขัดผิวคอนกรีตให้เรียบด้วยก้อนหินขัด ในกรณีที่โครงสร้างมีชั้นปูนฉาบ ให้ทำการสกัดชั้นปูนฉาบออก ก่อนทำการขัดผิวคอนกรีตให้เรียบด้วยหินขัด ดังแสดงในรูปที่ 11

11 (ก) ที่มา : รูปภาพ ของบริษัท N.S. PLUS

11 (ข) ที่มา : รูปภาพ นายชูเลิศ จิตเจือจุน, การประเมินและปรับปรุงผนังกั้นรถยนต์ในอาคารเก่าสภาวิศวกร

รูปที่ 11 รูปแสดงการสกัดชั้นปูนฉาบออกก่อนและทำการขัดผิวคอนกรีตให้เรียบด้วยหินขัด

3.5.2 ตรวจสอบแท่งเหล็กของค้อนกระแทก ให้ยื่นในลักษณะพร้อมทดสอบ

3.5.3 จับค้อนกระแทกอย่างมั่นคง ให้แกนของค้อนกระแทกตั้งฉากกับผิวคอนกรีต

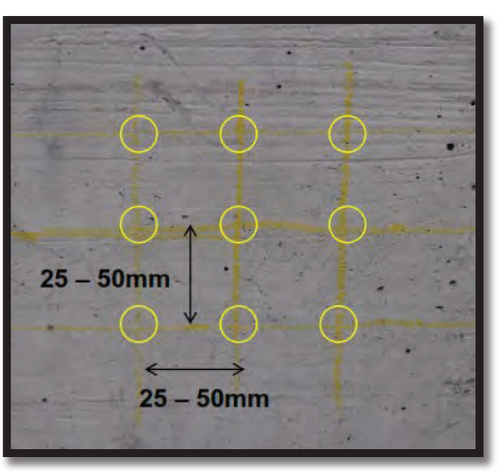
3.5.4 ค่อยๆกดค้อนกระแทกเข้าหาผิวคอนกรีตจนกระทั่งมีการสะท้อนของก้อนเหล็กภายในค้อนกระแทก แท่งเหล็กจะถูกล็อคโดยอัตโนมัติ

3.5.5 อ่านค่าการสะท้อน (Rebound Number) จากมาตรวัดของค้อนกระแทก โดยให้อ่านค่าจำนวนเต็มที่ใกล้เคียงมากที่สุด

3.5.6 สำรวจดูความเสียหายของผิวคอนกรีตอันเนื่องมาจากการกระแทกของค้อนกระแทก กรณีพบความเสียหายอันเชื่อได้ว่ามาจากข้อบกพร่องของคอนกรีต ณ บริเวณที่ทดสอบ เช่น ฟองอากาศขนาดใหญ่ เป็นต้น ให้บันทึกรายละเอียดเพิ่มเติม หรือยกเลิกการใช้ค่าการสะท้อนที่วัดได้ ณ ตำแหน่งนี้ ดังแสดงในรูปที่ 12

รูปที่ 12 แสดงตัวอย่างความเสียหายของผิวคอนกรีตอันเนื่องมาจากการกระแทกของค้อน

3.5.7 บันทึกค่าการกระแทกที่วัดได้ และทดสอบจุดต่อไป โดยให้มีระยะห่างระหว่างจุดที่ทดสอบไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างตำแหน่งและระยะจุดให้มีระยะห่างระหว่างจุดที่ทดสอบไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร

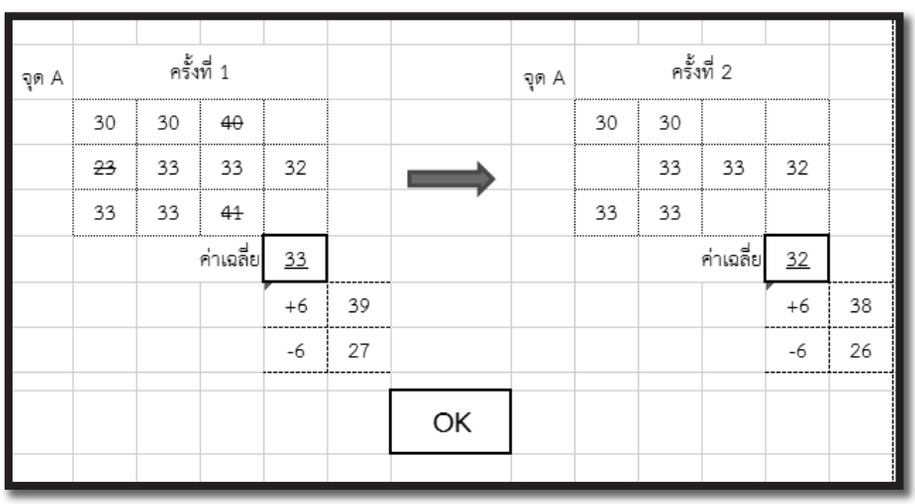
บทที่ 4

การแปลผล และข้อควรระวัง

4.1 การแปลผล

มยผ.1502-51 ได้กำหนดขั้นตอนและรายละเอียดในการแปลผลไว้ดังนี้

4.1.1 ให้เฉลี่ยค่าการกระแทกที่ทดสอบได้อย่างน้อย 10 ตำแหน่ง และตัดค่าการกระแทกที่มีค่าต่างจากค่าเฉลี่ย $\pm$ 6 และเฉลี่ยค่าที่เหลือใหม่ หากมีค่าตั้งแต่สามค่าขึ้นไปที่ต่างจากค่าเฉลี่ย $\pm$ 6 ให้ทดสอบค่าชุดใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 14



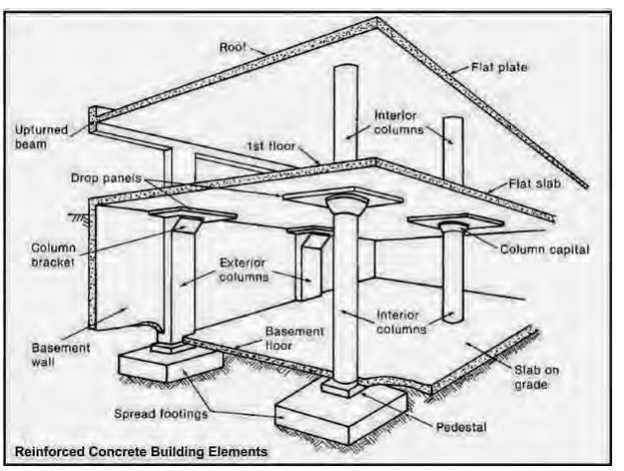
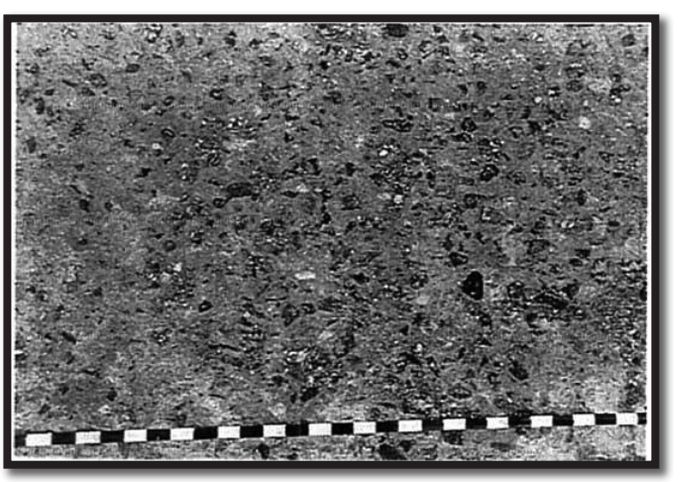
รูปที่ 14 แสดงตัวอย่างเฉลี่ยค่าการกระแทกที่ทดสอบได้อย่างน้อย 10 ตำแหน่ง และตัดค่าการกระแทกที่มีค่าต่างจากค่าเฉลี่ย $\pm$ 6

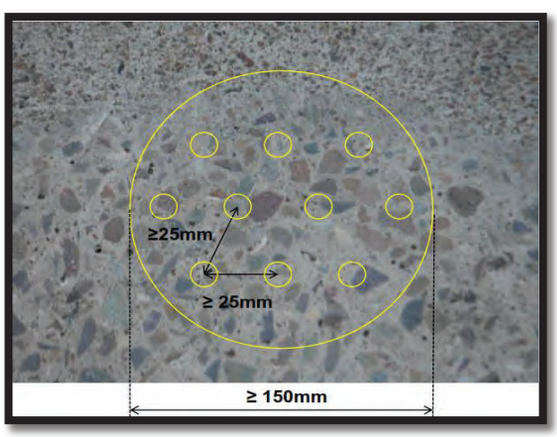
4.1.2 นำค่าการกระแทกที่วัดได้ มาเทียบเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีตตามความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ หากโครงสร้างที่ทำการวัดมีความแข็งเกร็งน้อย เช่น เป็นโครงสร้างที่บางมาก หรือไม่มีการยึดกับโครงสร้างข้างเคียงอย่างเพียงพอ การเทียบค่าการกระแทกเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีความคลาดเคลื่อนสูง ในกรณีดังกล่าวผู้ทดสอบสามารถทำได้เพียงเปรียบเทียบความสม่ำเสมอ (Uniformity) ของความแข็งแรงของคอนกรีตในบริเวณที่มีความแข็งเกร็งใกล้เคียงกันเท่านั้น

4.2 ข้อควรระวัง

การทดสอบคอนกรีตด้วยวิธีค้อนกระแทกเป็นวิธีการที่รวดเร็ว และสะดวกในการทดสอบวัดค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการทดสอบไม่สูงมากนัก เป็นผลให้วิธีการทดสอบนี้ เป็นวิธีการหนึ่งที่วิศวกรนิยมเลือกใช้ อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัด และมีผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ที่ผู้ใช้จะต้องคำนึงถึง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงข้อควรระวังในการทดสอบ

สิ่งที่ต้องคำนึงถึง	คำอธิบาย
1.การเลือกพื้นผิว	- ASTM C805/C805M-08 ได้กำหนดว่า พื้นผิวคอนกรีตของชิ้นส่วนโครงสร้างต้องหนาอย่างน้อย 100 มม. และยึดติดแน่นเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันกับโครงสร้าง สำหรับชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กกว่า 100 มม. จะต้องมีจุดยึดแน่นที่แข็งแรง และควรหลีกเลี่ยงพื้นผิวคอนกรีตที่เป็นโพรงแบบรังผึ้ง (Honey comb) หรือมีสะเก็ดที่ผิวคอนกรีต (Scaling) หรือมีความพรุนสูง  ชิ้นส่วนโครงสร้างต้องหนาอย่างน้อย 100 มม. และยึดติดแน่นภายในกับโครงสร้าง สำหรับชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กกว่า 100 มม. ต้องมีจุดรองรับที่แข็งแรง  การเกิดสะเก็ดที่ผิวคอนกรีต (Scaling)

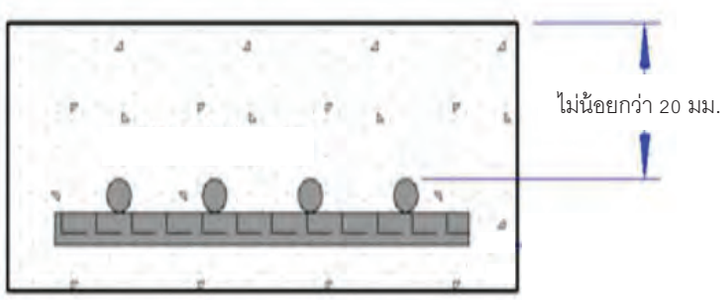
<table>
<tr><td></td><td>
โพรงแบบรังผึ้ง (Honey comb)
- มยผ.1502-51 ได้ระบุว่า ขนาดของโครงสร้างที่ทดสอบรวมถึงความแข็งเกร็งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการวัดค่าการสะท้อน กรณีโครงสร้างที่ตรวจสอบมีขนาดเล็ก การเคลื่อนที่ของโครงสร้างระหว่างการกระแทกจะทำให้ค่าการสะท้อนที่วัดได้นั้นมีค่าน้อยลงกว่าความเป็นจริง ดังนั้น ระหว่างการตรวจสอบอาจจำเป็นต้องถ่วง หรือยึดโครงสร้างดังกล่าวให้มีความแข็งเกร็งมากขึ้น</td></tr>
<tr><td>2.การเตรียมพื้นผิวทดสอบ</td><td>- ASTM C805/C805M-08 ได้กำหนดว่า ขนาดของพื้นที่ที่จะทดสอบต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 150 มม. ผิวคอนกรีตที่มีลวดลายมากนิ่ม ไม่แข็งแรง หรือมีปูนฉาบด้วยมอร์ต้าไม่แน่น ให้ทำการขัดด้วยก้อนหินขัดก่อนทำการทดสอบ


ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 150 มม.</td></tr>
</table>

<table>
<tr>
<td></td>
<td>

ทำการขัดด้วยหินขัดก่อนการทดสอบ

- มยผ.1502-51 ได้ระบุว่า ลักษณะของผิวคอนกรีตมีผลต่อการสะท้อนของคอนกรีต จึงมีผลกระทบโดยตรงต่อผลการทดสอบคอนกรีตด้วย ค้อนกระแทก กรณีผิวคอนกรีตขรุขระมาก แท่งเหล็กของค้อนกระแทกอาจกระแทก และทำให้ผิวคอนกรีตแตก ค่าการสะท้อนที่ได้จึงมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง ดังนั้น ก่อนการทดสอบผิวโครงสร้างคอนกรีตที่มีความขรุขระควรขัดให้เรียบเสียก่อนด้วยก้อนหินขัด
</td>
</tr>
<tr>
<td>3.ตำแหน่งที่ทดสอบ</td>
<td>- ASTM C805/C805M-08 ได้กำหนดว่า ไม่ควรทำการทดสอบพื้นผิวที่มีระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมน้อยกว่า 20 มม. ดังนั้น จึงควรใช้เครื่องมือชนิดอื่นในการหาตำแหน่งของเหล็กเสริม เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว



ตัวอย่างระยะหุ้ม

- ศุภชัย (2010) ได้เสริมว่า ตำแหน่งที่ทดสอบมีผลเป็นอย่างมาก เช่น การทดสอบใกล้บริเวณที่มีหินในคอนกรีต หรือบริเวณผิวคอนกรีตที่มีเหล็กเสริมจะมีผลค่าการสะท้อนกลับสูงกว่าคอนกรีตปกติถึง 30 % ในขณะที่หากทดสอบบริเวณคอนกรีตที่มีโพรงแบบรังผึ้ง ค่าการสะท้อนกลับจะมีค่าน้อยอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้หากทดสอบแล้วพบว่า พื้นผิวคอนกรีตมีความเสียหาย เช่น แตกหลุดออก ให้ยกเลิกผลทดสอบจุดนั้น
</td>
</tr>
</table>

4.ผลกระทบจากส่วนผสมคอนกรีต เช่น ชนิดของปูนซีเมนต์ ปริมาณปูนซีเมนต์ ชนิดของมวลรวม	- มยผ.1502-51 ได้กล่าวว่า ● ประเภทของปูนซีเมนต์ที่ใช้อาจส่งผลต่อค่าการสะท้อนที่วัดได้ โดยปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณอลูมิเนียมสูงนั้น อาจมีกำลังอัดที่แท้จริงมากกว่าค่าที่แปลผลจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) ที่ได้จากการทดสอบคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ดังนั้น จึงควรมีการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) สำหรับประเภทของปูนซีเมนต์ที่ใช้ เพื่อการประเมินกำลังอัดที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ ● ประเภทของมวลรวม เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก โดยทั่วไปแล้วค่าการสะท้อน (Rebound Number) ของคอนกรีตที่มีมวลรวมเป็นหินปูน (Limestone) จะมีค่าน้อยกว่าค่าการสะท้อนของคอนกรีตที่มีมวลรวมเป็นหินแม่น้ำ ซึ่งมีค่ากำลังอัดประลัยเท่ากัน และความแตกต่างนี้จะมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Lightweight Aggregate) กับคอนกรีตธรรมดา ● แหล่งหิน การใช้หินชนิดเดียวกันจากคนละแหล่งอาจส่งผลให้ค่าการสะท้อนของคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดเท่ากันมีค่าแตกต่างกันได้ - ศุภชัย (2010) ได้อ้างถึงรายงานผลจากการศึกษาในต่างประเทศ ว่า ● ชนิดของปูนซีเมนต์ (Super-sulphated Cement) ที่นำมาผสมคอนกรีต ก็มีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่แท้จริง อาจมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากการทดสอบด้วยค้อนกระแทก ส่วนปูนซีเมนต์ชนิดที่มีปริมาณอลูมิเนียมสูง อาจจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่แท้จริงมีค่ามากกว่าที่ได้จากการทดสอบด้วยค้อนกระแทก ● ปริมาณปูนซีเมนต์ การเพิ่มขึ้นหาปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมมักจะลดอัตราส่วน ระหว่างความแข็งของผิวหน้าคอนกรีตต่อการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังอัด ทำให้อาจมีกำลังอัดที่แท้จริงมากกว่าค่าที่แปลผลจากการสะท้อนกลับ

	• มวลรวมจากหินปูน (Limestone) จะมีค่าการสะท้อนกลับ (Rebound Number) น้อยกว่าค่าที่ได้จากคอนกรีตที่มีมวลรวมเป็นหินจากแม่น้ำ ซึ่งมีค่ากำลังประลัยเท่ากัน โดยผลนี้จะมีความชัดเจนมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างคอนกรีตมวลรวมเบากับคอนกรีตธรรมดา โดยค่าการสะท้อนกลับที่เท่ากันของคอนกรีตมวลรวมเบาให้ค่ากำลังอัดที่แท้จริงน้อยกว่าคอนกรีตมวลรวมปกติ • รูปร่างของโครงสร้างยังส่งผลต่อค่าการสะท้อน โครงสร้างที่บางหรือมีความหนาน้อย จะให้ค่าการสะท้อนที่น้อยกว่าที่ควรจะเป็น • ความชื้นในคอนกรีตถ้ามีมาก ค่าการสะท้อนกลับจะลดลงกว่ากรณีที่คอนกรีตแห้งถึงร้อยละ 20
5.ผลกระทบจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น	- มยผ. 1502-51 ระบุว่า การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นในคอนกรีต มีผลกระทบต่อค่าการสะท้อนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงสร้างที่อยู่ในเขตการจราจรหนาแน่น และมีอายุการใช้งานมานาน อาจมีความลึกของชั้นที่เกิดคาร์บอเนชั่นในคอนกรีตไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร และค่าการสะท้อนที่ได้นั้นอาจจะมีค่ามากเกินจริงได้ถึงร้อยละ 50 ซึ่งต้องมีการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) สำหรับคอนกรีตที่มีคาร์บอเนชั่นสูงเป็นการเฉพาะ - ศุภชัย (2010) ได้อ้างถึงรายงานผลจากการศึกษาในต่างประเทศว่า การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดด้วยวิธีค้อนกระแทก เป็นการทดสอบความแข็งแรงของผิวหน้าคอนกรีต ซึ่งสามารถวัดได้ลึกไม่เกิน 30 มม. สำหรับคอนกรีตที่สัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีความชื้นที่เหมาะสม จะทำให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น (Carbonation) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยานี้จะส่งผลให้เกิดการทำลายความเป็นด่างในเนื้อคอนกรีต โดยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในคอนกรีตจะทำปฏิกิริยากับ CO_2 และได้ผลิตภัณฑ์ตัวใหม่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCo_3$) ทำให้เนื้อคอนกรีตบริเวณผิวหน้า มีความแน่นยิ่งขึ้น และส่งผลให้ความแข็งแรงของผิวหน้าคอนกรีตสูงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยานี้ไม่ได้เพิ่มค่ากำลังรับแรงอัดให้กับเนื้อคอนกรีตโดยภาพรวม ดังนั้น ค่าการสะท้อนกลับที่ได้จากการทดสอบจะต้องมีค่าปรับแก้ ลดกำลังลง

6.อายุของคอนกรีต	- มยผ. 1502-51 ระบุว่า เนื่องจากวิธีการทดสอบด้วยค้อนกระแทกเป็นวิธีการวัดความแข็งของผิวคอนกรีต จึงไม่เหมาะสำหรับการวัดคอนกรีตที่มีอายุน้อยมากๆ ซึ่งยังไม่มีความแข็งเพียงพอ นอกจากนี้ การใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการสะท้อน และกำลังอัดที่อายุ 28 วันนั้น อาจจะไม่เหมาะสมกับการตรวจสอบโครงสร้างที่มีอายุมากๆ จึงควรมีการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนที่ได้จากโครงสร้างและค่ากำลังอัดที่ได้จากการเจาะเก็บตัวอย่างจากโครงสร้างในกรณีดังกล่าว - ศุภชัย (2010) ได้อ้างถึงรายงานผลจากการศึกษาในต่างประเทศไว้ว่า สำหรับคอนกรีตที่มีอายุน้อย และกำลังรับแรงอัดต่ำ (น้อยกว่า 100 กก./ซม.^{2}) ไม่แนะนำให้ใช้การทดสอบด้วยค้อนกระแทก ในการหาค่ากำลังรับแรงอัด เนื่องจากการทดสอบจะไปทำลายผิวคอนกรีตให้เป็นรอยกระแทก และส่งผลให้ได้ค่าการสะท้อนที่มีความแม่นยำต่ำ แต่สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังสูงพอสมควรอย่างคอนกรีตที่ใช้ทำคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Pre - cast Concrete) อาจใช้วิธีการค้อนกระแทกได้ ถึงแม้ว่าอายุของคอนกรีตจะน้อย หากค่ากำลังอัดสูงกว่า 100 กก./ซม.^{2} ขึ้นไป

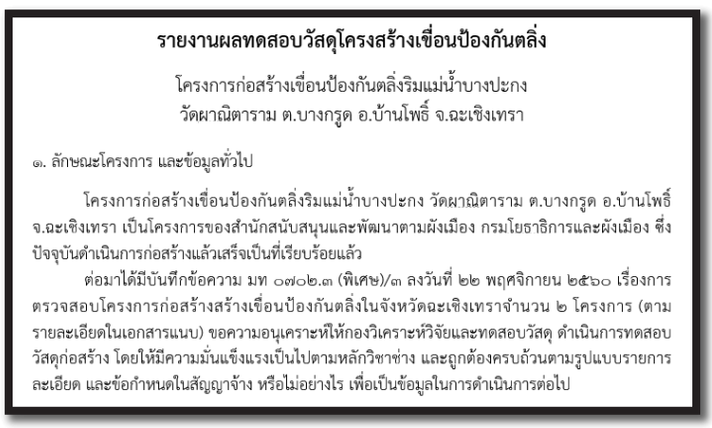
บทที่ 5

การจัดทำรายงานผลการทดสอบ

ข้อมูลที่ได้จากค่าการทดสอบด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer) ในสนามอย่างน้อย 10 จุดต่อ 1 ชุดข้อมูล จะถูกนำมารวบรวมสรุปไว้ ในตารางสำหรับการรายงานผล เพื่อการวิเคราะห์ คำนวณหาค่าเฉลี่ย และจัดทำรายงานผลการทดสอบ

ส่วนประกอบของรายงานผลการทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลายด้วยวิธีค้อนกระแทก ควรประกอบด้วยรายละเอียด ดังต่อไปนี้

5.1 ลักษณะของโครงการและข้อมูลทั่วไป เช่น สภาพภูมิประเทศ และสภาพอากาศ



รายงานผลทดสอบวัสดุโครงสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง

โครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำบางปะกง
วัดผาณิตาราม ต.บางกรูด อ.บ้านโพธิ์ จ.ฉะเชิงเทรา

๑. ลักษณะโครงการ และข้อมูลทั่วไป

โครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำบางปะกง วัดผาณิตาราม ต.บางกรูด อ.บ้านโพธิ์ จ.ฉะเชิงเทรา เป็นโครงการของสำนักสนับสนุนและพัฒนาตามผังเมือง กรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งปัจจุบันดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

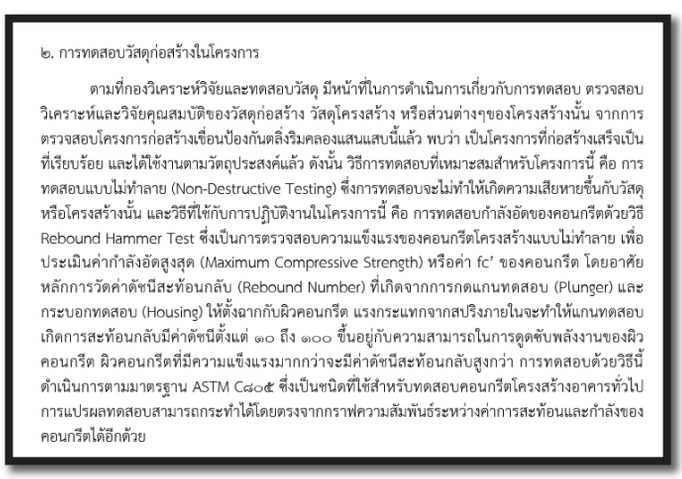
ต่อมาได้มีบันทึกข้อความ มท ๐๗๐๒.๓ (พิเศษ)/๓ ลงวันที่ ๒๒ พฤศจิกายน ๒๕๖๐ เรื่องการตรวจสอบโครงการก่อสร้างสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งในจังหวัดฉะเชิงเทราจำนวน ๒ โครงการ (ตามรายละเอียดในเอกสารแนบ) ขอความอนุเคราะห์ให้กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ ดำเนินการทดสอบวัสดุก่อสร้าง โดยให้มีความมั่นแข็งแรงเป็นไปตามหลักวิชาช่าง และถูกต้องครบถ้วนตามรูปแบบรายการละเอียด และข้อกำหนดในสัญญาจ้าง หรือไม่อย่างไร เพื่อเป็นข้อมูลในการดำเนินการต่อไป

ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2561

รูปที่ 15 ตัวอย่างลักษณะภูมิประเทศ และข้อมูลทั่วไป

5.2 การทดสอบของโครงการ

เป็นการกำหนดจุดทดสอบในส่วนของโครงสร้างที่จะทำการทดสอบ รวมทั้งจำนวนจุดที่จะทำการทดสอบ ซึ่งอาจจะประกอบด้วย เสา คาน พื้น และฐานราก เป็นต้น อีกทั้งเป็นรายละเอียดของการทดสอบ วิธีการ หรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยสังเขป



๒. การทดสอบวัสดุก่อสร้างในโครงการ

ตามที่กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ มีหน้าที่ในการดำเนินการเกี่ยวกับการทดสอบ ตรวจสอบ วิเคราะห์และวิจัยคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้าง วัสดุโครงสร้าง หรือส่วนต่างๆของโครงสร้างนั้น จากการตรวจสอบโครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมคลองแสนแสบนี้แล้ว พบว่า เป็นโครงการที่ก่อสร้างเสร็จเป็นที่เรียบร้อย และได้ใช้งานตามวัตถุประสงค์แล้ว ดังนั้น วิธีการทดสอบที่เหมาะสมสำหรับโครงการนี้ คือ การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing) ซึ่งการทดสอบจะไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับวัสดุหรือโครงสร้างนั้น และวิธีที่ใช้กับการปฏิบัติงานในโครงการนี้ คือ การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธี Rebound Hammer Test ซึ่งเป็นการตรวจสอบความแข็งแรงของคอนกรีตโครงสร้างแบบไม่ทำลาย เพื่อประเมินค่ากำลังอัดสูงสุด (Maximum Compressive Strength) หรือค่า fc' ของคอนกรีต โดยอาศัยหลักการวัดค่าดัชนีสะท้อนกลับ (Rebound Number) ที่เกิดจากการกดแกนทดสอบ (Plunger) และกระบอกทดสอบ (Housing) ให้ตั้งฉากกับผิวคอนกรีต แรงกระแทกจากสปริงภายในจะทำให้แกนทดสอบเกิดการสะท้อนกลับมีค่าดัชนีตั้งแต่ ๑๐ ถึง ๑๐๐ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับพลังงานของผิวคอนกรีต ผิวคอนกรีตที่มีความแข็งแรงมากกว่าจะมีค่าดัชนีสะท้อนกลับสูงกว่า การทดสอบด้วยวิธีนี้ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C๘๐๕ ซึ่งเป็นชนิดที่ใช้สำหรับทดสอบคอนกรีตโครงสร้างอาคารทั่วไป การแปรผลทดสอบสามารถกระทำได้โดยตรงจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนและกำลังของคอนกรีตได้อีกด้วย

ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2561

รูปที่ 16 ตัวอย่างการอธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพอสังเขป

5.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบ

ข้อมูลต่างๆ จะถูกรวบรวม และบันทึกลงในแบบฟอร์มบันทึกผลการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีต ด้วยค้อนกระแทก กล่าวคือ

ช่องที่ 1) แสดงรายละเอียดและข้อมูลทั่วไปของโครงการที่ทำการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ช่องที่ 2) แสดงลำดับที่ และตำแหน่งการทดสอบ

ช่องที่ 3) ค่าที่อ่านได้จากการทดสอบใน 1 ชุดข้อมูล จะต้องมีข้อมูลอย่างน้อย 10 จุด พร้อมคิดค่าเฉลี่ยตามวิธีการที่ระบุไว้ในข้อ 4.1.1

ช่องที่ 4) คูณค่าปรับแก้ จากการสอบเทียบเครื่องมือ

ช่องที่ 5) ทิศทางการทดสอบ

ช่องที่ 6) เปรียบเทียบผลค่าการทดสอบกับกราฟแปลผลของการทดสอบในทิศทางต่างๆ (รูปที่ 6)

ช่องที่ 7) ค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบน **(Standard Deviation: SD)**

โครงการ	ก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริม.แม่น้ำบางประกง	กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ	บฟ.มยผ. 1502	
สถานที่	วัดผาณิตาราม ต.บางกรูด อ.บ้านโพธิ์ จ.ฉะเชิงเทรา	กรมโยธาธิการและผังเมือง	ทะเบียนทดสอบเลขที่ -	แผ่นที่ 1/1
ผู้ขอรับบริการ	1	ผลการทดสอบคอนกรีต	เจ้าหน้าที่ทดสอบ	xxxxxxxxxxxxxxxxxx
วันที่ทดสอบ	29 พฤศจิกายน 2560	โดยการใช้ REBOUND HAMMER	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล	xxxxxxxxxxxxxxxxxx
			เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ	xxxxxxxxxxxxxxxxxx

2 3 4 5 6 7

ลำดับที่	ตำแหน่งพื้นที่ที่ทำการทดสอบ	REBOUND NUMBER 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย	ผลคูณค่าปรับแก้	มุมยิง (องศา)	เทียบเท่ากำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (กก./ซม.^{2})	SD	หมายเหตุ
	จุดที่ x																
1	คาน B1	36	38	38	36	32	36	38	36	38	38	36.6	37.3	0	370.0	1.9	
2	คาน B3	38	38	36	40	38	36	32	36	36	38	36.8	37.5	0	370.0	2.1	หมายเลขเครื่อง 1N1009
3	คาน B4	38	30	40	36	34	32	38	34	34	34	35.0	35.7	-90	405.0	3.0	Line 7 - Line 8
4	เสา C1	36	30	36	32	38	36	40	36	32	38	35.4	36.1	0	340.0	3.1	
	จุดที่ x																
1	คาน B1	36	38	36	36	42	38	38	38	36	36	37.4	38.1	0	380.0	1.9	
2	คาน B3	40	36	38	36	38	40	40	36	32	36	37.2	37.9	0	380.0	2.5	หมายเลขเครื่อง 1N1009
3	คาน B4	32	30	32	28	32	28	28	28	28	32	29.8	30.4	90	280.0	2.0	Line 7 - Line 8
4	เสา C1	40	42	36	36	36	40	38	36	40		38.0	38.8	0	400.0	2.3	
	จุดที่ x																
1	คาน B1	36	38	40	36	30	32	36	30	36	38	35.2	35.9	0	340.0	3.43	หมายเลขเครื่อง 1N1009
2	คาน B3	38	36	38	36	36	38	40	38	38	38	37.6	38.4	0	390.0	1.26	Line 8 - Line 9
3	เสา C1	36	38	36	40	36	40	36	38	34	36	37.0	37.7	0	370.0	1.94	

หมายเหตุ	ผลการทดสอบคอนกรีตโดยการใช้ Rebound Hammer ซึ่งค่าแรงกระแทกที่ได้เทียบเท่าเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์	หมายเลขเครื่อง 1N1009 Adj = 82.40/80.80 = 1.02
สรุปผล	ค่ากำลังอัดของคอนกรีต ของโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป มีค่าตั้งแต่ 240.0 - 420.0 กก./ตร.ซม.	

ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2561

รูปที่ 17 ตัวอย่างตารางแสดงผลการทดสอบ

5.4 สรุปผลการทดสอบ

เป็นการนำข้อมูลที่สำคัญจากผลการทดสอบ มาทำการสรุป ซึ่งประกอบด้วย ส่วนของโครงสร้างที่ทำการทดสอบ ค่ากำลังอัดที่กำหนด (ตามแบบก่อสร้าง) ค่ากำลังอัดคอนกรีตจากการทดสอบ ผังที่ตั้งโครงการ หรือผังแสดงตำแหน่งทดสอบ เป็นต้น

๔. สรุปผลการทดสอบคอนกรีตโครงสร้าง

จากการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตโครงสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งในพื้นที่ด้วยวิธี Rebound Hammer Test เมื่อวันที่ ๓๐ พฤศจิกายน ๒๕๖๐ จะนำค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ มาเปรียบเทียบกับค่าแรงอัดประลัยต่ำสุดของแท่งคอนกรีตมาตรฐานที่อายุ ๒๘ วัน ที่กำหนดให้ไว้ในแบบก่อสร้าง คือ ตามชนิดของคอนกรีต จากมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. ๑๐๐๑-๕๒ หรือตามหมายเหตุที่กำหนดค่าเฉพาะไว้ให้ ในแต่ละส่วนของโครงสร้าง โดยมีข้อสรุปดังนี้

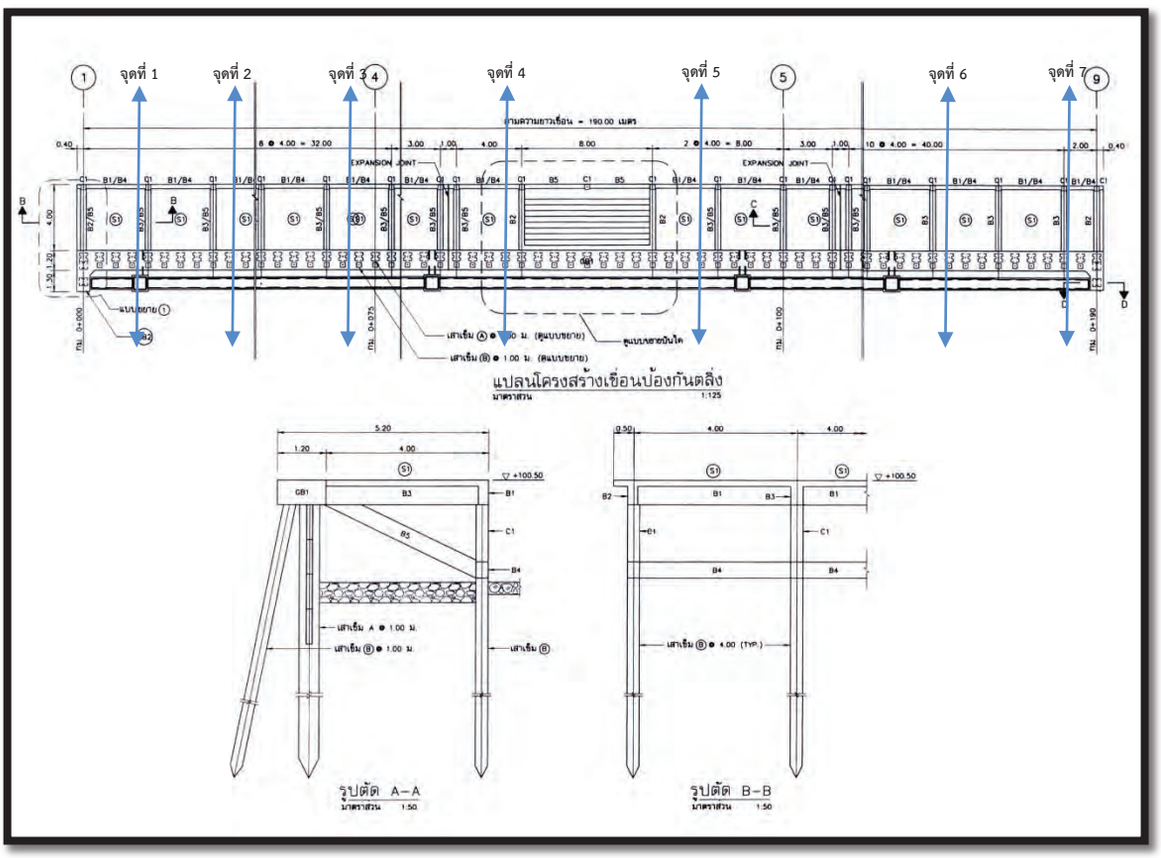
๔.๑ คอนกรีตทั่วไป

หากรายการประกอบแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งหรือตามหมายเหตุจากแต่ละส่วนของโครงสร้าง ในโครงการนี้ ถ้าระบุในข้อกำหนดว่า ให้ใช้ ค๓ แล้ว ค่ากำลังอัดประลัยต่ำสุดของแท่งคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ๑๕๐x๑๕๐x๑๕๐ มม. จะต้องไม่น้อยกว่า ๒๔๐ กก./ซม.^{๒} จะนำค่าแรงอัดประลัยต่ำสุดค่านี้ (ไม่น้อยกว่า ๒๔๐ กก./ซม.^{๒}) ไปเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจากการทดสอบแล้ว ซึ่งได้ผลการเปรียบเทียบตามตารางข้างล่างนี้

ลำดับที่	จุดที่ทดสอบ	ส่วนของโครงสร้าง	ค่ากำลังอัดประลัยต่ำสุดของคอนกรีต (ค3) ตามแบบก่อสร้าง (กก./ตร.ซม.)	ค่ากำลังอัดของคอนกรีตจากการทดสอบ (กก./ตร.ซม.)	ผลการเปรียบเทียบ
1	จุดที่ 1	คาน GB1	240	350	สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้
2	จุดที่ 1	แผงกรุ คสล.	240	270	สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้
3	จุดที่ 2	คาน GB1	240	370	สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้
4	จุดที่ 2	แผงกรุ คสล.	240	250	สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้
5	จุดที่ 3	คาน GB1	240	380	สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้
6	จุดที่ 3	แผงกรุ คสล.	240	260	สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้
7	จุดที่ 4	คาน GB1	240	360	สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้
8	จุดที่ 4	แผงกรุ คสล.	240	270	สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้
9	จุดที่ 5	คาน GB1	240	370	สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้
10	จุดที่ 5	แผงกรุ คสล.	240	260	สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้

ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2561

รูปที่ 18 ตัวอย่างการสรุปผลการทดสอบคอนกรีตโครงสร้าง



ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2561

รูปที่ 19 ผังแสดงตำแหน่งทดสอบบริเวณโครงการ

ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2561

รูปที่ 20 รูปภาพตำแหน่งทดสอบ

บรรณานุกรม

1. กรมโยธาธิการและผังเมือง, มาตรฐานการตรวจโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายวิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer), 2551.
2. ASTM C805/C805M-08, “Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete”, The American Society for Testing and Materials, 2008.
3. ศุภชัย สินถาวร, “การประเมินกำลังของคอนกรีตด้วยวิธีรีบาวด์แฮมเมอร์”, SWU Engineering Journal (2010) 5(2), pp. 43-49.

ที่ปรึกษา

นายมณฑล สุดประเสริฐ
อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง
ผู้บริหารสูงสุดของส่วนราชการ (CEO)

นางสมจิต ปิยะศิลป์
รองอธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง
ผู้นำการบริหารการเปลี่ยนแปลง (CCO)

นายอนวัช สุวรรณเดช
รองอธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง
ผู้บริหารสูงสุดด้านการจัดการความรู้ (CKO)

บรรณาธิการ

นางอัญชลี ริ้วธงชัย
ผู้อำนวยการสถาบันพัฒนาบุคลากรด้านการพัฒนาเมือง
หัวหน้าคณะทำงานการจัดการความรู้ (CKM Team)

นายอุทิศ รักสัจจะ
ผู้อำนวยการกองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ
คณะทำงานการจัดการความรู้ (KM Team)

กองบรรณาธิการ

สถาบันพัฒนาบุคลากรด้านการพัฒนาเมือง

๑. นายมาโนช ขาวขำ
หัวหน้ากลุ่มงานวางแผนและประสานงาน คณะทำงานและเลขานุการ

๒. คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

๒.๑ นางสาวไพรินทร์ ดุราศวิน	นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการพิเศษ
๒.๒ นางสาวจิตกุศล เปาประดิษฐ	นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการ
๒.๓ นางสาวอรอุมา อาจปักษา	พนักงานพัฒนาทรัพยากรบุคคล
๒.๔ นางสาวอรณี มีสา	พนักงานพัฒนาทรัพยากรบุคคล

กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ

๑. นางพีชยา ทวีเลิศ	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
๒. นายวินัย สีเที่ยงธรรม	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
๓. นายกิตติศักดิ์ พิสัยพันธ์	นายช่างโยธาชำนาญการ
๔. นายชุติพงศ์ เอื้อฐิตาภรณ์	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
๕. นายทรงฤทธิ์ ธิยา	พนักงานวิศวกรโยธา

ผู้เชี่ยวชาญแลกเปลี่ยนความรู้

๑. นางอภิญญา จำวัง	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ (สวค.)
๒. นายสิทธินันท์ เบ็ญจสุพัฒนนันท์	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ (สสผ.)
๓. นายทยากร จันทรางศุ	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ (สนอ.)
๔. นางสาวอรณิชา รองวิริยะพานิช	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ (สสผ.)
๕. บริษัท พี.เอ.ไอ.อาร์.เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	

... ดำเนินการตามแผนการจัดการความรู้
กรมโยธาธิการและผังเมือง (DPT KM Action Plan)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๑ ประเด็นยุทธศาสตร์
ด้านการบริการด้านช่าง

สถาบันพัฒนาบุคลากรด้านการพัฒนาเมือง
กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ
กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย www.dpt.go.th