

**อิทธิพลของค่ากำลังอัดของคอนกรีต และขนาดตัวอย่างทดสอบที่มีผลต่อ
การทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้ค้อนกระแทก**
**Effect of the Compressive Strength of Concrete and the Size of Tested Specimens on the
Compressive Strength of Concrete Obtained from Non-Destructive Test Using Rebound
Hammer**

ชูชัย สุจิรวรกุล¹, กนกวรรณ ชัยวรวิทย์กุล²

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²นักศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขนาดตัวอย่างทดสอบที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้ค้อนกระแทก ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้จริงตามมาตรฐาน ASTM C192 มีอยู่ 3 ระดับคือ 235, 321, และ 398 กก./ซม.² ตัวอย่างคอนกรีตถูกทำการทดสอบกำลังอัดแบบทำลายโดยใช้ค้อนกระแทก โดยใช้มุมทดสอบ 3 ทิศทางคือ มุม-90° มุม 0° และ มุม+90° ขนาดของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบแบบไม่ทำลายมี 5 ขนาด คือ รูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม รูปทรงปริซึมสี่เหลี่ยมขนาด 22.5x22.5x15 ซม และ 30x30x15 ซม ตัวอย่างรูปทรงกระบอกมี 2 ขนาด คือ Ø15x20 ซม และ Ø15x30 ซม ตัวอย่างคอนกรีตทั้งหมดถูกบ่มในน้ำที่ 28 วัน จากการทดสอบพบว่าขนาดของก้อนตัวอย่างทดสอบที่มีขนาดกว้างขึ้นและหนาขึ้นได้ค่ากำลังอัดที่อ่านได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายมากกว่าเนื่องจากตัวอย่างคอนกรีตรับแรงสะท้อนจากเครื่องทดสอบค้อนกระแทกได้ดีกว่า และจากการทดสอบได้พบว่าตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะให้ค่ากำลังอัดจากการทดสอบโดยค้อนกระแทกสูงกว่าตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ซึ่งเกิดมาจากตัวอย่างรูปทรงกระบอกมีความหนาที่มากกว่าทำให้แรงสะท้อนได้สูงกว่า

คำสำคัญ : กำลังอัดของคอนกรีต, การทดสอบแบบไม่ทำลาย, ค้อนกระแทก

Abstract

This objective of this research was to study the effect of the compressive strength of concrete

and the size of specimens on the compressive strength of concrete obtained from non-destructive using rebound hammer. The actual compressive strength of concrete specimens had 3 levels; i.e. 235, 321, and 398 ksc, according to ASTM C192 standard. The concrete specimens were tested by rebound hammer with 3 different directions; i.e. -90°, 0° and +90°. Five different sizes of concrete samples were investigated: (a) 15 cm cube; (b) 22.5x22.5x15 cm prism; (c) 30x30x15cm prism; (d) Ø15x20 cm cylinder; and (e) and Ø15x30 cm cylinder. All concrete specimens were cured in water at 28 days. It was found from the study that the wider and the thicker of concrete specimens led to the higher compressive strength obtained from rebound hammer test. Furthermore, it was found that those cylindrical specimens gave the higher compressive strength from rebound hammer than those cube specimens, because the cylindrical specimens were thicker so that the higher rebound number would be obtained.

KEYWORDS: Compressive strength, Nondestructive Test, Rebound Hammer

1. บทนำ

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Test) เป็นการทดสอบที่ทำให้ทราบถึงสมบัติคอนกรีตโดยไม่เกิดความเสียหาย หรือแตกหักต่อโครงสร้างที่ทำการทดสอบ โดยมีอยู่ 4 วิธีที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน [1] ได้แก่

1. การทดสอบเพื่อประเมินสภาพสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีตด้วยคลื่นเรดาร์ (Radar)
2. การทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity)
3. การทดสอบประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตด้วยการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบ
4. การทดสอบวิธีหาค่าความแข็งแรงคอนกรีตด้วยค้อนกระทบ (Rebound Hammer)

การตรวจสอบกำลังอัดคอนกรีตด้วยค้อนกระทบ (Rebound Hammer) ตามมาตรฐาน ASTM C805-02 [2] เป็นวิธีการที่เป็นที่นิยม และได้ผลที่มีค่าความน่าเชื่อถือระดับหนึ่งเนื่องจากมีขั้นตอนการตรวจสอบที่ไม่ซับซ้อน และสามารถเข้าทำการตรวจสอบได้เพียงคนเดียว ซึ่งในหลักการของวิธีการทดสอบวิธีนี้ จะอาศัยสมบัติการดูดซับพลังงานจากค่า Stress Wave Ratio ซึ่งเป็นอัตราส่วนของคลื่นความเค้นอัดที่สะท้อนกลับมาจากเนื้อคอนกรีต กับคลื่นที่ส่งผ่านแท่งกดของเครื่องมือ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับพลังงานก็คือ ความหนาแน่น ความแข็ง ความเรียบของผิว รวมไปถึงโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ [3, 4]

ในการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการทดสอบกำลังอัดแบบไม่ทำลายต่างๆ [5] แต่ยังไม่มียกย่องท่านใดดำเนินการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบ หรือหาความสัมพันธ์ของผลการทดสอบแบบทำลาย และการทดสอบแบบไม่ทำลาย เมื่อตัวอย่างคอนกรีตมีขนาดแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ก้อนตัวอย่างคอนกรีตทดสอบที่มีขนาด และรูปทรงแตกต่างกัน ซึ่งทำการเปรียบเทียบระหว่างก้อนตัวอย่างคอนกรีตทดสอบขนาดและรูปทรงมาตรฐาน กับขนาดก้อนตัวอย่างทดสอบที่คณะผู้วิจัยกำหนดขึ้น

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาขนาดตัวอย่างทดสอบที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้การทดสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้ค้อนกระทบ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีกำลังอัดคอนกรีต 3 ระดับคือ 200, 300, และ 400 กก./ซม.² โดยทำการออกแบบส่วนผสมตามมาตรฐาน ACI 211 [6] ส่วนผสมที่ได้รับแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมคอนกรีต (กก./ 1 ลบ.ม.)

ค่ากำลังอัด (ksc)		200	300	400
w/c		0.62	0.28	0.28
ปริมาณวัสดุ/1 ลบ.ม.	ปูน	298.79	409.00	533.00
	หิน	998.62	751.00	751.00
	ทราย	857.22	953.00	851.00
	น้ำ	203.77	125.97	164.16
นน./ลบ.ม.		2,359.02	2,239.25	2,299.44

3.2 วัสดุที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

ในการวิจัยนี้มีวัสดุที่ใช้ในการทดลองดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
2. ทรายแม่น้ำ ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และ ค้างที่ตะแกรงเบอร์ 50
3. หิน ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว และ ค้างที่ตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้ว
4. สารผสมเพิ่ม น้ำยาผสมคอนกรีต พลาสติกไซเซอร์ ประเภทลดน้ำและหน่วงการก่อตัว ที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ามาตรฐาน ASTM C 494 Type D [7]

3.3 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

ผู้วิจัยได้ทำการจัดเตรียมตัวอย่างการวิจัยดังนี้

1. แท่งตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 ซม.
2. แท่งตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 30x30x15 ซม.
3. แท่งตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 22.5x22.5x15 ซม.
4. แท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก ขนาด Dia.15x30 ซม.
5. แท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก ขนาด Dia.15x20 ซม.

แต่ละกำลังอัดคอนกรีตมีจำนวน 3 ตัวอย่างต่อชุด ดังนั้นแต่ละขนาดตัวอย่างคอนกรีตจะมีจำนวนเท่ากับ 9 ตัวอย่าง

3.4 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.4.1 นำแท่งตัวอย่างที่ทำการบ่มตามเวลาที่กำหนดที่ 28 วัน ขึ้นจากน้ำ แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ

3.4.2 จากนั้นจึงทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลายด้วยวิธีค้อนกระแทก (Rebound Hammer) ผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้ผู้ทำการทดสอบเพียง 1 คน สำหรับการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลายชนิดโดยใช้ค้อนกระแทก โดยใช้มุมทดสอบ 3 ทิศทางคือ มุม-90° มุม 0° และมุม+90° โดยทุกตำแหน่งที่ทำการทดสอบในแต่ละทิศทางของแท่งคอนกรีตจะทำการทดสอบไม่น้อยกว่า 10 ครั้ง บันทึกค่าแรงสะท้อนที่ได้จากการทดสอบ

3.4.3 นำตัวอย่างมาตรฐาน 2 ขนาด คือ ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 ซม. และ ตัวอย่างรูปทรงกระบอก ขนาด Dia.15x30 ซม. ไปทำการทดสอบกำลังอัดแบบทำลายโดยใช้เครื่องทดสอบแรงอัดคอนกรีต (Compression Test)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผลดังนี้

ส่วนของผลการทดสอบการรับกำลังอัดคอนกรีตแบบไม่ทำลาย บนตัวอย่างคอนกรีตได้ทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าจำนวนครั้งของการสะท้อน (Rebound Number) ในแต่ละตำแหน่ง จากนั้นทำการอ่านค่ากำลังอัดจากค่าเฉลี่ยของการสะท้อน (Rebound Number) ในทิศทางมุมที่ได้ทดสอบ โดยอ่านค่าจากกราฟความสัมพันธ์แสดงในรูปที่ 1 สำหรับการอ่านค่าทดสอบตัวอย่างแบบรูปทรงลูกบาศก์

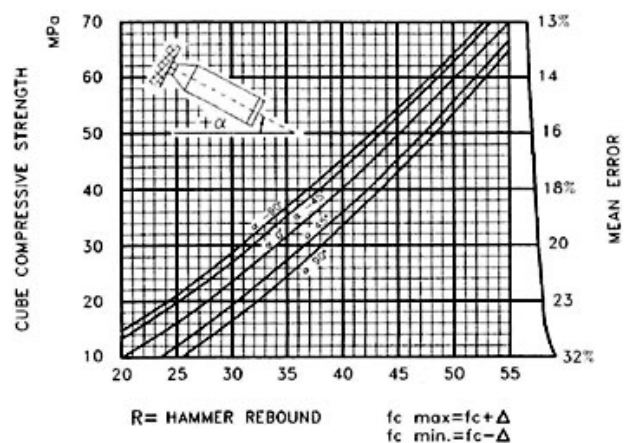
กรณีที่ต้องการแปลงค่ากำลังอัดแบบรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐานขนาด 15x15x15 ซม. ไปเป็นกำลังอัดแบบรูปทรงกระบอกมาตรฐานขนาด Ø15 x30 ซม. ให้นำค่ากำลังอัดที่อ่านได้จากรูปที่ 3.1 มาคูณด้วยค่า 0.9211 ดังนี้

$$Y = 0.9211(X) \quad (1)$$

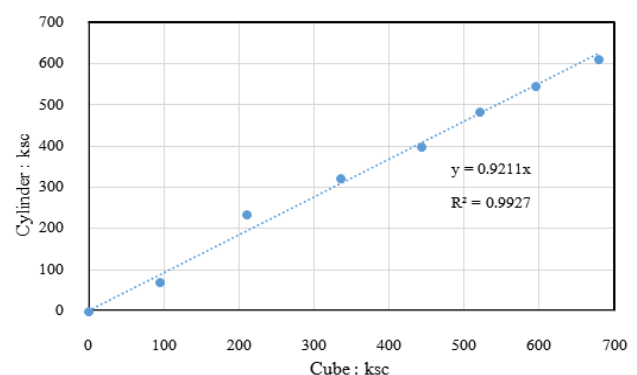
เมื่อ Y คือ ค่ากำลังอัดของคอนกรีตในก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก และ X คือ ค่ากำลังอัดของคอนกรีตในก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

สมการที่ (1) ได้มาจากเส้นแนวโน้มเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐานขนาด 15x15x15 ซม. กับค่าที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดแบบรูปทรงกระบอกมาตรฐานขนาด Ø15 x30 ซม. โดยมีกำลังอัดตั้งแต่ 100 ksc ถึง 700 ksc ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งพบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีทำลายในก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ จะมีค่าสูงกว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตในก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกเล็กน้อยประมาณร้อยละ 8 ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความละเอียดของก้อนตัวอย่าง

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลายมาแสดงผลเปรียบเทียบตามตัวแปรต่างๆ อยู่ในรูปแบบกราฟแท่ง และกราฟเส้น



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงสะท้อนกับกำลังอัดคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์



รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบทำลายในตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. กับรูปทรงกระบอกมาตรฐานขนาด Ø15 x30 ซม. ที่มีระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

4. ผลการทดสอบ

4.1 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของตัวอย่างมาตรฐาน

การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดเป้าหมายของคอนกรีตตามสัดส่วนผสมที่ออกแบบ ค่ากำลังอัดของคอนกรีตแบบทำลาย (D. Test) ที่ทดสอบตามมาตรฐาน BS EN12390-3 [8] และ ASTM C39 [9] และค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้ค้อนกระแทก ได้แสดงในตารางที่ 2 และ 3 จากการสังเกตพบว่าตัวอย่างมาตรฐานทั้งขนาด 15x15x15 ซม. และขนาด Ø15 x30 ซม. ให้ค่ากำลังอัดจากทดสอบแบบทำลาย (D. Test) ใกล้เคียงกับค่ากำลังอัดเป้าหมายที่ได้จากการออกแบบ โดยที่ตัวอย่างมาตรฐานขนาด Ø15 x30 ซม. ให้ค่ากำลังอัดจากทดสอบแบบทำลายใกล้เคียงกว่าค่ากำลังอัดเป้าหมายซึ่งเป็นไปตามที่คาดไว้

จากตารางที่ 2 และ 3 ยังสังเกตเห็นว่า ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างมาตรฐานขนาด 15x15x15 ซม. โดยใช้ค้อนกระแทกมีค่าน้อยกว่าค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบแบบทำลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่ามากขึ้นเช่น ที่ $f'_c = 442$ ksc ค่ากำลังอัดที่ได้จากค้อนกระแทกมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 25

ในทางตรงกันข้าม ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างมาตรฐานขนาด Ø15 x30 ซม. โดยใช้ค้อนกระแทกให้ค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบแบบทำลาย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer) ของมาตรฐาน ASTM C805-02 [2] ซึ่งเป็นมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาให้ค่าสอดคล้องกับขนาดตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอกตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาเช่นกัน ซึ่งเป็นข้อสรุปเบื้องต้นได้ว่าขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบโดยค้อนกระแทก

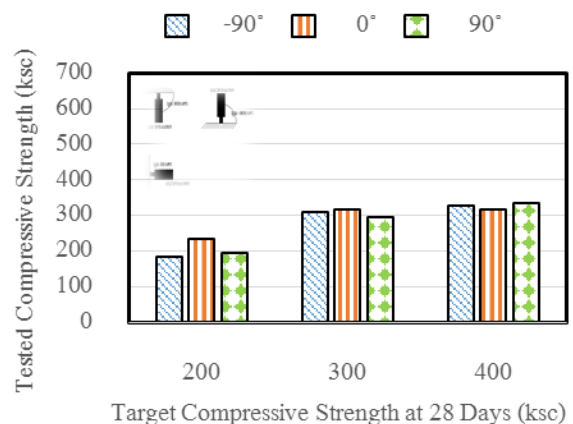
นอกจากนี้ ยังสังเกตจากรูปที่ 3 และ 4 เห็นว่า มุมทดสอบค้อนกระแทกที่แตกต่างกันให้ค่ากำลังอัดที่แตกต่างกันเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 6 โดยที่การทดสอบที่มุม -90° มุม 0° และมุม 90° จะมีแนวโน้มให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตน้อยลงและสูงขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบจริงแบบทำลายและการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยค้อนกระแทกของก้อนตัวอย่างขนาด 15x15x15 ซม

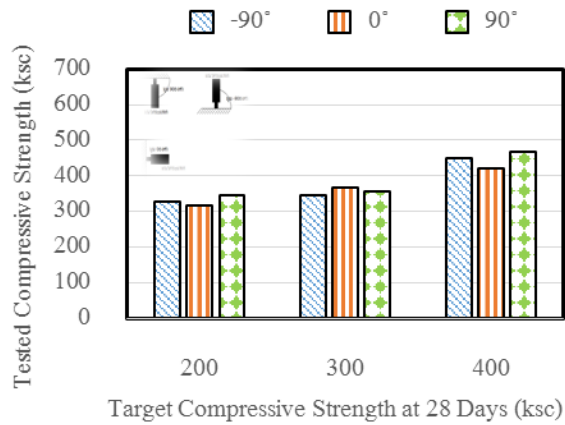
Target f'_c (ksc)	Size of Cube Specimens 15x15x15 ซม						
	D. Test (ksc)	Rebound Hammer Test (Cube Reading)			Rebound Hammer Test (Cylinder Reading)		
		-90°	0°	90°	-90°	0°	90°
200	230	183	234	193	166	216	178
300	335	311	316	295	286	291	271
400	442	326	316	336	300	291	309

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบจริงแบบทำลาย และการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยค้อนกระแทกของก้อนตัวอย่างทรงกระบอกขนาด Ø15 ซม ยาว 30 ซม

Target f'_c (ksc)	Size of Cylinder Specimens Ø15x30 ซม						
	D. Test (ksc)	Rebound Hammer Test (Cube Reading)			Rebound Hammer Test (Cylinder Reading)		
		-90°	0°	90°	-90°	0°	90°
200	235	320	316	346	300	291	319
300	321	346	367	356	319	338	328
400	398	448	420	469	413	387	432



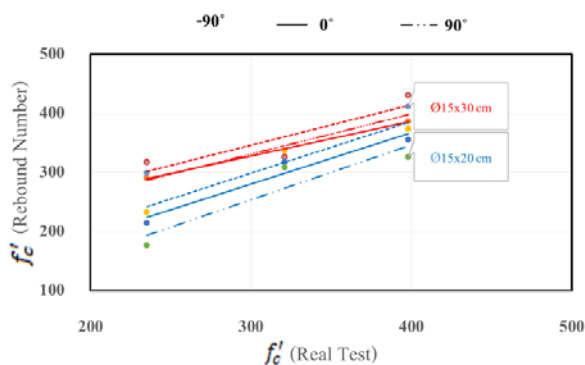
รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลายด้วยค้อนกระแทก ในก้อนตัวอย่างขนาด 15x15x15 ซม



รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลายด้วยค้อนกระแทก ในก้อนตัวอย่างขนาด Ø15x30 ซม

4.2 เปรียบเทียบขนาดตัวอย่างคอนกรีตที่ความลึกต่างกัน

การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่ากำลังอัดจริงของคอนกรีตและผลการทดสอบ Rebound Hammer ในทั้ง 3 มุมของขนาดมาตรฐาน ขนาด Ø15x30 ซม และ Ø15x20 ซม เมื่อมีระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน จาก รูปที่ 5 พบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่างขนาด Ø15x30 ซม มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตสูงกว่าขนาด Ø15x20 ซม เกิดจากการที่ก้อนตัวอย่างขนาด Ø15x20 ซม มีความลึกของก้อนตัวอย่างที่น้อยกว่าก้อนตัวอย่างขนาด Ø15x30 ซม ทำให้เกิดการสะท้อนของแรงกระแทกจากค้อนกระแทกทำให้ค่ากำลังอัดคอนกรีตที่อ่านได้มีค่าน้อยกว่า เมื่อพิจารณาความแตกต่างของค่ากำลังอัดที่ได้จากทั้งสองขนาดพบว่ามีความแตกต่างกันประมาณร้อยละ 6 ถึง 26 ซึ่งขึ้นอยู่กับกำลังอัดของคอนกรีต



รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของคอนกรีตจากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยค้อนกระแทกในก้อน

ตัวอย่างขนาด Ø15x20 ซม และก้อนตัวอย่างขนาดมาตรฐาน Ø15x30 ซม

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของคอนกรีตจากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยค้อนกระแทก ในตัวอย่างขนาด Ø15x20 ซม และขนาดมาตรฐาน Ø15x30 ซม

(1) Real f'_c [ksc]	กำลังอัดจาก Rebound Hammer		ผลต่าง	
	มุมทดสอบ 0° [ksc]		(1)&(2)	
	(2) Ø15x20 cm	(3) Ø15x30 cm	ผลต่าง (2)&(3) (%)	(%)
235	215	291	-26.1	-8.5
321	318	338	-5.9	-0.9
398	356	387	-8.0	-10.6

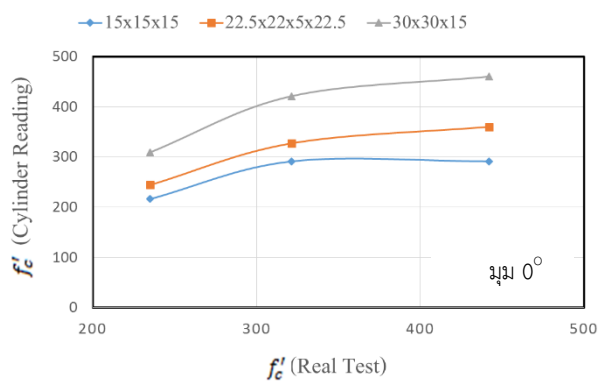
4.3 เปรียบเทียบขนาดตัวอย่างคอนกรีตที่มีความกว้างต่างกัน

การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่มีขนาดตัวอย่างคอนกรีตที่มีความกว้างต่างกัน 3 ระดับคือ ขนาด 15x15x15 ซม ขนาด 22.5x22.5x15 ซม และขนาด 30x30x15 ซม ที่มุม 0° ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 และรูปที่ 6 และที่มุม 90° ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6 และรูปที่ 7 จากตารางและรูปเหล่านี้พบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบด้วยค้อนกระแทกขนาดของก้อนตัวอย่างที่มีความกว้างที่มากกว่าจะทำให้ค่าที่สูงกว่าตัวอย่างคอนกรีตที่มีขนาดแคบกว่า นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นว่าเมื่อคอนกรีตมีกำลังต่ำ ค่าที่ได้จากการทดสอบโดยค้อนกระแทกจะให้กำลังที่ค่อนข้างสูงกว่าความเป็นจริงค่อนข้างมาก และเมื่อกำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น (400 กก./ซม²) ค่าที่ได้จากการทดสอบโดยค้อนกระแทกจะให้กำลังอัดที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบจริง

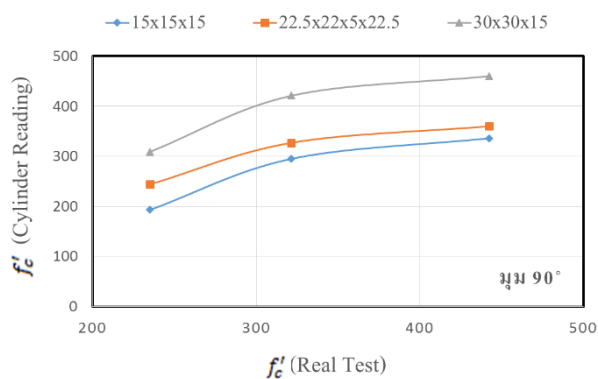
เมื่อพิจารณาค่าร้อยละความแตกต่างของกำลังอัดระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตจากการทดสอบโดยค้อนกระแทกจากตัวอย่างคอนกรีตที่มีความกว้างมาก คือขนาด 30x30x15 ซม เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังอัดของคอนกรีตจากการทดสอบจริง พบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบโดยค้อนกระแทกมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบจริงประมาณร้อยละ 1 - 18 ที่มุมทดสอบ 0 องศา และร้อยละ 5 - 31 ที่มุมทดสอบ 90 องศา

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของคอนกรีตจากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยค้อนกระแทกที่มุม 0° ในตัวอย่างขนาด 30x30x15 ซม. และขนาดมาตรฐาน 15x15x15 ซม.

กำลังอัดจาก Rebound Hammer				
(1)	มุมทดสอบ 0° [ksc]			ผลต่าง
Real	(2)	(3)	ผลต่าง	(1)&(2)
f'_c	30x30x15	15x15x15	(2)&(3)	(%)
[ksc]	cm	cm	(%)	
235	271	216	25.5	15.3
321	379	291	30.2	18.1
398	403	291	38.5	1.3



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดจริงของคอนกรีตกับค่ากำลังอัดจากการทดสอบด้วยค้อนกระแทก ในก้อนตัวอย่างขนาด 15x15x15 ซม. ก้อนตัวอย่างขนาด 22.5x22.5x15 ซม. และก้อนตัวอย่างขนาด 30x30x15 ซม. ที่มุม 0°



รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดจริงของคอนกรีตกับค่ากำลังอัดจากการทดสอบด้วยค้อนกระแทก ในก้อนตัวอย่างขนาด 15x15x15 ซม. ก้อนตัวอย่างขนาด

22.5x22.5x15 ซม. และก้อนตัวอย่างขนาด 30x30x15 ซม. ที่มุม 90°

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของคอนกรีตจากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยค้อนกระแทกที่มุม 90° ในตัวอย่างขนาด 30x30x15 ซม. และขนาดมาตรฐาน 15x15x15 ซม.

(1)	กำลังอัดจาก Rebound Hammer			ผลต่าง
	มุมทดสอบ 90° [ksc]			(1)&(2)
	(2)	(3)	ผลต่าง	(%)
	30x30x15	15x15x15	(2)&	
Real f'_c [ksc]	cm	cm	(3) (%)	
235	309	193	60.1	31.5
321	421	295	42.7	31.2
398	460	336	36.9	15.6

5. สรุปผลการวิจัย

1. ขนาดของตัวอย่างคอนกรีตซึ่งเปรียบเสมือนถึงขนาดของโครงสร้างมีผลต่อค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดแบบไม่ทำลายโดยวิธีค้อนกระแทก
2. ขนาดตัวอย่างที่บางลงจะให้กำลังอัดที่อ่านได้จากการทดสอบโดยค้อนกระแทกจะมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างคอนกรีตที่มีความหนามากกว่าเนื่องจากค่าแรงสะท้อนของตัวอย่างที่บางมีค่าน้อยกว่า
3. ขนาดตัวอย่างคอนกรีตที่มีความกว้างที่มากขึ้นส่งผลให้กำลังอัดมีค่าที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนโดยที่ความกว้างของตัวอย่างมีผลต่อกำลังอัดจากการทดสอบ เพราะว่าพื้นที่หน้าตัดในการรับแรงสะท้อนมากกว่าในตัวอย่างที่มีขนาดกว้างกว่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] จิธิ ชาติตะ, 2543, การทดสอบแบบไม่ทำลาย, พิมพ์ครั้งที่ 6, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร, หน้า 285-316
- [2] American Society for Testing and Materials, ASTM C805-02, 2002, *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, Vol. 04.02, pp.100-103

- [3] ทรงฤทธิ์ พุทธลา, วินัย สีสงคราม, นายเวคิน นามบุญลือ, 2549, *การศึกษาความแม่นยำของค้อนยิงคอนกรีต*, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [4] Chai Ko Nyim, 2006, *Reliability in Interpreting Non-Destructive Testing (NDT) Results of Concrete Structures*, Thesis of the degree of Master of Engineering (Civil Structure) Faculty of Civil Engineering University Technology Malaysia, pp. 53-74
- [5] วิบูลย์ วุฒิญาณ, สมชาย สำลีรงค์กุล และสุพจน์ ศรีนิล, 2548, “การเปรียบเทียบการประเมินกำลังคอนกรีตโดยวิธีอัลตราโซนิก, ชนิดที่แฮมเมอร์ และการทดสอบแบบทำลาย”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา, ครั้งที่ 10, 2-4 พฤษภาคม 2548, โรงแรมแอมบาสเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน, จังหวัดชลบุรี, หน้า STR 198-STR 202
- [6] ACI Committee 211, *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.*, American Concrete Institute, Farmington Hill, MI, 1991, 38 pages.
- [7] American Society for Testing and Materials, ASTM C494/494M-16, *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*, Philadelphia, 2016, 10 pages.
- [8] British Standard, BS EN 12390-3 : 2002 : *Testing hardened concrete---Part 3: Compressive strength of test specimens.*
- [9] American Society for Testing and Materials, ASTM C39 : 2004 : *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.*