SWU Engineering Journal (2010) 5(2), 43-49
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ.2553

# การประเมินกำลังของคอนกรีตด้วยรีบาวด์แฮมเมอร์

# Assessment of Strength of Concrete by Rebound Hammer

ศุภชัย สินถาวร
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
E-mail: suppachai@swu.ac.th

**บทคัดย่อ**

การประเมินกำลังของคอนกรีตด้วยการทดสอบแบบไม่ทำลาย โดยเครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์ถูกคิดค้นมาตั้งแต่ทศวรรษ 1940 และยังคงได้รับความนิยมในปัจจุบัน เพื่อทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจถึงพื้นฐานของเครื่องมือ ตระหนักถึงข้อจำกัด และประเมินกำลังของคอนกรีตโดยรีบาวด์แฮมเมอร์ที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นบทความนี้แสดงถึงหลักการ รูปแบบการใช้งาน มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ปัจจัยผลกระทบต่าง ๆ รวมทั้ง แนวคิดในการปรับแก้ ปรับปรุงในการใช้งานและแปลผล

**คำสำคัญ:** รีบาวด์แฮมเมอร์, กำลังอัด, คอนกรีต, การทดสอบแบบไม่ทำลาย

**ABSTRACT**

The rebound hammer test, one of the most popular non-destructive testing methods, has been used to evaluate the compressive strength of concrete since 1940s. The objective of this article is to provide the significant information, which is theory, limitations and applications of rebound hammer, to results in the high-quality of evaluation. Therefore, this article reviews the rebound hammer test: principle, procedure, standards, influence of related parameters, and interpretation.

**Keyword:** Rebound Hammer, Compressive Strength, Concrete, NDT Test

## 1. บทนำ

วิศวกรให้ความสำคัญกับกำลังอัดของคอนกรีตเป็นอันดับต้น ๆ โดยคุณสมบัตินี้สามารถทดสอบได้จากการเก็บตัวอย่างคอนกรีต และกดทดสอบในระยะเวลาที่กำหนด อย่างไรก็ตาม หากผลจากการกดทดสอบนั้นมีปัญหา หรือ ไม่อาจหาตัวอย่างมาทำการทดสอบได้อย่างเพียงพอ เนื่องจากเป็นโครงสร้างเก่า ทางเลือกในการประเมินกำลังอัดที่ดี ทางเลือกหนึ่ง คือ การทดสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งการประเมินกำลังของคอนกรีตมีหลากหลายวิธีให้เลือกใช้ และหนึ่งในการวิธีที่แพร่หลาย คือ การทดสอบโดยเครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์ (Schmidt Rebound Hammer) เนื่องจาก ประหยัดและไม่ซับซ้อน โดยการวัดความแข็งของพื้นผิวคอนกรีตเพื่อใช้ในการประเมินกำลังของคอนกรีต อย่างไรก็ตามผู้ใช้งานยังคงมีปัญหากับวิธีการทดสอบและความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบ ก่อนที่จะนำผลไปใช้งานจริง บทความนี้จึงนำเสนอโดยให้ความสำคัญ ในหลักการของการใช้งาน การแปลผลการประเมิน และข้อจำกัดของวิธีการประเมิน ความเข้าใจในรายละเอียดดังกล่าว เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ ในการประเมินกำลังอัดของโครงสร้างคอนกรีตเป็นอย่างยิ่ง

## 2. การทดสอบโดยรีบาวด์แฮมเมอร์

การทดสอบโดยเครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์ หรือ ชมิดท์แฮมเมอร์ (Schmidt Hammer, Swiss Hammer, Impact Hammer, Rebound Hammer) [1] ถูกพัฒนาขึ้นในปลายทศวรรษ 1940 โดยวิศวกรชาวสวิตส์, Ernst Schmidt โดยแนวคิด การวัดความแข็งแกร่งของผิวหน้าคอนกรีต เพื่อใช้ในการประเมินกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยเริ่มพัฒนาขึ้นจากการใช้ลูกเหล็กตกกระทบกับผิวคอนกรีต และวัดผลจากความสูงของการสะท้อนกลับ [2] หลังจากนั้นเครื่องมือนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นตามลำดับ โดยมีสปริงอยู่ภายในตัวเครื่อง ในปัจจุบันเครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์มีน้ำหนักน้อยกว่า 2 ก.ก. และ สามารถแสดงค่าการสะท้อนกลับ (Rebound Number, R) ในรูปแบบดิจิตอลดังแสดงในรูปที่ 1 สำหรับการใช้งานรีบาวด์แฮมเมอร์ อาจแบ่งย่อยเป็น 4 ลักษณะ คือ

A) การตรวจสอบความสม่ำเสมอของคอนกรีตเป็นวิธีที่นิยมและให้ความน่าเชื่อถือได้มากและสามารถใช้ค่าการสะท้อนได้โดยตรง ในการประเมินความสม่ำเสมอของคอนกรีต

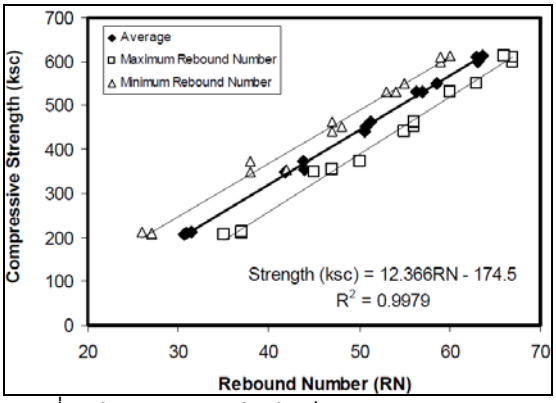
B) ใช้ในการตรวจสอบเปรียบเทียบค่าการสะท้อนกลับระหว่างคอนกรีตกับข้อกำหนดที่ระบุ โดยนิยมใช้กับการคอนกรีตหล่อสำเร็จ เนื่องจากมีการสอบเทียบก่อนการใช้งานของค่าการสะท้อนกลับด้วยคอนกรีตแบบเดียวกันกับคอนกรีตที่ถูกตรวจสอบ

C) ค่าการสะท้อนกลับจะถูกใช้ในการประมาณค่ากำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งต้องใช้ความสัมพันธ์ ที่ได้พัฒนาขึ้นจากการทดสอบในช่วงกำลังอัดที่ต้องการใช้ทดสอบ ดังแสดงเป็นตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในแกนนอนและค่ากำลังอัดในแกนตั้งในรูปที่ 2 วิธีนี้เป็นที่นิยมมากในงานวิศวกรรม แต่วิธีนี้กลับเป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือน้อยที่สุด เนื่องจากมีปัจจัยที่จะส่งผลต่อค่าการสะท้อนจำนวนมาก ซึ่งไม่อาจนำเข้าสู่การสอบเทียบเครื่องมือได้ทั้งหมด

D) ใช้ในการประเมินความต้านทานต่อการขัดสี ซึ่งเป็นผลโดยตรงกับค่าความแข็งของผิวหน้า [2]

สำหรับข้อดีของการใช้เครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์ที่เห็นได้ชัดเจน คือ เป็นวิธีการที่สะดวกรวดเร็วและค่าใช้จ่ายต่ำ จึงทำให้เกิดความนิยมในการใช้เครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์ ในการประเมินกำลังของคอนกรีตเป็นอย่างมาก [1-3] อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้มีข้อจำกัด และมีผลกระทบจากตัวแปรหลายประการ ซึ่งผู้ใช้งานต้องคำนึงถึง [2-8] ซึ่งจะอภิปรายในหัวข้อถัดไป

รูปที่ 1 รีบาวด์แฮมเมอร์




รูปที่ 2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนและกำลังอัดของคอนกรีต [7]

## 3. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบความน่าเชื่อถือ

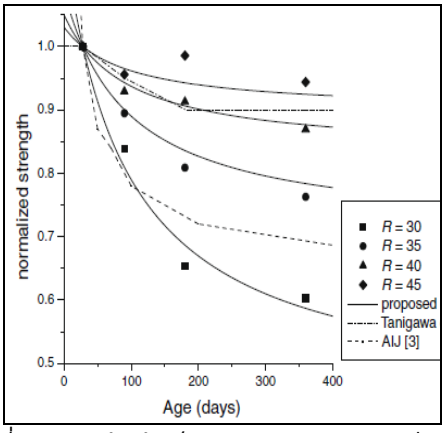
### *3.1 ผลกระทบต่อค่าการสะท้อนกลับจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น และการแปลผลเป็นค่ากำลังอัด*

การทดสอบโดยใช้เครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์แท้จริงแล้ว เป็นการทดสอบความแข็งของผิวหน้าคอนกรีต และสามารถวัดความแข็งของผิวหน้าได้ลึกไม่เกิน 30 มม. [1-2] สำหรับกรณีที่คอนกรีตสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ ($CO_2$) และมีความชื้นที่เหมาะสม จะทำให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น (Carbonation) ทำลายความเป็นด่างของเนื้อคอนกรีตโดยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ในคอนกรีต จะทำปฏิกิริยากับ $CO_2$ และได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียม

คาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งทำให้เนื้อคอนกรีตบริเวณผิวหน้ามีความแน่นยิ่งขึ้น และส่งผลให้ความแข็งของผิวหน้าของคอนกรีตสูงขึ้นไปด้วย [3] อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยานี้ไม่ได้เพิ่มกำลังอัดให้กับเนื้อคอนกรีตโดยภาพรวม ดังนั้นการใช้ค่าการสะท้อนกลับจากเครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์เพื่อประเมินกำลังอัด สำหรับกรณีที่ทราบว่าคอนกรีตนั้นถูกทำลายด้วย ปฏิกิริยาคาร์-บอเนชั่น จึงควรมีการใช้ค่าสัมประสิทธิลดค่ากำลัง ($\alpha$) [3, 9-10] ซึ่งได้จากค่าการสะท้อนกลับ ซึ่งปกติอาจใช้ตามอายุของคอนกรีตเป็นตัวแปรประมาณค่าผลจากการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น โดยคอนกรีตที่อายุ 28 วัน จะมีค่าสัมประสิทธิดังกล่าวเท่ากับ 1 และ หากโครงสร้างคอนกรีตนั้นอายุมากขึ้น ค่าสัมประสิทธินี้จะมีค่าต่ำลงเรื่อย ๆ เสมือนเป็นตัวแทนว่า โครงสร้างคอนกรีตนี้มีการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยมาตรฐานของสถาบันสถาปนิกของญี่ปุ่น [10] ให้ค่าสัมประสิทธิ์นี้เท่ากับ 0.63 ที่อายุของคอนกรีตประมาณ 8 ปี ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 สำหรับผลกระทบจากเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นนี้ยังมีผู้วิจัย, Kim et al. [3] ได้เสนอให้ใช้สมการปรับแก้ค่าสัมประสิทธินี้เพิ่มเติม เนื่องจากพบว่าสมการของ Tanigawa et al. [9] ใช้ได้ดีเฉพาะค่าการสะท้อนกลับ (R) ประมาณ 40 เท่านั้นและ สมการของ AIJ [10] ก็ใช้ได้ดีเฉพาะในช่วงค่า R ระหว่าง 30-35 เช่นกัน โดยสมการของ Kim et al. ที่เสนอนี้ ค่าค่าสัมประสิทธิ $\alpha$ = f (R, t) โดย R คือค่าการสะท้อนกลับ และ t เป็นอายุของคอนกรีต [3] ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุและค่าอัตราส่วนของกำลังอัดต่อกำลังอัดที่ 28 วัน ในรูปที่ 4 แนวคิดในการใช้ค่าสัมประสิทธิการลดค่าการสะท้อนกลับนี้ ก็เป็นแนวคิดที่ดีและควรมีการปรับให้เหมาะสมหากต้องการนำมาใช้ในประเทศไทย เนื่องจากอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่น สำหรับเมืองต่าง ๆ ซึ่งเป็นปัจจัยจากสภาพภูมิอากาศความหนาแน่นของก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ ความชื้นและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เป็นผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นต่างกันไปด้วย

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิลดค่ากำลังซึ่งได้จากค่าการสะท้อนกลับ ($\alpha$)

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tanigawa et al. [9] | อายุน้อยกว่า 4 สัปดาห์ $\alpha$ = 1.0<br>อายุระหว่าง 4 ถึง 26 สัปดาห์ $\alpha$ = 0.9 - 1.0 แปรผันตามอายุ<br>อายุมากกว่า 26 สัปดาห์ $\alpha$ = 0.9 | | | | | | | | |
| Architectural Institute Of Japan (AIJ) [10] | อายุ (วัน) | 28 | 50 | 70 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 3000 |
| | $\alpha$ | 1.00 | 0.87 | 0.84 | 0.78 | 0.72 | 0.67 | 0.65 | 0.63 |




รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของคอนกรีตและอัตราส่วนกำลังอัดของคอนกรีตต่อกำลังที่ 28 วัน โดยแบ่งช่วงจากค่าการสะท้อนกลับ [3]

นอกจากการใช้ในคอนกรีตอายุมากจะต้องมีการปรับแก้ค่ากำลังอัดที่แปรผลได้แล้ว สำหรับคอนกรีตที่อายุน้อย และกำลังต่ำ (กำลังน้อยกว่า 100 ก.ก./ซม.$^2$) การใช้เครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์ ก็ถูกแนะนำว่า ไม่ควรใช้ เนื่องจากการทดสอบจะทำลายผิวของคอนกรีตให้เป็นรอยกระแทก และค่าที่การสะท้อนที่แสดงยังให้ค่าที่มีความแม่นยำต่ำ [2] อย่างไรก็ตาม สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังสูงพอสมควร เช่น คอนกรีตหล่อสำเร็จ (Pre-cast Concrete) อาจใช้วิธีนี้ในการประเมินได้ ถึงแม้ว่าอายุของคอนกรีตจะน้อย หากค่ากำลังอัดสูงกว่า 100ก.ก./ซม.$^2$ ขึ้นไป

*3.2 ผลกระทบจากส่วนผสมของคอนกรีต*

นอกจากปัจจัยที่มีผลกระทบดังที่ได้กล่าวไปแล้วยังมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบจากส่วนผสมของคอนกรีตได้แก่ ชนิดของปูนซีเมนต์ ปริมาณของปูนซีเมนต์ ชนิดของมวลรวม กล่าวคือ คอนกรีตซึ่งใช้ปูนซีเมนต์ซัลเฟล (Super-sulphated Cement) อาจมีกำลังอัดที่แท้จริงน้อยกว่าค่าที่แปรผลจากค่าการสะท้อนกลับ [2] และในทางตรงกันข้ามการใช้ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณอลูมินาสูงนั้น อาจมีกำลังอัดที่แท้จริงมากกว่าค่าที่แปรผลจากการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อนกลับ ที่ได้จากการทดสอบคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 [2, 7] สำหรับผลกระทบจากปริมาณของปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตนั้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมมักจะ ลดอัตราส่วนระหว่างความแข็งของผิวหน้าคอนกรีตต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังอัด ทำให้อาจมีกำลังอัดที่แท้จริงมากกว่าค่าที่แปรผลจากค่าการสะท้อนกลับ [11] และ สำหรับผลกระทบจากมวลรวม พบว่ามวลรวมจากหินปูน (Limestone) จะมีค่าการสะท้อนกลับน้อยกว่า ค่าที่ได้จากคอนกรีตที่มีมวลรวมเป็นหินแม่น้ำ ซึ่งมีค่ากำลังอัดประลัยเท่ากัน ซึ่งผลจากมวลรวมนี้จะชัดเจนมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Light-weight Aggregate) กับคอนกรีตธรรมดา โดยที่ค่าการสะท้อนกลับ ที่เท่ากันมวลรวมเบาให้ค่ากำลังอัดที่แท้จริงน้อยกว่ามวลรวมปกติ [7]

การใช้รีบาวด์แฮมเมอร์ต้องมีการกระแทกกับตัวโครงสร้างดังนั้นรูปร่างของโครงสร้างยังส่งผลกระทบต่อค่าการสะท้อนโดยหากโครงสร้างมีความบาง จะให้ค่าการสะท้อนที่น้อยกว่าที่ควรจะเป็น จึงอาจต้องมีการเสริม หรือยึดรั้งโครงสร้างที่บางดังกล่าวเพื่อให้สามารถวัดค่าได้แม่นยำขึ้น หรือแม้กระทั่งความชื้น ในกรณีที่คอนกรีตมีความชื้น ค่าการสะท้อนกลับจะลดลงกว่ากรณีที่คอนกรีตแห้ง โดยอาจจะทำให้ค่าการสะท้อนที่ได้ต่ำกว่าถึงร้อยละ 20

จากผลกระทบหลายประการ แสดงให้เห็นว่าการใช้รีบาวด์แฮมเมอร์เพื่อ ให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำนั้น มีความจำเป็นต้องสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีต และค่าการสะท้อนที่วัดได้จากตัวอย่างคอนกรีตในห้องปฏิบัติการก่อนการใช้งาน โดยตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ควรมีลักษณะต่าง ๆ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าการสะท้อนกลับให้สอดคล้อง กับโครงสร้างคอนกรีตซึ่งต้องการการประเมิน

*3.3 ผลกระทบจากตำแหน่งที่ทดสอบ*

ค่าการสะท้อนกลับของเครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์ อ่อนไหวต่อปัจจัยจากจุดทดสอบเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการทดสอบใกล้บริเวณที่มีหินภายในคอนกรีต หรือ แม้แต่การทดสอบบริเวณใต้ผิวคอนกรีตมีเหล็กเสริมซึ่งทำให้แสดงค่าการสะท้อนกลับสูงกว่าปกติถึงกว่าร้อยละ 30 เทียบกับบริเวณที่เป็นคอนกรีตปกติ [4] ในขณะที่หากทดสอบบริเวณที่มีโพรง (Honey Comb) ค่าการสะท้อนกลับจะน้อยกว่าปกติอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในการทดสอบจึงควรทดสอบหลายจุดทดสอบ ในแต่ละส่วนที่ทำการทดสอบ โดย BS 1881: Part 202 [5] แนะนำสำหรับการทดสอบในพื้นที่ 30x30 ซม.$^2$ ให้ทดสอบจำนวน 12 ครั้ง ขณะที่ ASTM C 805 [6] แนะนำให้ทดสอบจำนวน 10 ครั้งต่อพื้นที่ทดสอบ และให้ตัดค่าที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยออก เพื่อให้ได้ความสม่ำเสมอของผลการทดสอบ การกำหนดจุดทดสอบนี้เพื่อความสะดวก กรมทางหลวงชนบท [12] ได้แนะนำให้แผ่นการด์เจาะรู เพื่อพ่นสีใช้เป็นกำหนดจุดทดสอบ ดังแสดงรูปของการกำหนดจุดทดสอบในรูปที่ 3 และผลการทดสอบในตารางที่ 2 อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าว ยังคงจำเป็นที่ผู้ทดสอบต้องพิจารณาเปลี่ยนจุดทดสอบ หากพื้นผิวไม่เหมาะกับการทดสอบ เช่น เป็นบริเวณมวลรวม, พื้นผิวขุรขระ ฯลฯ นอกจากนี้ในประเทศไทย ได้มีการกำหนดมาตรฐาน การใช้งานเครื่องมือดังกล่าว โดย กรมโยธาธิการ และผังเมือง [7] ซึ่งเนื้อหาอ้างอิงจากมาตรฐาน BS 1881: Part 202 [5] และ ASTM C 805 [6]

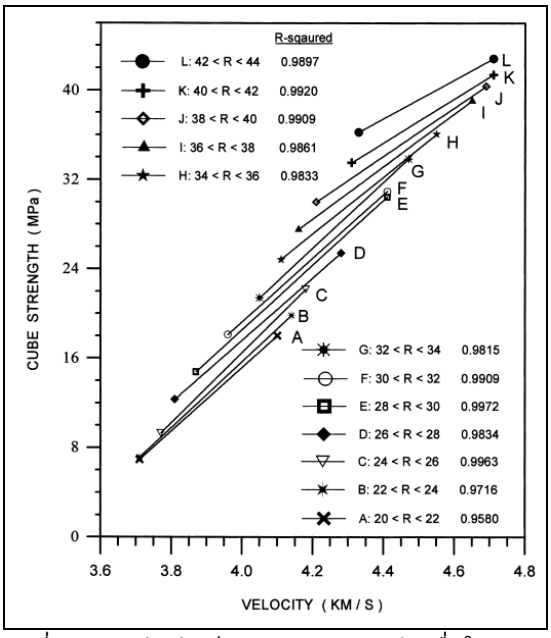
รูปที่ 3 การกำหนดจุดมาตรฐานจากแผ่นแข็งเจาะรูแล้วพ่นสี [12]

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างชุดของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

| การทดสอบครั้งที่ | ค่าที่ได้จากการทดสอบ |
|---|---|
| 1 | 35 |
| 2 | 33 |
| 3 | 29 |
| 4 | 36 |
| 5 | 28 |
| 6 | 32 |
| 7 | 27 |
| 8 | 35 |
| 9 | 37 |
| 10 | 28 |
| ผลรวม | 320 |
| ค่าเฉลี่ย | 32.0 |

**4. การประเมินผล**

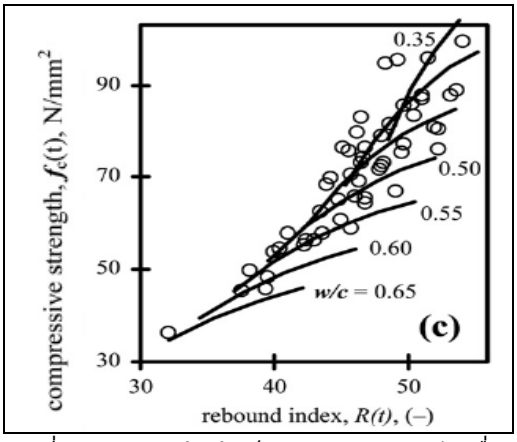
หลากหลายงานวิจัย ที่หาหนทางในการพัฒนาความแม่นยำของ การทำนายค่าการสะท้อนเป็นค่ากำลังอัด โดยใช้การวัดค่าความเร็วคลื่นจากวิธีอัตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity Test) ผสมผสานกับค่าการสะท้อน ทำให้สมการในการทำนายค่ากำลังอัด เป็น ฟังก์ชั่นของค่าการสะท้อนกลับ และค่าความเร็วคลื่น, f'c = f(R, V) โดย f'c คือ กำลังอัดของคอนกรีต, R คือ ค่าการสะท้อนกลับ และ V คือ ค่าความเร็วคลื่นจากวิธีอัตราโซนิก [13] หรือการแบ่งช่วงของค่าการสะท้อนกลับออกเป็นช่วงต่าง ๆ แล้วจึงทำความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วคลื่นกับกำลังอัด [8] ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5 ซึ่งส่งผลให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น หรือแม้กระทั่ง ให้ f'c = f (R, V, D) โดย D คือ ความหนาแน่นของคอนกรีตตัวอย่าง สมการดังกล่าว หากใช้กับโครงสร้างคอนกรีต ก็จะมีความจำเป็นที่จะต้องเก็บตัวอย่าง เพื่อหาค่า R, V, D เพื่อทำความสัมพันธ์สำหรับการสอบเทียบ โดยเก็บตัวอย่างปกติสำหรับโครงสร้างกำลังก่อสร้าง และเจาะเก็บตัวอย่างจากโครงสร้างเก่า




รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วคลื่นในช่วงต่าง ๆ ของค่าการสะท้อน (R) และกำลังอัดของคอนกรีต [8]

และจากกฎพื้นฐานของคอนกรีต Abram [14] ซึ่งกำลังอัดของ แปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ทำให้นักวิทยาศาสตร์ชาวฮังการี [15] เสนอให้กำลังอัดซึ่งประเมินจากค่าการสะท้อนกลับมีสมการเป็น f'c = f (R, w/c) โดยใช้ได้กับคอนกรีตอายุตั้งแต่ 7 ถึง 180 วัน ดังแสดงในรูปที่ 6 ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะทำให้ผลการประเมินแม่นยำยิ่งขึ้นสำหรับกรณีที่ทราบ w/c ของคอนกรีตในโครงสร้างที่ต้องการประเมิน อย่างไรก็ตาม ผู้แต่งมีความเห็นว่า สำหรับในประเทศไทยในโครงสร้างคอนกรีตที่กำลังไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด บางครั้งพบว่ามีการเติมน้ำเพิ่มในคอนกรีตระหว่างการ

ทำงาน ทำให้วิธีนี้อาจใช้ในการประเมินได้ยากยิ่งขึ้น เนื่องจากไม่สามารถทราบ w/c ที่ถูกต้องได้




รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วคลื่นในช่วงต่าง ๆ ของค่าการสะท้อน (R) และกำลังอัดของคอนกรีต [8]

## 5. สรุป

การใช้งานเครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์ในกว่า 60 ปีที่ผ่านมา ทำให้เครื่องมือนี้ได้รับการปรับปรุง ให้สะดวกและทันสมัยยิ่งขึ้น แต่ยังคงใช้หลักการจากค่าการสะท้อนกลับของวัสดุที่ให้แรงกระแทกคงที่ ซึ่งสามารถวัดค่าได้เป็นค่าความแข็งแกร่งของผิวหน้าคอนกรีต ดังนั้นผู้ใช้งานต้องมีความเข้าใจถึงพื้นฐานหลักการในการทดสอบ และตระหนักถึงข้อจำกัด รวมทั้งเข้าใจปัจจัยซึ่งส่งผลกระทบต่อการแปลผล และบทความนี้ได้นำเสนอถึงมุมมองในการพัฒนาการใช้งาน จากงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อให้เป็นแนวคิด และใช้ในการต่อยอดทางความรู้ พร้อมทั้งให้สามารถประเมินโดยรีบาวด์แฮมเมอร์ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] D.C.K. Tay and C.T.Tam, “In situ investigation of the strength of deteriorated concrete”, *Construction and Building Materials*, vol. 10, pp. 17–26, 1996.

[2] J.H. Bungey and S.G. Millard, “Testing of Concrete in Structures”, Third edition, *Blackie Academic & Professional, Chapman & Hall*, 1996.

[3] Jin-Keun Kim, Chin-Yong Kim, Seong-Tae Yi and Yun Lee, “Effecti of Carbonation on the Rebound Number and Compressive Strength of Concrete”, *Cement & Concrete Composite*, vol. 31, pp. 139-144., 2009.

[4] S. Poolsawat and K. Maleesee, “The effect of Stirrup Tie and Vertical Reinforcement Steel with the Compressive Strength Derived from Nondestructive Test Method by Schmidt Hammer Test”, *Proceedings of Annual Concrete Conference 6*, Phetchaburi, Thailand, October 20-22, 2010.

[5] British Standards Committee, “BS 1881: Part 202 Recommendations for Surface Hardness Testing by Rebound Hammer”, *British Standards Institution*, London, 1986.

[6] ASTM C805 Committee, “Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete”, *The American Society for Testing and Materials*, London, 1997.

[7] กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer), กรุงเทพฯ, *กรมโยธาธิการและผังเมือง*, 2551

[8] Hisham Y. Qasrawi, “Concrete Strength by Combined Nondestructive Methods Simply and Reliably Predicted”, *Cement and Concrete Research*, vol. 30, pp. 739-746, 2000.

[9] Tanigawa Y., Baba K.and Mori H. “Estimation of Concrete Strength by Combined Nondestructive Testing Method”, *ACI SP*, vol. 82, pp. 57-76, 1988.

[10] Architectural Institute of Japan, “Manual of Nondestructive Test Methods for The evaluation of Concrete Strength” *Architectural Institute of Japan*, p. 26, 1983.

[11] Kolek, J.“Non-destructive Testing of Concrete by Hardness Method”, *Non-destructive Testing of Concrete and Timber. Institution of Civil Engineers*, London, pp. 19-22, 1970.

[12] กรมทางหลวงชนบท, “รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาวิธีการแก้ไขความเสียหายของสะพาน จากการเสื่อมสภาพของวัสดุ และอายุการใช้งานของสะพานในสายทางโครงข่ายทางหลวงชนบท”, *ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 2551.

[13] Brian Hobbs a, Mohamed Tchoketch Kebir, “Non-destructive testing techniques for the forensic engineering investigation of reinforced concrete buildings”, *Forensic Science International*, vol. 167, pp. 167–172, 2007.

[14] Neville, A.M., “Properties of Concrete”, Fourth edition, Malaysia, *Longman*, 1999.

[15] Katalin Szilágyi, Adorján Borosnyói, István Zsigovics, “Rebound surface hardness of concrete: Introduction of an empirical constitutive model”, *Construction and Building Materials*, vol. 25, pp. 2480–2487, 2011.