

## มาตรวัดการกระแทกการประเมินคอนกรีตโดยใช้การทดสอบค้อนกระแทกแบบสมิทท์ Characteristic Curve of Concrete Assessment Using Rebound Hammer Test

ไพจิตร ผาวัน<sup>1</sup> วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์<sup>2\*</sup> ฉัตรชัย เลิศรัตนภาพร<sup>3</sup>

Pajjit Pawan<sup>1</sup> Warisara Lertpaitoonpan<sup>2\*</sup> Chatchai Lertrattanaporn<sup>3</sup>

pajjit.pa@spu.ac.th<sup>1</sup> warisara.le@spu.ac.th<sup>2\*</sup> chatchai.lrtnp@gmail.com<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

การใช้ค้อนกระแทกแบบสมิทท์ เป็นการวัดค่ากำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลาย โดยค่ากำลังอัดที่ได้เป็นค่าประมาณ และต้องใช้ร่วมกับค่าที่ทดสอบได้จากห้องปฏิบัติการ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนา มาตรวัดการกระแทกเพื่อประเมินคอนกรีตโดยใช้ค้อนกระแทกแบบสมิทท์ และใช้วิธีทางสถิติสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัด และค่าสะท้อน โดยมีรูปแบบตัวอย่างทดสอบ 2 รูปแบบ คือ รูปทรงลูกบาศก์ ขนาด  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$  และ รูปแบบกรณีสี่เหลี่ยม ขนาด  $30 \times 60 \times 30 \text{ cm}^3$  แต่ละรูปแบบมีค่ากำลังอัด  $150 \text{ kg/cm}^2$ ,  $180 \text{ kg/cm}^2$ ,  $210 \text{ kg/cm}^2$  และ  $240 \text{ kg/cm}^2$  ที่ 28 วัน แล้วทำการทดสอบกำลังอัดด้วยค้อนกระแทกแบบสมิทท์ (Schmidt Hammer) และด้วยเครื่องทดสอบแรงเอนกประสงค์ (UTM) พบว่า ในช่วงค่ากำลังอัดตั้งแต่  $150$ - $240 \text{ kg/cm}^2$  ได้ค่าการสะท้อน (RN) ในช่วง 19-32 โดยมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดและการสะท้อนเป็นฟังก์ชันพหุนามเมียบอันดับที่ 3 โดยมีค่า และมีค่า  $R^2$  ตั้งแต่ 0.9176 ถึง 0.9766 แสดงว่ามาตรวัดการกระแทกที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ได้ดี

**คำสำคัญ :** ค่าการสะท้อนกลับ, การประเมินคุณภาพคอนกรีต, มาตรวัดการกระแทก

### Abstract

The Schmidt hammer is used for measuring the compressive strength of non-destructive concrete. However, the results obtained from the laboratory must be used together with the estimated values read from the hammer. This research therefore developed the impact measure to determine the compressive strength of concrete tested by Schmidt hammer. The concrete samples were made into 2 shapes which were cube with the dimension of  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$  and prism with the dimension of  $30 \times 60 \times 30 \text{ cm}^3$ . Each shape of samples were designed to achieve the strength at the range of  $150 \text{ kg/cm}^2$ ,  $180 \text{ kg/cm}^2$ ,  $210 \text{ kg/cm}^2$  and  $240 \text{ kg/cm}^2$  at 28 days then were tested using a Schmidt hammer together with a universal testing machine (UTM) test. The rebound number (RN) were in the range of 19-32. The regression between the compressive strength and the RN is the 3<sup>rd</sup> order polynomial function with the  $R^2$  ranging from 0.9176 to 0.9766, indicating that the measure developed can be used effectively.

**Keywords:** Rebound number, Concrete assessment, Characteristic curve

<sup>1,2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

<sup>3</sup> นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

## 1. บทนำ

การประเมินคุณภาพคอนกรีตของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการใช้ค้อนกระแทกแบบสมิทท์ (Schmidt's Hammer) ตามมาตรฐาน มยผ.1502-51 รวมถึง การตรวจพินิจ (Visual Inspection) ตามมาตรฐาน มยผ.1501-51 เป็นวิธีการที่รวดเร็วและสะดวกในการทดสอบวัดกำลังอัดของคอนกรีตโดยคอนกรีตไม่ถูกทำลาย [1] วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายส่วนใหญ่เป็นการทดสอบโดยอาศัยการประเมินจากผลการวัดค่าสมบัติต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับสมบัติของโครงสร้าง หรือมีความเกี่ยวข้องกับกลไกของการเสื่อมสภาพแบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นวิธีการประเมินโดยอ้อมเป็นส่วนใหญ่ การทดสอบแบบไม่ทำลาย คือ การเก็บข้อมูลการประเมินสภาพของโครงสร้างให้เพียงพอโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างในระดับที่มากเกินไป [2] แต่อย่างไรก็ตามค่ากำลังอัดที่ได้จากกราฟที่ผู้ผลิตติดไว้กับค้อนกระแทกแบบสมิทท์ มีความคลาดเคลื่อนสูง [3] เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุ เช่น มวลรวมในโครงสร้างที่ตรวจสอบ ความขรุขระของผิวโครงสร้าง ขนาด อายุของตัวอย่างทดสอบ ประเภทของมวลรวม ประเภทของซีเมนต์ และคาร์บอนชั้นของผิวคอนกรีต (Carbonation) รวมถึงความแข็งเกร็งของโครงสร้าง (Rigidity) เป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ดำเนินการตรวจสอบต้องคำนึงถึงเป็นอย่างยิ่ง หากผู้ดำเนินการตรวจสอบขาดความเข้าใจหลักการการตรวจพินิจก็จะส่งผลให้การประเมินผลการตรวจสอบไม่ความแม่นยำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนามาตรวัดการกระแทกเพื่อการประเมินคุณภาพคอนกรีต ด้วยค้อนกระแทกแบบสมิทท์โดยอาศัยทฤษฎีทางสถิติ สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number: RN)

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย โดยได้นำหลักการการใช้ค้อนกระแทกแบบสมิทท์ (Schmidt's Hammer) ตามมาตรฐาน มยผ.1502-51 และ การตรวจพินิจ (Visual Inspection) ตามมาตรฐาน มยผ.1501-51 รวมถึงวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

### 2.1 การทดสอบแบบไม่ทำลาย [1]

วิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายเป็นการทดสอบโดยอาศัยการประเมินจากผลการวัดค่าสมบัติต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับสมบัติของโครงสร้าง หรือมีความเกี่ยวข้องกับกลไกของการเสื่อมสภาพแบบ ต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีการประเมินโดยอ้อมเป็นส่วนใหญ่ หลักการของการทดสอบแบบไม่ทำลาย คือ การเก็บ ข้อมูลการประเมินสภาพของโครงสร้างให้เพียงพอโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างในระดับที่มากเกินไป วิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายบางชนิดอาจต้องเจาะรูขนาดเล็กในโครงสร้าง คอนกรีต

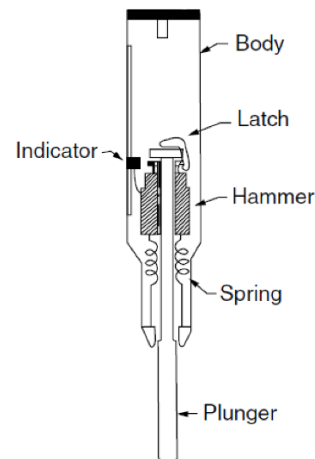
#### 2.1.1 การตรวจพินิจ [2]

การตรวจพินิจ (Visual Inspection) หมายถึง การตรวจสอบด้วยตาเปล่า ประกอบกับอุปกรณ์การตรวจสอบพื้นฐาน เช่น ไม้บรรทัด มาตรวัดความกว้างของรอยร้าว โดยไม่มีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามา

เกี่ยวข้อง การตรวจพินิจเป็นขั้นตอนที่ถือได้ว่ามีความสำคัญมากที่สุดขั้นตอนหนึ่งของการตรวจสอบโครงสร้าง การตรวจพินิจด้วยผู้ตรวจสอบที่มีประสบการณ์จะช่วยให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของความเสียหาย หรือ การเสื่อมสภาพของโครงสร้าง ในการตรวจสอบโครงสร้างด้วยการตรวจพินิจนั้น ผู้ตรวจสอบต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ วิศวกรรมโครงสร้าง พฤติกรรมของคอนกรีต และเทคนิคการก่อสร้าง เพื่อการรวบรวมข้อมูลที่สมบูรณ์ มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

#### 2.1.2 การใช้ค้อนกระแทกแบบสมิทท์ [2]

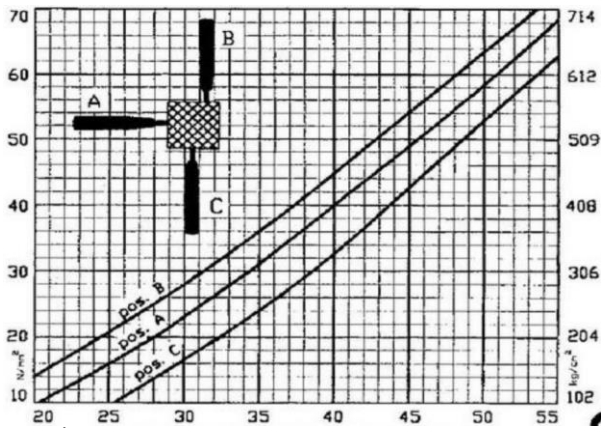
ค้อนกระแทกแบบสมิทท์ หมายถึง ค้อนกระแทกที่มีกลไกการส่งพลังงานโดยการใช้พลังงานศักย์ของสปริงเป็นหลัก ด้วยการแสดงค่าระดับของการสะท้อนของก้อนเหล็กในค้อนกระแทก ดังรูปที่ 1 มีส่วนประกอบหลักคือ ตัวค้อนภายนอก (Body) แท่งเหล็ก (Plunger) ก้อนเหล็ก (Hammer) สปริง (Spring) สลัก (Latch) และช่องสไลด์ที่ใช้วัดระยะสะท้อนของก้อนเหล็ก (Indicator) ระยะสะท้อนของค้อนกระแทกวัดได้จากมาตราส่วนซึ่งติดกับค้อน โดยมีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 100 เรียกว่าค่าการสะท้อน (Rebound Number)



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของค้อนกระแทกแบบสมิทท์ [4]

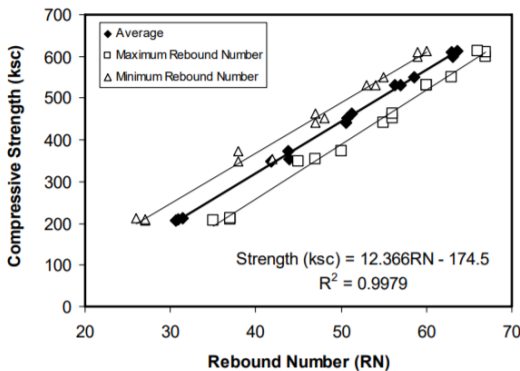
#### 2.1.3 มาตรวัดการกระแทก [3]

มาตรวัดการกระแทก (Characteristic Curve) หรือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด และค่าการสะท้อน จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งผู้ผลิตจะติดไว้กับค้อนกระแทก ประกอบด้วยลักษณะการกระแทก 3 ทิศทาง คือ แนวนอน แนวตั้งบน และแนวตั้งล่าง ดังรูปที่ 2 อย่างไรก็ตามทิศทางการทดสอบมีผลต่อแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อค้อนกระแทก ดังนั้นการทดสอบในทิศทางแตกต่างกันจะให้ผลการทดสอบแตกต่างกัน และต้องปรับให้ถูกต้องด้วยการคูณค่าสัมประสิทธิ์ หรือ อ่านค่าจากตารางของแต่ละทิศทาง โดยส่วนใหญ่ค่ากำลังอัดที่ได้จากกราฟนี้ จะมีความคลาดเคลื่อน ไม่ตรงตามค่ากำลังอัดประลัยที่ได้จากการทดสอบ [4]



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด และค่าการสะท้อน [5]

ค่ากำลังอัดที่ได้จากกราฟอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุ เช่น มวลรวมในโครงสร้างที่ตรวจสอบ จึงจำเป็นต้องสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังอัดและค่าการสะท้อนของคอนกรีตที่ใช้วัสดุประเภทเดียวกับคอนกรีตที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้การประเมินผลการตรวจสอบมีความแม่นยำ ดังรูปที่ 3 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตและค่าการสะท้อนที่วัดได้จากตัวอย่างคอนกรีตจำนวน 15 ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและการสะท้อนในห้องปฏิบัติการ [4]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังอัดและค่าการสะท้อนของคอนกรีต ที่ใช้วัสดุประเภทเดียวกับคอนกรีตที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยคำนึงถึงลักษณะการกดทดสอบ และลักษณะของชิ้นงานทดสอบ เพื่อจะช่วยให้การประเมินผลการตรวจสอบเป็นไปด้วยความแม่นยำ

## 2.2 วิธีกำลังสองน้อยสุด

วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) เป็นวิธีการหาเส้นถดถอย (regression) คือวิธีที่ทำให้ผลบวกกำลังสองของผลต่างระหว่างจุดต่าง ๆ กับเส้นถดถอยมีค่าน้อยที่สุด [5] ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยวิธีเชิงสถิติหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (dependent variable) และตัวแปรอิสระ (independent variable) หรือ

ตัวแปรทำนาย (predictor variable) เพื่อพยากรณ์ หรือทำนายค่าของตัวแปรตาม โดยใช้ตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรทำนายเส้นถดถอยจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด [6]

การประมาณค่าฟังก์ชัน โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จะได้ฟังก์ชันที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของข้อมูล เพราะได้จากการเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลให้เหลือน้อยที่สุด ดังนั้น เมื่อเขียนกราฟของฟังก์ชัน เส้นกราฟจะผ่านไปโนบริเวณต่าง ๆ ของข้อมูล โดยจะตัดผ่านจุดของข้อมูลบางจุด [7] หลักการของวิธีกำลังสองน้อยที่สุด มีดังนี้

ถ้ามีข้อมูล  $x, y$  จำนวน  $n$  ชุด ให้ฟังก์ชันที่ประมาณค่าข้อมูลชุดนี้เป็น  $G(x)$  โดยที่  $G(x)$  อยู่ในรูปสมการ (1)

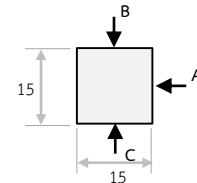
$$G(x) = a_1g_1(x) + a_2g_2(x) + \dots + a_n g_n(x) \quad (1)$$

โดยที่  $m < n$   $g_1(x), \dots, g_n(x)$  เป็นฟังก์ชันซึ่งขึ้นอยู่กับค่า  $x$  อาจอยู่ในรูปเชิงเส้น (Linear) หรือรูปพหุนาม (Polynomial) ได้

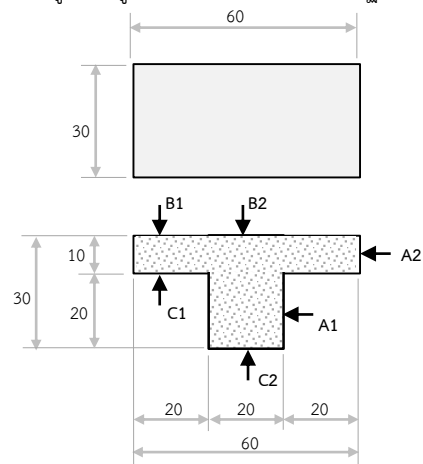
## 3. วิธีดำเนินงาน

วิธีดำเนินงานการสร้างมาตรฐานการวัดการกระแทกในห้องปฏิบัติการ ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด และค่าการสะท้อน ดังต่อไปนี้

1) เตรียมตัวอย่างทดสอบคอนกรีตรูปแบบลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร รูปที่ 4 และ รูปแบบกรณีสึกษา ขนาด 30x60x30 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 รูปแบบลูกบาศก์ที่ใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 5 รูปแบบกรณีสึกษาที่ใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

แต่ละรูปแบบจะเปลี่ยนแปลงสัดส่วนผสม ให้มีช่วงครอบคลุมกำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้างที่ตรวจสอบ 3 ช่วง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแต่ละรูปแบบ

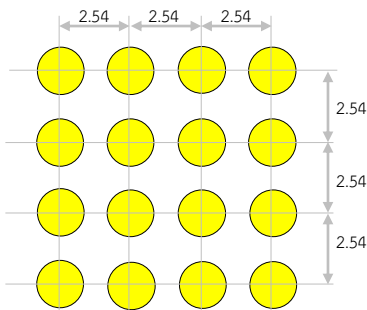
ลำดับ	ออกแบบกำลังอัด (ksc)	จำนวนตัวอย่าง	
		รูปแบบลูกบาศก์	รูปแบบตัวที
1	180	6	6
2	210	6	6
3	240	6	6
รวม		18	18

กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นกำลังอัดที่ 28 วัน ทรงลูกบาศก์ โดยมีส่วนผสมตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ

กำลังอัดที่อายุ 28 วัน	ส่วนผสมของวัสดุใน 1 ลูกบาศก์เมตร				อัตราส่วนน้ำ/ซีเมนต์	ค่ายวบตัว (ชม.)
	ซีเมนต์ (กก.)	น้ำ (กก.)	ทราย (กก.)	หิน (กก.)		
180	250	175	850	1083	0.71	7.5±2.5
210	300	175	836	1083	0.67	7.5±2.5
240	300	175	821	1083	0.62	7.5±2.5

(2) หลังจากเตรียมตัวอย่างทดสอบแล้ว วัดค่าการสะท้อนรูปแบบลูกบาศก์ทดสอบแบบ A, B และ C โดยกำหนดตำแหน่งทดสอบ จำนวน 16 ครั้งต่อจุด ดังรูปที่ 6 หากจุดใดเกิดผิดพลาด จะไม่ทดสอบซ้ำตำแหน่งเดิม



รูปที่ 6 รูปแบบการทดสอบ

3) นำตัวอย่างทดสอบรูปแบบลูกบาศก์เข้าทดสอบกำลังอัดด้วยเครื่องทดสอบแรงเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine :UTM) โดยที่ตัวอย่างทดสอบต้องอยู่ในสภาพอิมตัวผิวแห้งในขณะทดสอบ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การทดสอบด้วยค้อนกระแทกแบบสมิทธ์ และเครื่องทดสอบ UTM

4) เฉลี่ยค่าการสะท้อนที่ได้ และค่าเฉลี่ยจะเป็นค่าการสะท้อนของตัวอย่างทดสอบ สำหรับค่าเฉลี่ยการสะท้อนมากกว่าหรือน้อยกว่า 6 ให้ตัดทิ้ง และถ้าค่าการสะท้อนเกินค่าเฉลี่ยมากกว่าหรือน้อยกว่า 6 เกิน 3 ค่าให้ทำการทดสอบใหม่

5) ดำเนินการขั้นตอน 1 - 4 กับรูปแบบอื่นๆ และบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบลงในกราฟ

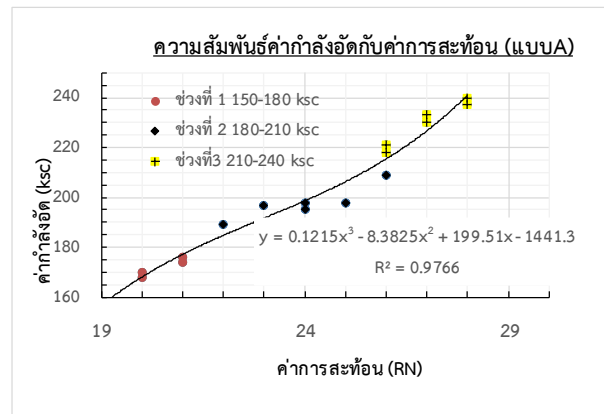
6) วิเคราะห์ผลและสร้างมาตรฐานวัดการกระแทก โดยพิจารณาเส้นความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการสะท้อน และกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Square Technique) ดังตารางที่ 3

#### 4. ผลและการวิเคราะห์

สร้างมาตรฐานวัดการกระแทกเพื่อประเมินกำลังคอนกรีต โดยใช้การทดสอบด้วยค้อนกระแทกแบบสมิทธ์ และเก็บข้อมูลจากการทดสอบโดยกระแทกรูปแบบ A ในช่วงกำลังอัด 150-240 ksc ได้ผลดังตารางที่ 3 จากนั้นพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัด (หน่วยเป็น ksc) กับค่าการสะท้อน (Rebound Number) จะได้เส้นแนวโน้มแสดงความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับที่ 3 ดังรูปที่ 8 โดยมีสมการดังนี้

$$\text{สมการ } y = 0.1215x^3 - 8.3825x^2 + 199.51x - 1441.3$$

$$\text{ค่า } R^2 = 0.9766$$



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ค่ากำลังอัดกับค่าการสะท้อน

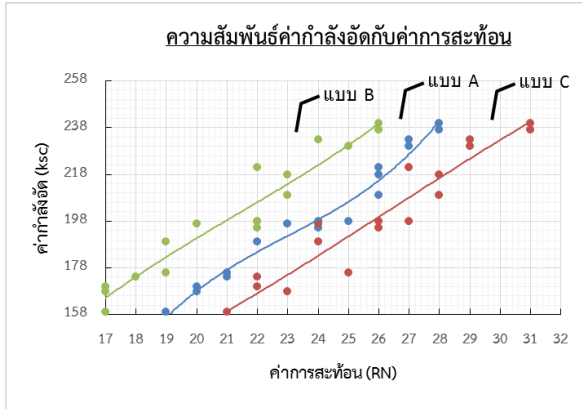
จากนั้นได้ทำการทดสอบโดยกระแทกค้อนตามรูปแบบ B และ C ได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อนของแต่ละรูปแบบการกระแทก ในช่วงกำลังอัดตั้งแต่ 158-240 ksc และค่าการสะท้อนในช่วง 19-32 ตามรูปที่ 9 โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{รูปแบบ B : สมการ } y = 0.0306x^3 - 1.9667x^2 + 49.745x - 262.62$$

$$R^2 = 0.9346$$

$$\text{รูปแบบ C : สมการ } y = -0.0108x^3 + 0.8546x^2 - 14.071x + 178.6$$

$$R^2 = 0.9176$$



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ค่ากำลังอัดกับค่าการสะท้อน แบบ A ,B และ C

## 5. สรุปและเสนอแนะ

จากสมการความสัมพันธ์ของ ค่ากำลังอัด และ ค่าการสะท้อน ที่ได้จากกราฟทั้ง 3 รูปแบบการทดสอบ สามารถนำไปใช้เพื่อประเมินความแข็งแรง

ตารางที่ 3 ค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทกแบบสมิทท์

ออกแบบค่ากำลังอัด (ksc)	ตัวอย่าง	ค่าการสะท้อน (Rebound Number: RN) แบบ A																ค่าเฉลี่ย RN	ค่ากำลังอัดเฉลี่ยเทียบเท่า
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
180	1	20	20	20	19	21	20	21	20	20	21	21	20	20	20	20	20	20	20
	2	21	21	20	21	21	22	21	21	21	21	20	21	21	21	20	21	21	21
	3	19	19	19	19	19	18	19	20	20	19	19	20	19	19	19	19	19	19
	4	21	21	21	20	21	21	21	19	20	21	21	21	20	21	21	20	21	21
	5	20	20	21	21	20	20	20	20	20	20	21	19	20	20	20	20	20	20
	6	19	19	18	18	18	20	19	19	19	19	19	19	20	19	19	19	19	19
210	1	24	23	24	24	24	23	22	24	24	24	24	23	24	24	24	24	24	
	2	22	21	21	22	23	22	22	22	21	22	22	21	22	22	22	22	22	
	3	24	23	24	24	24	24	24	24	24	24	21	24	23	24	24	24	24	
	4	23	24	23	22	23	23	20	23	23	23	23	23	21	23	23	23	23	
	5	26	27	28	24	24	26	26	26	26	26	26	25	26	24	25	26	24	
	6	25	24	24	23	22	24	23	24	24	24	23	24	26	24	24	26	24	
240	1	25	24	26	26	25	26	26	27	26	28	26	26	26	25	26	26	26	
	2	27	28	25	27	27	26	27	27	26	25	26	28	27	28	27	27	27	
	3	28	26	27	27	28	29	27	29	28	28	27	29	26	28	28	28	28	
	4	28	28	28	28	26	28	28	29	29	28	27	28	26	27	28	28	28	
	5	27	26	26	27	27	25	27	27	28	27	26	26	27	27	27	27	27	
	6	25	26	26	26	25	24	26	25	26	27	26	26	25	26	26	26	26	

## เอกสารอ้างอิง

- 1 Quoc-Bao Bui. 2017. "Assessing the Rebound Hammer Test for Rammed Earth Material". Sustainability, 9(10): 1904.
- 2 Dalibor Kocab, Petr Misak and Petr Cikrle. 2019. "Characteristic Curve and Its Use in Determining the Compressive Strength of Concrete by the Rebound Hammer Test". Materials (Basel), 12(17): 2705.
- 3 Nathaniel Tarranza, and Kristine Sanchez. 2014. "Reliability of Rebound Hammer Test in Concrete Compressive Strength Estimation". IJAAEE, 1 (2): 198.
- 4 Tarun Gehlot, Dr. S. S. Sankhla, Akash Gupta. 2016. "Study of Concrete Quality Assessment of Structural Elements

- Using Rebound Hammer Test". American Journal of Engineering Research, 5(8): 192-198.
- 5 Md. Roknuzzaman, Md. Ibeahim Mostazid, Md. Belal Hossain, Md. Rashedul Haque, (2017). Application of Rebound Hammer Method for Estimating Compressive Strength Bricks, Journal of Civil Engineering Research 2017
  - 6 Jiri Brozovsky, Lenka Bodnarova, Jiri Brozovsky jr, (2019) Rebound Hammer Tests of High-Strength Concrete: Effects of Internal Stress and the Shape of the Impact Area of the Test Specimens on the Measurement Results, Brozovsky et al pp.215-221.
  - 7 Pardeep K. Gupta, Niharika Gupta, and Amandeep Singh, (2015) Case Study of Strength Evaluation of Structural Concrete using Rebound Hammer Test, The Indian Concrete Journal.
  - 8 Kursat Esat Alyamac, Yavuzhan TAS, Zulfu Cinar ULUCAN, and Merve Acikgenc ULA, (2017) Estimation of Concrete Strength Combining Rebound Hammer and Windsor Probe Test Methods, SMAR 2017.
  - 9 Nayan Parmar, Ajay Vatukiya, Mayanksinh Zala, and Gaurav Gohil (2017), Non-Destructive Testing by Rebound Hammer Method, International Journal for Research Trends and Innovation.
  - 10 Sakshi Gupta, (2018). Comparison of Non-Destructive and Destructive Testing on Concrete: A Review, Trends in Civil Engineering and its Architecture.