

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็กเสริมและประสิทธิภาพส่วนผสมของคอนกรีตในมวล
คอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย
ด้วยวิธี คอนกรีต เทส แฮมเมอร์

ปริญญานิพนธ์
ของ
สรารุท สร้อยเรืองศรี

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
พฤษภาคม 2549
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็กเสริมและประสิทธิภาพส่วนผสมของคอนกรีตในมวล
คอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย
ด้วยวิธี คอนกรีต เทส แฮมเมอร์

บทคัดย่อ
ของ
สราวุธ สร้อยเรืองศรี

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
พฤษภาคม 2549

สรารุช สร้อยเรืองศรี. (2549). ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็กเสริมและประสิทธิภาพ ส่วนผสมของคอนกรีตในมวลคอนกรีตเสริมเหล็กกับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีคอนกรีต เทส แอมเมอร์. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม.(อดสากรรม ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ,อาจารย์โอภาส สุขหวาน.

การวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็กและระยะหุ้มเหล็กเสริม กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีคอนกรีต เทส แอมเมอร์ และเพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีคอนกรีต เทส แอมเมอร์ บนมวลคอนกรีตที่มีลักษณะการเสริมเหล็กต่างๆ ในแต่ละประสิทธิภาพส่วนผสม (Mix design)

สำหรับการทดสอบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็กและระยะหุ้มเหล็กเสริม กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีคอนกรีต เทส แอมเมอร์ ในการวิจัยนั้น ผู้วิจัยได้จัดทำมวลคอนกรีตทดสอบแบ่งตามประสิทธิภาพส่วนผสม ซึ่งมีกำลังอัดตามมวลทดสอบทรงกระบอกมาตรฐานทั้งหมด 3 ค่า คือ 180 กก./ตร.ซม. , 240 กก./ตร.ซม. และ 320 กก./ตร.ซม. โดยในแต่ละประสิทธิภาพส่วนผสมนั้นจะจัดให้มีปริมาณการเสริมเหล็กตั้งแต่ ร้อยละ 2 จนถึง ร้อยละ 8 เมื่อเทียบกับหน้าตัดคอนกรีตทดสอบ และมีการจัดวางเหล็กเสริมที่ระยะหุ้มเหล็กแตกต่างกันตั้งแต่ 2.5 ซม. , 5.0 ซม. และ 7.5 ซม. จากนั้นทำการทดสอบด้วย Concrete Test Hammer ซึ่งจะให้ค่าการทดสอบบนมาตรฐานเรียกว่า Rebound Number แล้วนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกิดขึ้น

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็กและระยะหุ้มเหล็กเสริม นั้น มีความสัมพันธ์กับค่ากำลังอัดที่ได้การทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี คอนกรีต เทส แอมเมอร์ โดยผู้วิจัยได้สรุปและสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละประสิทธิภาพส่วนผสมของคอนกรีต ดังนี้

- 1) ประสิทธิภาพส่วนผสมของคอนกรีต 180 กก./ตร.ซม.
$$R = 29.927 - 0.301C + 0.188P$$
- 2) ประสิทธิภาพส่วนผสมของคอนกรีต 240 กก./ตร.ซม.
$$R = 34.047 - 0.158C + 0.127P$$
- 3) ประสิทธิภาพส่วนผสมของคอนกรีต 320 กก./ตร.ซม.
$$R = 40.947 - 0.228C + 0.243P$$

เมื่อ R	แทน	ค่า Rebound Number
C	แทน	ระยะหุ้มเหล็ก (Covering)
P	แทน	ปริมาณการเสริมเหล็กในคอนกรีต

THE RELATIONSHIP BETWEEN QUANTITY , COVERING AND CONCRETE MIX
DESIGN OF CONCRETE REINFORCEMENT AND THE COMPRESSIVE STRENGTH
DERIVED FROM NONDESTRUCTIVE TEST USING CONCRETE TEST HAMMER

AN ABSTRACT
BY
SARAVUT SOIRAUNGSRI

Present in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Master of Education degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University
May 2006

Saravut Soiraungsri. (2006). *The Relationship between Quantity,Covering and Concrete Mix Design of Concrete Reinforcement and the Compressive Strength Derived from Nondestructive Test Using Concrete Test Hammer*. Master thesis, M.Ed.(Industrial Education). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Dr.Pairust Vongyuttakrai, Ophast Sookwhan.

The objectives of this research were to study the relationship between quantity ,covering and concrete mix design of concrete reinforcement with the compressive strength derived from nondestructive test using concrete test hammer and compared the compressive strength of concrete from concrete hammer test in each mix design.

In the experimental , researcher designed testing mass for 3 concrete mix design compressive strength as 180 ksc. , 240 ksc. and 320 ksc. For each mix design has rebar reinforcement varies of percentage at 2.0 to 8.0 and different 3 covering at 2.5 cm. , 5.0 cm. and 7.5 cm. . After the testing mass concrete completed, the researcher tested and recorded resultant of the compressive strength from concrete test hammer or “ Rebound Number ” and then analyse the data to find out correlation of each variable.

From the results of correlation analysis were found that the quantities of rebar and the covering of reinforced concrete have an effect to compressive strength reading from concrete test (Rebound Number) ,then the researcher could be setup the model of relationship between quantities of rebar and the covering of reinforced concrete with the compressive strength of nondestructive test by concrete test hammer in each testing mix design of concrete as follow ;

1) Concrete Mix Design 180 ksc.

$$R = 29.927 - 0.301C + 0.188P$$

2) Concrete Mix Design 240 ksc.

$$R = 34.047 - 0.158C + 0.127P$$

3) Concrete Mix Design 320 ksc.

$$R = 40.947 - 0.228C + 0.243P$$

When	R	=	Rebound Number
	C	=	Concrete Covering
	P	=	Percentage of Rebar

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็กเสริมและประสิทธิภาพผสมของคอนกรีตในมวล
คอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย
ด้วยวิธี คอนกรีต เทส แฮมเมอร์

ของ
สรารัฐ สร้อยเรืองศรี

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศิริ จีระเดชากุล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.2549

.....ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์
(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

.....กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์
(อาจารย์ โอภาส สุขหวาน)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันทรกุล)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์ และอาจารย์โอภาส สุขหวาน คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ จนผู้วิจัยสามารถจัดทำปริญญานิพนธ์ได้อย่างสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และอาจารย์ สุตใจ เห่งศรีไพร คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณสหัสส์ รัตนกุล รองกรรมการผู้จัดการ คุณบุญเสริม เสริมศรีสุวรรณ วิศวกรโครงสร้างอาวุโส คุณตริน นพนิราพาธ วิศวกรโครงสร้างอาวุโส คุณสุเมธ อัสวิมล วิศวกรโครงสร้าง และคุณนล อนนตะชัย วิศวกรโครงสร้าง ของบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาอาร์ เค วี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือทดสอบ คอนกรีต เทส แฮมเมอร์ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ บริษัทราชบุรีวีคอน จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างคอนกรีต พร้อมทั้งสถานที่เก็บรักษามวลคอนกรีตทดสอบและสถานที่ทำการทดสอบต่างๆ จนผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัยได้สำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสุรินทร์ สร้อยเรืองศรี และคุณแม่โกสุม สร้อยเรืองศรี ที่คอยให้กำลังใจจนผู้วิจัยสามารถจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แล้วเสร็จสมบูรณ์

สราวุธ สร้อยเรืองศรี

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย	2
ความสำคัญของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	3
เนื้อหาการวิจัย	3
ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย	3
ตัวแปรที่ศึกษา	3
นิยามศัพท์เฉพาะ	4
กรอบแนวคิดการวิจัย	5
สมมติฐานการวิจัย	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
งานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก	6
กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	13
วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต.....	15
การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer.....	19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	31
การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	31
การกำหนดเครื่องมือในการวิจัย	32
เครื่องมือทดลอง	32
เครื่องมือรวบรวมข้อมูล	33
วิธีการทดลอง	34
การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	38
	ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบมวลคอนกรีตแบบไม่ทำลาย.....	38
	ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบและการปรับแก้ค่าอ่านของ Rebound Number.....	39
	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 180 ksc.....	42
	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 240 ksc.....	43
	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 320 ksc.....	44
	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแบบทำลาย	45
5	สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	48
	ความมุ่งหมายการวิจัย	48
	ความสำคัญของการวิจัย	48
	สมมติฐานการวิจัย	48
	วิธีดำเนินการวิจัย	49
	สรุปผลการวิจัย	51
	อภิปรายผล	54
	ข้อเสนอแนะ	55
	บรรณานุกรม	56
	ภาคผนวก.....	58
	เอกสารแสดงการคำนวณปฏิกิริยาส่วนผสม (Concrete Mixed Design).....	59
	เอกสารแสดงเครื่องมือรวบรวมข้อมูลการทดสอบ.....	63
	ภาพแสดงการจัดทำและทดสอบกำลังอัดของมวลคอนกรีตทดสอบ.....	101
	Operating Instruction ของ Concrete Test Hammer.....	109
	ประวัติย่อผู้วิจัย	120

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	ค่าระยะหุ้มเหล็กเสริมต่ำสุดขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามมาตรฐาน การออกแบบต่างๆ.....	12
2	ผลของอัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อกำลังรับแรงอัด	18
3	ค่าปรับแก้ของค่าอ่านบน Concrete Hammer Test ในกรณีที่ไม่ได้ทำการทดสอบในแนวราบ..	22
4	ค่า Rebound Number (R) จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตด้วยวิธี Concrete Test Hammer ที่ปฏิกิริยาส่วนผสมกำลังอัดที่ 180 กก./ตร.ซม.....	39
5	ค่า Rebound Number (R) จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตด้วยวิธี Concrete Test Hammer ที่ปฏิกิริยาส่วนผสมกำลังอัดที่ 240 กก./ตร.ซม.....	40
6	ค่า Rebound Number (R) จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตด้วยวิธี Concrete Test Hammer ที่ปฏิกิริยาส่วนผสมกำลังอัดที่ 320 กก./ตร.ซม.....	41
7	แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรแบบเพียร์สันของชุดทดสอบปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 180 ksc.....	42
8	แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 180 ksc.	42
9	แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรแบบเพียร์สันของชุดทดสอบปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 240 ksc.....	43
10	แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 240 ksc.	44
11	แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรแบบเพียร์สันของชุดทดสอบปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 320 ksc.....	44
12	แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 320 ksc.	45
13	แสดงค่าการทดสอบมวลคอนกรีตทรงลูกบาศก์มาตรฐาน แบบทำลาย	45
14	แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของมวลคอนกรีตทดสอบ และค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ อัตราส่วนผสม	46
15	แสดงการเปรียบเทียบค่า Rebound Number ที่ได้จากการกราฟแปรผล (Rc) และ Rebound Number ที่ได้จากการทดสอบจริง (Rt).....	46
16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rebound Number กับปริมาณเหล็กเสริมและระยะหุ้มเหล็ก เสริมปฏิกิริยาส่วนผสมคอนกรีตที่ 180 ksc. (ทรงกระบอกมาตรฐาน).....	51
17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rebound Number กับปริมาณเหล็กเสริมและระยะหุ้มเหล็ก เสริมปฏิกิริยาส่วนผสมคอนกรีตที่ 240 ksc. (ทรงกระบอกมาตรฐาน).....	52
18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rebound Number กับปริมาณเหล็กเสริมและระยะหุ้มเหล็ก เสริมปฏิกิริยาส่วนผสมคอนกรีตที่ 320 ksc. (ทรงกระบอกมาตรฐาน).....	53

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องมือ Concrete Test Hammer	21
2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ได้จาก Concrete Hammer Test Type N ในรูปของตัวอย่างทรงกระบอกมาตรฐานกับค่า Rebound Number.....	23
3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดบนลูกบาศก์มาตรฐาน กับค่า Rebound Number	24
4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดบนทรงกระบอกมาตรฐาน กับค่า Rebound Number	25
5 แสดงขนาดของมวลคอนกรีตล้วนในการทดสอบกำลังรับแรงอัด.....	35
6 แสดงขนาดของมวลคอนกรีตเสริมเหล็กในการทดสอบกำลังรับแรงอัด.....	35
7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Rebound Number และ ค่ากำลังรับแรงอัด ทรงกระบอกมาตรฐาน (ksc.).....	47

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความสำเร็จนั้น นอกจากเทคนิควิธีการตลอดจนเครื่องมือเครื่องจักรที่พัฒนาขึ้นมากตามลำดับแล้ว อีกส่วนหนึ่งซึ่งนับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งก็คือวัสดุที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง ซึ่งจะทำให้งานก่อสร้างนั้นเกิดขึ้นได้ด้วยค่าใช้จ่ายที่ประหยัดและเหมาะสมที่สุด สำหรับวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งตั้งแต่อดีตจนกระทั่งถึงปัจจุบันก็คือคอนกรีต จะเห็นได้ว่างานก่อสร้างที่มีอยู่ส่วนใหญ่นั้นจะใช้คอนกรีตเป็นวัสดุหลัก ทั้งตัวอาคารหรือตลอดจนงานก่อสร้างระบบสาธารณูปโภคต่างๆ เช่น งานก่อสร้างถนน งานก่อสร้างสะพาน งานก่อสร้างสนามบิน เป็นต้น ซึ่งสาเหตุหลักที่คอนกรีตได้ถูกใช้เป็นวัสดุหลักในงานก่อสร้างนั้น เนื่องจากสามารถสร้างให้มีรูปร่างลักษณะตามที่ต้องการได้ ไม่ถูกจำกัดเหมือนวัสดุอื่นๆ อีกทั้งความสามารถในการรับแรงอัดได้สูง และมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าวัสดุที่ต้องการกำลังรับแรงได้เท่ากัน

เนื่องจากคอนกรีตที่ใช้เป็นวัสดุหลักในงานก่อสร้างนั้น มีความสามารถในการรับกำลังรับแรงอัดได้สูง แต่ในขณะเดียวกันความสามารถในการรับแรงดึงนั้นต่ำมาก ซึ่งหากใช้เพียงคอนกรีตล้วนนั้น จะไม่สามารถทำให้องค์อาคารหรือส่วนประกอบต่างๆนั้นเกิดขึ้นได้ เนื่องจากในแต่ละชิ้นส่วนนั้นจะประกอบไปด้วยแรงอัดและแรงดึงในชิ้นส่วนเดียวกัน ดังนั้นจึงเกิดการพัฒนาให้ใช้ความสามารถของวัสดุ 2 ประเภทเข้าด้วยกัน ซึ่งก็คือใช้คอนกรีตในการรับแรงอัด และจะใช้เหล็กในการรับส่วนที่เป็นแรงดึง ซึ่งรวมเรียกว่า “ คอนกรีตเสริมเหล็ก ” ซึ่งจะเป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการออกแบบและก่อสร้างงานทางด้านวิศวกรรมโครงสร้างตั้งแต่อดีตจนกระทั่งทุกวันนี้ โดยในปัจจุบันมีการก่อสร้างเกิดขึ้นเพื่อรองรับความต้องการต่างๆอย่างมากมาย ซึ่งสิ่งก่อสร้างประเภทต่างๆที่สร้างขึ้นมานั้นจะเป็นสถานที่ที่มีสาธารณชนเข้าไปใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไป ความชำรุดเสียหายในส่วนต่างๆย่อมเกิดขึ้น ทั้งจากในการเสื่อมสภาพของตัววัสดุ ซึ่งหากไม่มีการตรวจสอบและหาแนวทางแก้ไขแล้วก็จะทำให้เกิดผลเสียหายต่อทั้งชีวิตและทรัพย์สินได้ โดยวิธีการตรวจสอบวัสดุที่เป็นคอนกรีตนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมและใช้อย่างแพร่หลายนั้นจะเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive test) ซึ่งเป็นการทดสอบที่ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติวัสดุโดยที่ไม่เกิดความเสียหายหรือแตกหัก หรือหมดสภาพที่จะนำมาใช้งานต่อไปได้ มีอยู่ 3 วิธีการที่นิยมใช้กันอยู่ได้แก่

1. การตรวจสอบโดยการสังเกต (Visual inspection) เป็นการตรวจสอบด้วยตาเปล่า โดยผู้ตรวจสอบจะต้องมีความชำนาญพิเศษ มีโอกาสที่จะเกิดความไม่แน่นอนสูง
2. การตรวจสอบด้วย Portable Ultrasonic Non Destructive Integrity Tester จะเป็นการใช้หลักการในการส่งผ่านตัวกลางของคลื่นเสียงผ่านมวลทดสอบและแสดงคุณสมบัติของคอนกรีตจากความเร็วคลื่นที่ส่งผ่าน ซึ่งต้องอาศัยผู้ที่ชำนาญการตรวจสอบและแปลผลข้อมูล
3. การตรวจสอบด้วย Concrete Test Hammer

สำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีตทั้ง 3 วิธีนั้น วิธีการที่เป็นที่นิยมและได้ผลที่มีค่าความน่าเชื่อถือก็คือ การตรวจสอบด้วย Concrete Test Hammer เนื่องจากมีขั้นตอนการตรวจสอบที่ไม่ซับซ้อน และสามารถเข้าทำการตรวจสอบได้เพียงคนเดียว ซึ่งในหลักการของวิธีการทดสอบดังกล่าวนี้จะอาศัยคุณสมบัติการดูดซึมพลังงานจากค่า Stress wave ratio ซึ่งเป็นอัตราส่วนของคลื่นความเค้นอัดที่สะท้อนกลับมา

จากเนื้อคอนกรีตกับเส้นที่ส่งผ่านแท่งกดของเครื่องมือ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมพลังงานก็คือ ความหนาแน่น ความแข็ง ความเรียบของผิว รวมไปถึงโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ

ในการทดสอบด้วย Concrete Test Hammer นั้น วัตถุประสงค์หลักก็ต้องการที่จะรู้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตล่วนที่ทำการทดสอบนั้น เพื่อนำไปประกอบการคำนวณตามหลักการทางวิศวกรรม ประเมินค่าการรับน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งเป็นวัสดุประเภท Composite material แต่เนื่องจากการทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวในความเป็นจริงแล้ว จะเป็นการทดสอบบนพื้นผิวของคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งสิ้น ซึ่งในการเสริมเหล็กนั้น จะทำให้ความหนาแน่นซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการดูดซึมพลังงานที่ส่งถ่ายไปยังเครื่องมือทดสอบ Concrete Test Hammer เปลี่ยนไป (อติเทพ ตรีรัตน์ตระกูล; และ มงคล ชัยวัฒนาภา. 2539 : บทคัดย่อ) อันเป็นผลให้การอ่านค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้ จะเป็นค่ากำลังรับแรงอัดที่เกิดจากวัสดุผสม (Composite Material) แต่เนื่องจากวิธีการดังกล่าวนี้ ยังไม่มีการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับแรงอัดที่อ่านได้จาก Concrete Test Hammer กับลักษณะการเสริมเหล็กที่เปลี่ยนไปในมวลคอนกรีตที่ทำการทดสอบ จึงอาจทำให้ค่าที่ได้นั้นคลาดเคลื่อนไป

ดังนั้นในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงควรจะมีการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับลักษณะการเสริมเหล็กที่เปลี่ยนไป อันได้แก่ ความหนาแน่นของเหล็กเสริมในมวลคอนกรีต และการจัดวางเหล็กที่บริเวณใกล้กับพื้นผิวมวลคอนกรีต ที่จะทำการทดสอบ โดยผู้วิจัยจะทำการหาความสัมพันธ์ดังกล่าวที่ค่าปฏิภาคส่วนผสม (Mix design) ต่างๆ ซึ่งจะได้เป็นข้อมูลสำหรับการอ่านค่าการทดสอบที่สามารถนำไปวิเคราะห์ผลเพื่อประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างที่เป็น Composite Material ประเภทคอนกรีตเสริมเหล็กได้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะหุ้มเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer
3. เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer บนมวลคอนกรีตที่มีลักษณะการเสริมเหล็กต่างๆ ในแต่ละปฏิภาคส่วนผสม (Mix design)

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมและระยะหุ้มเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธี Concrete Test Hammer โดยข้อมูลที่ได้นั้นจะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต และความสัมพันธ์ระหว่างระยะหุ้มเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer ที่แต่ละปฏิภาคส่วนผสม (Mix design) ซึ่งจะสร้างความเชื่อมั่นในการตรวจสอบ คุณสมบัติด้านความสามารถในการรับแรงอัดในการทำการทดสอบแบบไม่ทำลาย และเป็นข้อมูลในการนำไปวิเคราะห์ความ

มันคงแข็งแรงของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งในงานวิศวกรรมโครงสร้างขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ที่มีลักษณะการเสริมเหล็กที่แตกต่างกันไป

ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมและระยะหุ้มเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธี Concrete Test Hammer นั้นจะเป็นการศึกษาโดยการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธี Concrete Test Hammer Type R บนมวลคอนกรีตตัวอย่างที่จัดทำขึ้นตามมาตรฐาน BS 1881 : PART 3 “ Method of making and curing test specimens ” แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณและลักษณะการจัดวางเหล็กเสริมในมวลตัวอย่างทดสอบนั้น โดยที่ความสัมพันธ์ที่ต้องการศึกษามีดังนี้

1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเสริมเหล็กที่เปลี่ยนไปตั้งแต่ร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 8 เมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดคอนกรีตทดสอบ กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธี Concrete Test Hammer ที่ค่ากำลังอัดตาม Mix design ที่ 180, 240 และ 320 ksc.

1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะหุ้มเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก (Covering) ที่เปลี่ยนไปตั้งแต่ 2.5, 5.0 และ 7.5 เซนติเมตร กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธี Concrete Test Hammer ที่ค่ากำลังอัดตาม Mix design ที่ 180, 240 และ 320 ksc.

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ชิ้นงานทดสอบเป็น มวลคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีลักษณะการเสริมเหล็กที่แตกต่างกัน โดยทำการทดสอบที่ 3 ค่าของปฏิภาคส่วนผสมเพื่อรับกำลังอัดของมวลคอนกรีต ดังต่อไปนี้

- ปฏิภาคส่วนผสมที่ 1 เพื่อรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)
- ปฏิภาคส่วนผสมที่ 2 เพื่อรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)
- ปฏิภาคส่วนผสมที่ 3 เพื่อรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 320 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)

โดยแต่ละมวลคอนกรีตทดสอบ จะทำการเสริมเหล็กที่มีลักษณะแตกต่างกันไป โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณการเสริมเหล็กตั้งแต่ร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 8 โดยเทียบจากพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับพื้นที่หน้าตัดคอนกรีตทดสอบ นอกจากนี้ยังทำการเปลี่ยนแปลงระยะหุ้มเหล็กเสริมตั้งแต่ 2.5, 5.0 และ 7.5 เซนติเมตร ในแต่ละปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตที่ทำการทดสอบ

3. ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น คือ องค์ประกอบของคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยแบ่งออกเป็น

- 3.1 ปริมาณการเสริมเหล็กในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก
- 3.2 ระยะหุ้มเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก
- 3.3 ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตที่แตกต่างกัน

ตัวแปรตาม คือ การรับแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer

นิยามศัพท์เฉพาะ

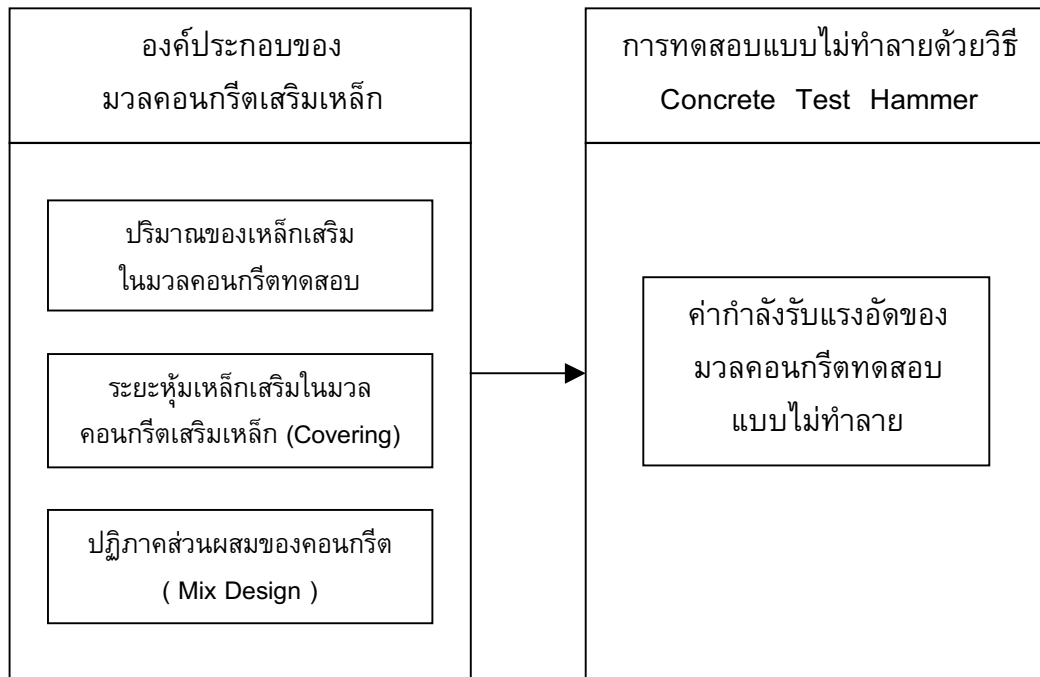
ปริมาณการเสริมเหล็กในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก หมายถึง ปริมาณการเสริมเหล็กที่เปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่ร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 8 โดยคิดจากปริมาณเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต่อพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของมวลตัวอย่างทดสอบ ในการทดสอบนี้จะแบ่งเป็น 4 ค่าการทดสอบคือร้อยละ 2,4,6 และ 8 ตามลำดับ

ระยะหุ้มเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือ Covering หมายถึง การจัดวางเหล็กเสริมบริเวณผิวมวลคอนกรีตทดสอบ โดยจะเป็นค่าระยะระหว่างผิวของมวลคอนกรีตทดสอบจนถึงริมของเนื้อเหล็กเสริม ซึ่งในการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 ค่าการทดสอบคือ 2.5, 5.0 และ 7.5 เซนติเมตร

ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตที่แตกต่างกัน หรือ Mix Design หมายถึง อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปริมาณของวัสดุแต่ละอย่างของคอนกรีตซึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์ ทราาย หิน น้ำ และสารผสมเพิ่มอื่นๆ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีความชื้นเหลวพอเหมาะและสะดวกในการทำงาน (Workability) และมีกำลังรับแรงตามความต้องการในการออกแบบทางด้านวิศวกรรม (Strength) โดยในการวิจัยนี้จะทำการทดสอบบนมวลคอนกรีตที่มีค่ากำลังรับแรงอัดตามปฏิภาคส่วนผสม 3 ค่า คือ 180 , 240 และ 320 ksc.

ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer หมายถึง ค่า Stress Ratio ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนของคลื่นความเค้นอัดที่สะท้อนกลับจากเนื้อคอนกรีต กับคลื่นที่ส่งผ่านแท่งกดของ Concrete Test Hammer ในระหว่างการกระแทก โดยจะอ่านค่าที่ได้ตามค่าบรรทัดที่ปรากฏบนตัวเครื่องมือ Concrete Test Hammer ซึ่งเรียกว่า Rebound Number (R) ในการทดสอบจะทำการยิงมวลตัวอย่างทดสอบอย่างน้อย 10 จุด แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาแปรเป็นค่ากำลังรับแรงอัดจากกราฟของ Concrete Test Hammer ซึ่งมีหน่วยกำลังรับแรงเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc) โดยเทียบกับค่ากำลังรับแรงของมวลคอนกรีตทดสอบมาตรฐานทรงกระบอก มาตรฐาน ASTM C192

กรอบแนวคิดการวิจัย



สมมติฐานการวิจัย

ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีคอนกรีต เทส แฮมเมอร์ มีความสัมพันธ์กับปริมาณเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็กเสริมและปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็กเสริมและประสิทธิภาพผสมของคอนกรีตในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีคอนกรีต เทส แฮมเมอร์ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. งานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต
3. วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต
4. การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลายด้วยวิธีคอนกรีต เทส แฮมเมอร์
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.1 งานคอนกรีต

งานคอนกรีต หมายถึงก่อสร้างที่ใช้วัสดุทางวิศวกรรมโครงสร้างเป็นคอนกรีต ซึ่งเป็นวัสดุที่ประกอบไปด้วยส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หิน ทราย และน้ำ ผสมรวมกันตามอัตราส่วนที่ได้คำนวณไว้เพื่อให้รับกำลังรับแรงอัดได้ตามความต้องการ เมื่อได้รับการบ่มตามวิธีการมาตรฐาน ซึ่งนอกจากส่วนผสมหลักดังกล่าวแล้ว อาจสารเคมีที่ใช้ผสมเพิ่มเพื่อให้ได้คุณสมบัติอื่นๆ ตามความต้องการ สำหรับส่วนผสมหลักต่างๆของคอนกรีตนั้น มีรายละเอียดต่างๆดังต่อไปนี้

1.1.1 ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมของออกไซด์ของธาตุซิลิเนียม ซิลิกอน และ อลูมิเนียมจนรวมตัวกันสุกพอดี (วินิต : 2537) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้าง จะต้องมีความสมบัติตรงตามมาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งจะแบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภทคือ

ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา สำหรับใช้การทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายขาว ทรายพญานาคสีเขี้ยว และทรายเพชรเม็ดเดียว

ประเภทสอง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ทรายพญานาคเจ็ดเศียร

ประเภทสาม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัว ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะให้กำลังสูงในระยะแรก มีเนื้อผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทรายเอราวัณ ทรายพญานาคสีแดง และทรายสามเพชร

ประเภทสี่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด ซึ่งปูนซีเมนต์ประเภทนี้ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตหนา เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆในขณะที่เกิดการแข็งตัว

ประเภทห้ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ต้านทานซัลเฟตได้สูง มีระยะเวลาการการแข็งตัวช้ากว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง

1.1.2 วัสดุผสม ในงานคอนกรีตนั้นได้แก่ หินย่อย กรวด และทราย วัสดุผสมนี้จะต้องสะอาด แข็งแกร่ง ทนทาน ไม่มีการขยายตัวมากหรือมีสารจำพวกที่ก่อให้เกิดความเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีต มีสัดส่วนขนาดของส่วนประกอบต่างๆตามพิภคที่กำหนด โดยขนาดใหญ่ที่สุดของวัสดุผสมจะต้องไม่ใหญ่กว่า 1/5 ของด้านในที่แคบที่สุดของแบบหล่อ หรือต้องไม่ใหญ่กว่า 3/4 ของระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมและละเส้นหรือแต่ละมัด

1.1.3 น้ำ จะต้องมีความสะอาด ปราศจากกรด ด่าง น้ำมัน และสารอินทรีย์อื่นๆในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อเหล็กเสริม โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตนั้นจะขึ้นอยู่กับส่วนผสมและคุณสมบัติของหิน ทรายและซีเมนต์ โดยมากแล้วมักจะกำหนดเป็นอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก

1.1.4 สารเคมีผสมเพิ่ม หมายถึง สารอื่นๆนอกเหนือจากซีเมนต์ วัสดุผสมและน้ำที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีต ไม่ว่าจะเป็นก่อนหรือขณะกำลังทำการผสม เพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์ตามที่ต้องการ เช่น ทำให้ความสามารถในการเทได้สูงขึ้น เร่งหรือหน่วงการก่อตัว การเพิ่มการป้องกันการซึมผ่านของน้ำ เป็นต้น

ในเนื้อคอนกรีตนั้น จะสามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste) และวัสดุผสม (Aggregates) ในส่วนของซีเมนต์เพสต์นั้น ประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ และฟองอากาศ โดยเป็นส่วนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์ และน้ำ ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน โดยแทรกตามช่องว่างของหิน ทราย และเคลือบหรือหุ้มเม็ดทรายและหินทั้งหมดให้เกาะรวมตัวกันเป็นก้อน โดยคุณภาพของซีเมนต์เพสต์นั้น จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (Water – Cement ratio) ที่ใช้ในส่วนผสม และการทำปฏิกิริยาทางเคมี ระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และช้าลงตามลำดับ ในส่วนที่สองนั้น จะเป็นวัสดุผสม ซึ่งแบ่งได้เป็นสองพวก คือ วัสดุผสมละเอียด (Fine Aggregate) และวัสดุผสมหยาบ (Coarse Aggregates) โดยวัสดุละเอียดนั้น จะหมายถึง วัสดุที่มีขนาดเล็ก สามารถผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ ซึ่งได้แก่ ทราย ส่วนวัสดุผสมหยาบ หมายถึงวัสดุผสมที่มีขนาดใหญ่ ไม่สามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ ได้แก่ หินย่อยและกรวด

ในงานก่อสร้างนั้น การใช้งานคอนกรีตจะต้องทำการผสมส่วนผสมต่างๆ ข้างต้น ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งมาจากการคำนวณเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณลักษณะตามต้องการ ทั้งในขณะทำการก่อสร้าง และเมื่อก่อตัวและรับน้ำหนักบรรทุกแล้ว โดยการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปริมาณของวัสดุแต่ละอย่างนั้น เรียกว่าการหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต (Mix Design) ซึ่งปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงเมื่อจะทำการหาปฏิภาคส่วนผสมนั้น ได้แก่ ความชื้นเหลือที่เหมาะสมกับลักษณะงาน (Workability) กำลังรับแรงและความทนทานตามความต้องการ (Strength & Durability) และในราคาที่ประหยัด (Economic)

การหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตนั้น สามารถทำได้โดยใช้วิธีทดลองผสม หรือวิธีของสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมาก โดยในการผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนที่ได้จากการคำนวณนั้นอาจจะไม่ได้ผลตามความต้องการทั้งหมด เนื่องจากวัสดุผสมที่ใช้เป็นวัสดุธรรมชาติ ดังนั้นคุณสมบัติต่างๆอาจแปรเปลี่ยนได้มาก เพื่อให้ได้สัดส่วนการผสมที่ดีที่สุดนั้น นอกจากการคำนวณเพียงอย่างเดียวแล้ว ยังคงจะต้องทำการทดลองผสมจริง และทำการปรับส่วนผสมต่างๆ เพื่อให้ได้ผลตามความพึงพอใจสำหรับปัจจัยในการพิจารณาการหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตนั้น ในงานคอนกรีตเทคโนโลยี (วินิต ช่อวิเชียร. 2539 : 83-90) ได้กล่าวไว้ดังต่อไปนี้

1. กำลังต้านทาน หรือกำลังรับแรง (Strength) จะเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีตเมื่อก่อตัว หรือแข็งตัวแล้ว เนื่องจากคุณสมบัติสำคัญของคอนกรีตก็คือมีความสามารถในการรับแรงอัดได้สูง ส่วนคุณสมบัติด้านอื่นซึ่งได้แก่ กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงดัด และกำลังรับแรงเฉือนนั้น เป็นคุณสมบัติรองลงมา แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติต่างๆ เหล่านั้น ก็จะแปรผันตามกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ดังนั้นในการออกแบบ วิศวกรผู้ออกแบบจึงมักกำหนดค่ากำลังต้านทานกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลาหนึ่งเป็นหลัก โดยส่วนใหญ่แล้วจะกำหนดกำลังรับแรงของคอนกรีตที่มีอายุ 28 วันเป็นหลัก ซึ่งหมายถึง เมื่อทำการผสมคอนกรีตตามปฏิภาคส่วนผสมที่คำนวณไว้ครบ 28 วัน คอนกรีตจะต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้

2. อัตราส่วนระหว่างน้ำ ต่อปูนซีเมนต์ (Water – cement ratio) จะเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกำลังต้านทานแรงอัดและความทนทานของคอนกรีตเป็นอย่างมาก ซึ่งถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์มีค่ามาก กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตก็จะต่ำ ดังนั้นในการผสมคอนกรีต ถ้าสามารถรักษาอัตราส่วนนี้ให้คงที่ได้ แม้สัดส่วนของวัสดุอื่นจะเปลี่ยนแปลงไปบ้าง กำลังของคอนกรีตจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (วินิต ช่อวีเชียร. 2539 : 83)

3. ความทนทาน (Durability) จะต้องให้ความสำคัญถึงมากเมื่อคอนกรีตอยู่ในสภาวะที่เปิดเผยรับแรง เช่น โครงสร้างในทะเล ความทนทานของคอนกรีตจะลดลง โดยในกรณีนี้จะต้องใช้ปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษที่เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตจากน้ำทะเลได้

1. ความสามารถเทได้ (Workability) คอนกรีตที่ทำการผสมใหม่นั้น ควรจะมีความชื้นเหลวพอเหมาะที่จะนำไปเทในแบบหล่อได้สะดวก และสามารถทำให้แน่นตัวได้ โดยใช้พลังงานน้อยที่สุด แต่หากว่าคอนกรีตที่ทำการผสมนั้น มีความเหลวมากจะต้องให้ความสำคัญของการเกิดการแยกตัว ในขณะที่ลำเลียง และในขณะที่เทคอนกรีต นอกจากนั้นแล้วอาจทำให้คอนกรีตดังกล่าวมีกำลังรับน้ำหนักได้ลดลง ซึ่งในการกำหนดค่าความสามารถในการเทได้นั้น ขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัดที่จะเทคอนกรีตและระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม โดยค่าดังกล่าวจะใช้ค่าความยุบตัวของคอนกรีตเป็นหลัก

6. ขนาดโตสุดของหิน ขนาดของหินที่ใช้ในการผสมคอนกรีต ไม่ควรจะโตกว่า 3/4 ส่วนของระยะห่างของช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม และต้องไม่เกินกว่า 1/5 เท่าของด้านแคบของส่วนโครงสร้างที่จะทำการเท

7. ส่วนขนาดละเอียดและลักษณะรูปร่างของวัสดุผสม การกระจายของขนาดละเอียดควรอยู่ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐานเพื่อให้ได้คอนกรีตที่เหลวมีความสามารถเทได้ โดยใช้ปริมาณน้ำผสมน้อย และได้กำลังต้านทานและความทนทานตามต้องการ ในส่วนของลักษณะรูปร่างและคุณสมบัติของวัสดุผสมนั้นจะต้องพิจารณาถึง ลักษณะผิว รูปร่าง ความละเอียด ความชื้น ความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก ตลอดจนสิ่งเจือปนที่ติดมากับวัสดุผสม เนื่องจากจะมีผลโดยตรงกับอัตราส่วนระหว่างวัสดุผสมต่อซีเมนต์

8. ปริมาณของวัสดุผสมในคอนกรีต มักจะเลือกใช้ปริมาณของวัสดุผสมให้มาก แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถทำงานได้ โดยอัตราส่วนระหว่างทรายต่อหิน เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก โดยส่วนผสมที่มีทรายมากเกินไป จะช่วยให้การทำงานง่าย แต่จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้ง่าย ไม่ทนทานและไม่ประหยัด ส่วนผสมที่มีหินมากเกินไป จะทำให้คอนกรีตเป็นโพรงได้ง่าย เนื้อไม่แน่น และทำงานยาก โดยทั่วไปแล้ว อัตราส่วนระหว่างทรายต่อหินควรอยู่ระหว่างร้อยละ 33 ถึง 45 โดยน้ำหนัก

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น เกี่ยวกับการคำนวณเพื่อหาปริมาณส่วนผสมของคอนกรีต มีวิธีการที่นิยมด้วยกัน 2 วิธี คือ การหาปริมาณส่วนผสมด้วยวิธีทดลองผสม และการหาปริมาณส่วนผสมด้วยวิธีของสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI) ซึ่งในแต่ละวิธีการนั้น ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การหาปริมาณส่วนผสมด้วยวิธีทดลองผสม (Trial Mix Method) เป็นการหาอัตราส่วนผสมโดยตรง เพื่อรักษาอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดค่ากำลังรับน้ำหนักของคอนกรีต ซึ่งสามารถกระทำได้โดยทำการเลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ต้องการเพื่อให้ได้กำลังต้านทาน สามารถหาได้จากตารางที่ได้มีผู้ทดลองกระทำไว้เกี่ยวกับงานคอนกรีตเทคโนโลยี จากนั้นทำการเลือกชนิดและขนาดโถสุดของหินและค่าการยุบตัวที่เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท โดยค่าต่างๆที่เลือกใช้นี้จะถูกกำหนดเป็นค่าคงที่ ทำการเทปูนซีเมนต์ที่ชั่งไว้บนถาดผสมและเติมปริมาณน้ำที่เตรียมไว้แล้วทำการผสมด้วยมือ จะได้เป็นซีเมนต์เพสต์ ที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ตามความต้องการ ทำการชั่งหินและทรายซึ่งอยู่ในสภาวะอิ่มตัวและผิวแห้งจำนวนหนึ่ง เติมหินและทรายลงในซีเมนต์เพสต์ ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันจากนั้นจึงทำการวัดค่าการยุบตัว ถ้าหากว่าค่าการยุบตัวมากเกินไปให้ทำการเติมหินและทรายลงไปอีก แต่หากว่าค่าการยุบตัวมากเกินไป ให้เติมซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิมเพิ่มขึ้น เมื่อได้ความชื้นเหลวตามต้องการแล้วจึงทำการวัดหาปริมาณของหินและทรายที่ใช้จริง และนำไปสู่การหาอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์ต่อทรายต่อหินได้ต่อไป หลังจากที่ได้สัดส่วนผสมที่ให้ความชื้นเหลวตามต้องการแล้ว ให้ทำการผสมอีกหลายครั้ง โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณปูนซีเมนต์หรืออัตราส่วนของทรายต่อหิน โดยยังคงรักษาอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์และความชื้นเหลวที่ต้องการไว้ ทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนซีเมนต์กับอัตราส่วนของทรายต่อหิน โดยสัดส่วนผสมที่ดีที่สุดคือส่วนผสมที่ใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์น้อยที่สุด

2. การหาปริมาณส่วนผสมด้วยวิธีของสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI) จะเป็นวิธีการที่ได้ผลค่อนข้างแน่นอน ซึ่งจะใช้ตารางสำเร็จรูปที่ได้มาจากการทดลองแล้ว แต่การใช้วิธีดังกล่าวนี้จะต้องทราบคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีตก่อน เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก โมดูลัสความละเอียดและเปอร์เซ็นต์การดูดซึม เป็นต้น ในส่วนของขั้นตอนต่างๆนั้นมีดังต่อไปนี้

2.1 เลือกค่าความยุบตัวที่เหมาะสมกับประเภทของงาน ค่าความยุบตัวต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพื่อให้ทำงานได้สะดวกและได้งานที่มีคุณภาพ ในกรณีที่มิได้กำหนดค่าความยุบตัวมาให้ หรือไม่ มีข้อมูลในอดีต ให้เลือกใช้จากตารางที่ 1.1 ซึ่งกำหนดค่าความยุบตัวที่เหมาะสมตามแต่ละประเภทของงาน

2.2 เลือกขนาดโถสุดของหิน ซึ่งขนาดโถสุดของหินไม่ควรเกินกว่า $1/5$ ของส่วนแฉกที่สุทธของแบบ หรือ $1/3$ ของความหนาของแผ่นพื้น หรือ $3/4$ ของระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม ซึ่งในงานก่อสร้างประเภทต่างๆนั้น สามารถเลือกได้จากตารางที่ 1.2

2.3 ประเมินปริมาณน้ำที่ใช้ผสมและปริมาณฟองอากาศที่จะเกิดขึ้น ซึ่งในตารางที่ 1.3 จะให้ปริมาณน้ำที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต เพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวตามที่ต้องการ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดโถสุดของหิน รูปร่างและส่วนขนาดคละของวัสดุผสม โดยในตารางดังกล่าวยังให้ปริมาณฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในส่วนผสมสำหรับคอนกรีตที่มีและไม่มีสารที่ทำให้เกิดการกระจายกักฟองอากาศ

2.4 เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ ซึ่งจะขึ้นกับสภาพของคอนกรีตที่จะนำไปใช้งาน และกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องการ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีต ให้เลือกใช้ค่าจากตารางที่ 1.4 และ 1.5 ซึ่งให้เลือกใช้ค่าที่ต่ำที่สุดจากทั้งสองตารางดังกล่าว

2.5 คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้ โดยเมื่อทราบปริมาณน้ำที่ใช้ในหนึ่งหน่วย ปริมาตรของคอนกรีตและอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์แล้ว จะสามารถคำนวณหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้อง ใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีตได้

2.6 คำนวณปริมาณวัสดุผสมหยาบ จากตารางที่ 1.6 จะแสดงปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ ในสภาพแห้งและอัดแน่นในส่วนผสม (Bulk Volume of Dry-rodded Coarse Aggregate) ต่อคอนกรีต หนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายและขนาดโตสุดของหินที่ใช้

2.7 คำนวณปริมาณวัสดุผสมละเอียด จากค่าต่างๆที่ได้ จะสามารถคำนวณปริมาณวัสดุ ผสมละเอียดได้ 2 แบบ ดังนี้

2.7.1 ประมาณจากหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสด (Weight Method)

2.7.2 ประมาณจากปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุ (Absolute Volume Method)

2.8 ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นของวัสดุผสม ซึ่งในการนำวัสดุผสมมาใช้งานในความ จริงนั้น จะมีความชื้นสูงกว่าในสภาวะอิมตัวผิวแห้ง ดังนั้นจึงต้องทำการปรับแก้ส่วนผสมให้เข้ากับสภาพ จริง โดยเพิ่มน้ำหนักของวัสดุผสมขึ้นเท่ากับน้ำหนักของน้ำที่ติดมาและลดปริมาณน้ำในส่วนผสมออกใน จำนวนเท่ากัน แต่ในกรณีที่วัสดุผสมมีความชื้นต่ำกว่าสภาวะอิมตัวผิวแห้ง จะต้องทำการปรับแก้ส่วนผสม ในทิศทางตรงข้าม

2.9 การปรับแก้ส่วนผสมด้วยการทดลองผสม เนื่องจากส่วนผสมที่คำนวณได้นั้น เป็นการ คำนวณโดยประมาณ ทั้งนี้จะต้องทำการตรวจสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้น แล้วจึงปรับส่วนผสมอีกครั้ง

1.2 งานคอนกรีตเสริมเหล็ก

งานคอนกรีตเสริมเหล็ก หมายถึง งานวิศวกรรมโครงสร้างในงานก่อสร้าง ที่มีการใช้เหล็ก เสริมในการออกแบบรับแรงร่วมกับคอนกรีต เนื่องจากการใช้คอนกรีตล้วนเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ไม่ สามารถที่จะกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะในแต่ละชั้นส่วนที่รับแรงนั้น โดยปกติแล้วจะมีทั้งแรงอัด แรงดึง แรงดัด และแรงเฉือน ซึ่งคุณสมบัติของคอนกรีตล้วนนั้น มีความสามารถในการรับแรงอัดได้สูง แต่ การรับแรงทางด้านอื่นๆจะอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นเพื่อเสริมจุดด้อยเหล่านั้น โดยการนำ คอนกรีตและเหล็กเสริมมาหลอมรวมกันตามลักษณะการรับแรงต่างๆ เรียกว่า “ คอนกรีตเสริมเหล็ก ” ซึ่งใน การนำเหล็กเสริมมาใช้งานร่วมกับคอนกรีตนั้น เนื่องจากอาศัยแนวคิดที่ว่าเหล็กเสริมเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติต้านทานแรงอัดและแรงดึงได้ดี แต่ในการใช้เพียงเหล็กเสริมในงานโครงสร้างเพียงอย่างเดียว นั้น จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายอย่างมาก สำหรับงานโครงสร้างทั่วไปที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นเป็นงานคอนกรีตเสริมเหล็กถึง ประมาณร้อยละ 80 ซึ่งมีทั้งการหล่อในที่ และการสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อติดตั้งภายหลัง

ในการเสริมเหล็กนั้น จะต้องกระทำให้ถูกต้องตามตำแหน่ง ตามพฤติกรรมการรับแรงของชิ้นส่วนโครง สร้างนั้นๆ เช่น ในชิ้นส่วนคานที่รับแรงดัดตามปกติ ด้านบนของชิ้นส่วนจะทำหน้าที่รับแรงอัด ส่วนด้านล่าง จะทำหน้าที่รับแรงดึง ดังนั้นการเสริมเหล็กจึงต้องวิเคราะห์แรงดึงที่เกิดขึ้นในหน้าตัด เพื่อนำไปคำนวณหา พื้นที่การเสริมเหล็กต่อไป นอกจากนี้แล้ว ในการจัดวางเหล็กเสริมนั้นจะมีการกำหนดมาตรฐานของของอบริเวณปลายเหล็กเสริมแต่ละเส้น เพื่อเสริมแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมให้ดียิ่งขึ้น โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท) ได้กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับ “ ของอ ” ไว้ดังนี้

1.2.1 ส่วนที่ถือเป็นครึ่งวงกลมโดยมีส่วนที่ยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 4 เท่าของขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กนั้น แต่ระยะนี้ต้องไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร

1.2.2 ส่วนที่เป็นมุมฉาก โดยมีส่วนยื่นออกไปถึงปลายสุดของเหล็กอีกอย่างน้อย 12 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กนั้น

1.2.3 สำหรับเหล็กผูกตั้งและเหล็กปลอก ให้งอ 90 องศา หรือ 135 องศา โดยมีส่วนที่ยื่นถึงปลายข้ออีกอย่างน้อย 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก แต่ต้องไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร และต้องมีรัศมีวัดด้านในของเหล็กไม่สั้นกว่าหนึ่งเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น

1.2.4 ของมาตรฐานสามารถต้านทานแรงดึงในเหล็กได้ถึง 700 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ในการจัดวางเหล็กเสริมนั้น ได้มีการกำหนดมาตรฐานของการจัดวางระยะเหล็กเสริมของงานโครงสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- คานคอนกรีตเสริมเหล็ก
 - ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม ให้พิจารณาจากค่าที่มากที่สุดจากกรณีต่างๆดังนี้
 - ต้องไม่น้อยกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม
 - ต้องไม่น้อยกว่า 1.34 เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ
 - ต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร
 - ระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริม (Covering) ให้พิจารณาจากค่าที่มากที่สุดจากกรณีต่างๆดังนี้
 - เมื่ออยู่ในที่ร่ม ไม่สัมผัสดินแดดและน้ำโดยตรง ต้องมี Covering ไม่น้อยกว่า 2 เซนติเมตร
 - เมื่อต้องสัมผัสดินแดดและน้ำโดยตรง ต้องมี Covering ไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร หากใช้เหล็กเสริมขนาดเล็กกว่า 15 มิลลิเมตร และไม่น้อยกว่า 4 เซนติเมตร หากใช้เหล็กเสริมขนาดใหญ่กว่า 15 มิลลิเมตร

- เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
 - ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม ให้พิจารณาจากค่าที่มากที่สุดจากกรณีต่างๆดังนี้
 - ต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริมยื่น
 - ต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ
 - ต้องไม่น้อยกว่า 4 เซนติเมตร
 - ระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริม (Covering) ให้พิจารณาจากค่าที่มากที่สุดจากกรณีต่างๆดังนี้
 - เมื่ออยู่ในที่ร่ม ไม่สัมผัสดินแดดและน้ำโดยตรง ต้องมี Covering ไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร หรือ 1.5 เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ
 - เมื่อต้องสัมผัสดินแดดและน้ำโดยตรง ต้องมี Covering ไม่น้อยกว่า 4 เซนติเมตร

โดยสรุปแล้วในการพิจารณาจัดวางเหล็กเสริมให้มีระยะหุ้มของคอนกรีต (Covering) แตกต่างกัน ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่งานคอนกรีตนั้นๆจะต้องเผชิญอยู่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสามารถสรุปได้เป็นตารางดังนี้

ตาราง 1 ค่าระยะหุ้มเหล็กเสริมต่ำสุดขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามมาตรฐานการออกแบบต่างๆ

ลำดับ	องค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete Structure)	ระยะหุ้มเหล็กเสริมต่ำสุด (Minimum covering , cm.)		
		มาตรฐาน	ข้อบัญญัติ	มาตรฐาน
		ว.ส.ท.	กทม.	AASHTO
1	ฐานรากและองค์อาคารสำคัญที่สัมผัสดินโดยตรง	7.5	6.0	7.5
2	องค์อาคารที่สัมผัสดินหรือถูกแดดฝน			
	- เหล็กเสริมหลัก	5.0	4.0	5.1
	- เหล็กเสริมรอง	4.0	3.0	3.8
3	องค์อาคารที่ไม่สัมผัสดิน หรือถูกแดดฝน			
	- เหล็กเสริมหลัก	2.0	ไม่ระบุ	3.8
	- เหล็กเสริมรอง	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	2.5
	- แผ่นพื้นและผนัง	2.0	1.5	ไม่ระบุ
	- คาน	3.0	3.0	ไม่ระบุ
4	เสา ที่มีเหล็กปลอกเกลียว หรือ ปลอกเดี่ยว	3.5 **	3.0	ไม่ระบุ
5	แผ่นพื้นสะพานคอนกรีต			
	- เหล็กเสริมบน	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	5.0
	- เหล็กเสริมล่าง	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	2.5

หมายเหตุ ** หรือไม่น้อยกว่า $1\frac{1}{2}$ เท่าของขนาดมวลรวมหยาบใหญ่ที่สุด

ที่มา : บริษัท เยนเนอรัล เอนจิเนียริง จำกัด ,คู่มือวิศวกรโยธา: 164.

ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง ของชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น ในปัจจุบันมีทฤษฎีการออกแบบ 2 วิธีคือ

1. การออกแบบด้วยทฤษฎีอีลาสติกหรือหน่วยแรงใช้งาน(Working Stress Design : WSD) จะเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเป็นการออกแบบให้รูปตัดของชิ้นส่วนคอนกรีต สามารถต้านทานแรงต่างๆที่เกิดขึ้นได้ โดยหน่วยแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนต่างๆเหล่านั้น ต้องไม่เกินกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้

(Allowable stress) ซึ่งได้มาจากการกำหนดส่วนลดความต้านทานแรงประลัยของวัสดุนั้นๆ โดยใช้หน่วยแรงในช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่นในส่วนที่เป็นเส้นตรง ของเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการยืดหดตัวของวัสดุนั้น กำหนดขึ้นโดยเทศบัญญัติ พ.ร.บ.การควบคุมอาคาร หรือมาตรฐานทางวิชาชีพวิศวกรรม

2. การออกแบบด้วยทฤษฎีกำลังประลัย (Ultimate Strength Design : USD) เป็นการออกแบบให้รูปตัดสามารถต้านทานต่อแรงประลัยใช้งานต่างๆ ที่คำนวณหาค่ามาได้จากการวิเคราะห์โดยทฤษฎีอีลาสติกให้รับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย ที่ได้จากผลคูณของน้ำหนักบรรทุกใช้งานตามประเภทของอาคารกับส่วนปลอดภัย ตามชนิดของน้ำหนักบรรทุกนั้น

ทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมานั้น การที่วิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จะต้องทำการกำหนดหรือทราบค่าของวัสดุหลักที่นำมาประกอบประกอบการต้านทานแรงต่างๆที่เกิดขึ้น ซึ่งในส่วนของคอนกรีตนั้นจะต้องทราบค่ากำลังรับแรงอัดประลัย จากการทดสอบตัวอย่างรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่ 28 วัน ($f'c$) ส่วนเหล็กเสริมนั้นก็ต้องทราบค่ากำลังรับแรงดึงที่จุดคดง (Yield point) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาลำดับต้านทานของชิ้นส่วนนั้นๆต่อไป

สรุป ในหัวข้อที่กล่าวถึงงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็กนี้ จะเป็นการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงลักษณะของงานโครงสร้าง ที่ใช้วัสดุประเภทคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยจะสามารถทำการจัดเตรียมตัวอย่างของมวลคอนกรีตทดสอบ การจัดวางเหล็กเสริมของคอนกรีต ด้วยขั้นตอนและกระบวนการที่ถูกต้องสำหรับการวิจัยนี้ นอกจากนี้จะแสดงถึงความสำคัญของการวิจัยที่ต้องการหาลำดับรับแรงอัดที่เกิดขึ้นในหน้างานจริง ซึ่งจะนำมาซึ่งค่าการทดสอบที่จะใช้วิเคราะห์ความสามารถในการรับกำลังของชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นๆโดยรวมต่อไป

2. กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

คุณสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการในงานวิศวกรรมโครงสร้างมากที่สุด ก็คือคุณสมบัติด้านการรับแรงอัดเมื่อคอนกรีตแข็งตัว ซึ่งโดยทั่วไปนั้น กำลังอัดของคอนกรีตจะแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ

1. กำลังของมอร์ต้า จะขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้า อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ และ Degree of Hydration แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังและความพรุนจะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ส่วนการเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติของมวลรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดคละ ปริมาณ กำลังลักษณะผิว ฯลฯ จะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตไม่มากนัก

2. กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม ความสามารถต้านแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของหินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้า แต่โดยทั่วไปกำลังของมวลรวมจะสูงกว่ากำลังของมอร์ต้าหลายเท่า ส่วนแรงยึดเหนี่ยวจะเป็นตัวที่ควบคุมการแตกของคอนกรีต กำลังกีดของคอนกรีตจะลดลงเมื่อใช้หินขนาดใหญ่ขึ้น เพราะหินขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดน้ำใต้หินมากทำให้แรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้าลดลง การเพิ่มปริมาณของมวลรวมในส่วนผสมจะเป็นการเพิ่มกำลังอัด รวมทั้งถ้าใช้หินที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้น

3. กำลังของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับมอร์ต้า จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี ที่เกิดระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่างๆในเนื้อมวลรวม

สิ่งที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตนั้น จะประกอบไปด้วยปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

1. คุณสมบัติของวัสดุผสม ในคอนกรีตนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนผสมหลายชนิดด้วยกัน แต่สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลักดังนี้

1.1 ปูนซีเมนต์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากปูนซีเมนต์แต่ละประเภทจะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน โดยจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อปูนซีเมนต์ หรือแม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ชนิดเดียวกันก็ตาม ถ้ามีความละเอียดที่แตกต่างไปแล้ว อัตราการเพิ่มกำลังรับแรงของคอนกรีตก็จะแตกต่างกันไปด้วย

1.2 มวลรวม จะมีผลต่อความแปรผันของกำลังรับแรงอัดคอนกรีตไม่มากนัก เนื่องจากมวลรวมที่ใช้ในงานก่อสร้างนั้น จะไม่แตกต่างกันมาก ทั้งนี้ส่วนที่ทำให้มีความแปรผันมากที่สุดที่เกิดจากมวลรวมก็คือรูปร่างและลักษณะพื้นผิวของมวลรวมนั้น ในมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อยจะมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมากกว่ามวลรวมที่มีผิวเรียบ มน ส่วนขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังรับแรงคอนกรีตเช่นกัน เนื่องจากคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้อยกว่าการใช้มวลรวมขนาดเล็กในคอนกรีตที่ต้องการความสามารถในการเทได้เท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่มักจะให้กำลังอัดที่สูงกว่า อีกส่วนหนึ่งที่มีผลต่อกำลังรับแรงของคอนกรีตเป็นอย่างมากที่สุดคือ สัดส่วนต่างๆของขนาดคละ เนื่องจากการเลือกใช้น้ำหนักคละที่เหมาะสมจะทำให้ความต้องการในการใช้น้ำที่น้อย ฟองอากาศในมวลคอนกรีตเกิดขึ้นไม่มาก

1.3 น้ำ จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความคุณภาพความสะอาดของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต เนื่องจากปริมาณของสารเคมี เกลือแร่หรือสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำจะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง

2. การผสมหรือการทำคอนกรีต จะเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้คอนกรีตมีกำลังต้านทานแรงอัดได้ต่างกัน แม้ว่าจะใช้ส่วนผสมเช่นเดียวกันทุกประการก็ตาม ซึ่งขั้นตอนต่างๆที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจากทำงานคอนกรีตนั้นมีดังนี้

2.1 การชั่งตวงส่วนผสม ในการปฏิบัติงานจริงนั้นการวัดส่วนผสมต่างๆจะใช้การตวงโดยปริมาตรเป็นหลักเนื่องจากสะดวกและกระทำได้อย่างรวดเร็ว แต่ทั้งนี้จะมีความผิดพลาดมากกว่าการวัดส่วนผสมโดยการชั่งน้ำหนัก

2.2 การผสมคอนกรีต คอนกรีตจะมีคุณภาพ สามารถรับแรงได้ตามความต้องการนั้น จะต้องผ่านการผสมที่สามารถทำให้วัสดุผสมต่างๆ รวมกันเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด เพื่อให้มีน้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง

2.3 การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อ ในการเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อนั้น หากว่าคอนกรีตเกิดการแยกตัวในระหว่างการลำเลียง หรือการเทคอนกรีต จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติรับแรงได้ไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การเทคอนกรีตที่ไม่สามารถทำให้แน่นได้ทั่วถึงหรือเกิดเป็นโพรงนั้น ก็จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดต่ำเช่นกัน

3. การบ่มคอนกรีต จะมีส่วนอย่างยิ่งในการเพิ่มอัตราการรับแรงอัดของคอนกรีต ตามเวลาที่เปลี่ยนไป โดยมีปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.1 ความชื้น เนื่องจากอัตราการเพิ่มกำลังรับแรงของคอนกรีตนั้น จะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น ระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำ โดยกำลังรับแรงของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆหากมีน้ำหรือมีความชื้นอยู่ตลอดเวลา ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัว ควรจะทำการบ่มด้วยความชื้นโดยทันที

3.2 อุณหภูมิ การบ่มคอนกรีตในอุณหภูมิสูงนั้น จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตเกิดเร็วขึ้น

3.3 เวลาที่ใช้ในการบ่ม ถ้าหากสามารถบ่มคอนกรีตให้ชื้นอยู่ตลอดเวลาอย่างยาวนานเท่าใด ก็จะได้กำลังของคอนกรีตมากขึ้นไปด้วย

สรุป คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดที่เกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรมโครงสร้าง ที่ต้องการจากคอนกรีตนั้นก็คืกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต แต่เนื่องจากคอนกรีตนั้นเป็นวัสดุก่อสร้างประเภท Composite Material ซึ่งเป็นการใช้คุณสมบัติของวัสดุหลายประเภทมาประกอบร่วมกัน ดังนั้นในการศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตนั้น จะทำให้ทราบถึงที่มาของกำลังรับแรงดังกล่าวจากส่วนผสมต่างๆนั้น เพื่อที่จะทำการควบคุมคุณภาพในแต่ละขั้นตอนการทำคอนกรีตเพื่อให้ได้คุณสมบัติกำลังรับแรงตามต้องการ ซึ่งในการควบคุมคุณภาพดังกล่าวนี้ ก็จะมีวิธีการทดสอบหาลำกำลังรับแรงอัดตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังที่ได้กล่าวต่อไป

3. วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

สำหรับวิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตนั้น มีการคิดค้นไว้หลายวิธีด้วยกัน แต่สามารถแบ่งการทดสอบออกได้ 2 ประเภทใหญ่ๆได้ดังนี้

1. การทดสอบแบบทำลาย จะเป็นการทดสอบที่ให้ผลที่แน่นอน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทย่อยดังนี้

1.1 การทดสอบกับมวลตัวอย่างมาตรฐาน เป็นการกระทำการทดสอบบนมวลคอนกรีตตัวอย่างที่ทำขึ้นมาจากการสุมเก็บตัวอย่างคอนกรีตสด ซึ่งในประเทศไทยนั้นจะมีการเตรียมมวลตัวอย่างคอนกรีตที่ไว้ทำการทดสอบ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต 2 รูปแบบคือ

1.1.1 ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ตามมาตรฐาน BS 1881 : PART 3 , Method of Making and Curing Test Specimens ซึ่งมีกระบวนการเตรียมตัวอย่างทดสอบดังนี้

อุปกรณ์ ประกอบด้วย

- 1) แบบหล่อก่อนคอนกรีตตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15.0x15.0x15.0 เซนติเมตร
- 2) เหล็กดำหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว
- 3) ช้อนตัก และเกรียงเหล็ก

วิธีทำมวลตัวอย่างคอนกรีต

- 1) ทำความสะอาดแบบหล่อ แล้วทาลูบที่ผิวภายในทุกด้าน
- 2) ตักคอนกรีตสดใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่าๆกัน แต่ละชั้นตักด้วยเหล็กดำ 35 ครั้ง

- 3) เมื่อดำชั้นสุดท้ายเสร็จ ทำการปาดผิวให้เรียบ
- 4) ทำการแกะแบบหล่อเมื่อคอนกรีตก่อตัวแล้ว โดยมากจะไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง
- 5) ทำการบ่มมวลตัวอย่างที่อุณหภูมิปกติจนครบ 28 วันจึงนำมาทำการทดสอบ

1.1.2 ตัวอย่างรูปทรงกระบอก ตามมาตรฐาน ASTM C192 , Standard Method of Making and Curing Test Specimens in the Laboratory ซึ่งมีกระบวนการเตรียมตัวอย่างทดสอบดังนี้

อุปกรณ์ ประกอบด้วย

- 1) แบบหล่อก้นคอนกรีตตัวอย่างรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.0 เซนติเมตร สูง 30.0 เซนติเมตร
- 2) เหล็กดำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ปลายมน
- 3) ช้อนตัก และเกรียงเหล็ก

วิธีทำมวลตัวอย่างคอนกรีต

- 1) ทำความสะอาดแบบหล่อ แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
- 2) ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่าๆกัน แต่ละชั้นดำด้วยเหล็กดำ 25 ครั้ง
- 3) เมื่อดำชั้นสุดท้ายเสร็จ ทำการปาดผิวให้เรียบ
- 4) ทำการแกะแบบหล่อเมื่อคอนกรีตก่อตัวแล้ว โดยมากจะไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง
- 5) ทำการบ่มมวลตัวอย่างที่อุณหภูมิปกติจนครบ 28 วันจึงนำมาทำการทดสอบ

ในการทดสอบนั้นจะกระทำด้วยเครื่องทดสอบ ที่มีน้ำหนักกดอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของมวลคอนกรีตตัวอย่าง และมีมาตรวัดแรงกระทำซึ่งสามารถระบุค่าของแรงที่เกิดการแตกหักของมวลทดสอบ เมื่อถึงจุดประลัยของมวลทดสอบนั้น โดยมีข้อควรระวังระหว่างการกดทดสอบดังนี้

- 1) ก้อนตัวอย่างต้องอยู่จุดกึ่งกลาง และแกนของก้อนตัวอย่างต้องอยู่ในแนวตั้ง
- 2) แผ่นรองกดต้องอยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนของก้อนตัวอย่าง
- 3) แผ่นรองกดต้องเคลื่อนตัวได้เล็กน้อย
- 4) แผ่นรองกดจะต้องเรียบเป็นระนาบ
- 5) ถ้าต้องใช้วัสดุ Cap ก้อนตัวอย่าง ในกรณีที่ผิวหน้าไม่เรียบนั้น ควรเลือกวัสดุที่มีกำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับของคอนกรีต

สำหรับการทดสอบแบบทำลายบนมวลคอนกรีตตัวอย่างมาตรฐานจากทั้ง 2 รูปแบบนั้น จะให้ค่ากำลังรับแรงที่ทดสอบได้แตกต่างกัน โดยค่ากำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่า เมื่อใช้ทำตัวอย่างจะคอนกรีตสดที่ผสมครั้งเดียวกัน ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก

- 1) แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดซึ่งก่อให้เกิด Confining Stress ซึ่งมีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์สูงกว่าความเป็นจริง

2) องค์ประกอบเรื่องความละเอียด กล่าวคือเนื่องจากรูปทรงกระบอกมีความสูงมากกว่าด้านกว้างทำให้ผลด้าน Confining Stress ลดลงอย่างมาก

ทั้งนี้การเปรียบเทียบค่าการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตทดสอบทั้ง 2 รูปแบบนั้น สามารถหาได้จากมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) ซึ่งได้กำหนดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดรูปทรงกระบอกกับตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

1.2 การทดสอบกับแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากชิ้นส่วนของโครงสร้างจริง (Coring Test) โดยมากแล้วจะเป็นการทดสอบในกรณีทำการหล่อคอนกรีตโครงสร้างจริงแล้ว ทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C42 การทดสอบดังกล่าวจะเกิดขึ้นเมื่อมีข้อสงสัยเกี่ยวกับคอนกรีตดังกล่าวอาจจะไม่สามารถรับกำลังได้ตามที่กำหนดไว้ ซึ่งอาจจะมาจากผลการทดสอบจากตัวอย่างที่สุ่มเก็บในขณะที่ยังเป็นคอนกรีตสด มีค่าการทดสอบต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ หรืออาจจะเกิดจากการเทคอนกรีต เมื่อเปิดหรือถอดแบบหล่อออก พบว่าเนื้อคอนกรีตไม่แน่น โดยการส่งทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวนี้จะมาจากดุลยพินิจของวิศวกรโครงสร้างเป็นหลัก

สำหรับวิธีการเตรียมตัวอย่างนั้นจะกระทำโดยใช้เครื่องมือเจาะรูปทรงกระบอกซึ่งเป็นหัวกากเพชร โดยคอนกรีตที่กระทำการเจาะตัวอย่างนั้นควรมีอายุอย่างน้อย 14 วัน ขนาดเล็กสุดของตัวอย่างเจาะไม่ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 10 เซนติเมตร และความสูงของแท่งตัวอย่างเจาะควรเป็น 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ในการเจาะนั้นควรจะทำในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้น หรือในทิศทางที่ชิ้นส่วนของค้ำอาคารนั้นรับน้ำหนัก

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) เครื่อง Coring machine
- 2) กระบอกตัดคอนกรีตหัวเพชร (Diamond barrel)

วิธีการเจาะแกนคอนกรีต

1) ย้ายเครื่อง Coring machine มายังจุดที่จะทำการเก็บตัวอย่าง โดยก่อนกำหนดจุดใดๆ ต้องมีการตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริมให้ชัดเจน บันทึกตำแหน่งที่เจาะในสมุดบันทึก

2) ทำการยึดเครื่อง Coring machine เพื่อป้องกันการแกว่งตัวของเครื่องในขณะทำงาน ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ทำค้ำยัน (Bracing) , ยึดแท่นเครื่องด้วย Anchor bolt , นำน้ำหนักบรรทุก(Heavy weights) มากดทับที่แท่นเครื่องหรือใช้เครื่อง Vacuum pads ติดกับแท่นเครื่อง(เครื่อง Vacuum pads ใช้ได้เฉพาะพื้นผิวที่เรียบเท่านั้น)

3) ต่อสายยางจากปั๊มน้ำ เข้ามาเครื่อง Coring machine

4) ตรวจสอบความพร้อมก่อน แล้วเริ่ม Coring ได้ทันที ในขณะที่ Coring ต้องเปิดน้ำหล่อเลี้ยงเพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างคอนกรีตกับ Diamond barrel

5) เมื่อได้ตัวอย่างแกนคอนกรีต แล้วให้ทำการบันทึก ขนาดDiameter , ความยาว , ลักษณะชั้นตอนกริตต่างๆ และขนาดเหล็กเสริม เป็นต้น ลงในสมุดบันทึก

เมื่อได้แท่งตัวอย่างแล้วจะนำไปแช่น้ำ ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 40 ถึง 48 ชั่วโมง เพื่อให้ได้การทดสอบในสภาพที่ชื้น บางกรณีอาจจะต้องมีการทำ Capping เมื่อผิวที่ทำการทดสอบนั้นไม่เรียบ และควรทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ตัวอย่างในบริเวณที่ทำการทดสอบนั้น ทั้งนี้ค่าที่ได้ในการทดสอบจะต้องนำไปแปรผลกับตาราง ตามขนาดและรูปร่างของแท่งตัวอย่างก่อน หากว่าค่าเฉลี่ยของ 3 ตัว

อย่างมีค่าอย่างน้อยเท่ากับ $0.85 f_c$ โดยไม่มีตัวอย่างใดให้ค่าการทดสอบต่ำกว่า $0.75 f_c$ ให้ถือว่าคอนกรีตดังกล่าวมีคุณภาพยอมรับได้

ตาราง 2 ผลของอัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อกำลังรับแรงอัด

สัดส่วนของความสูงต่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D)	ค่าปรับแก้กำลังรับแรงอัด
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

ที่มา : ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. (2537). *คอนกรีตเทคโนโลยี*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด. : 99.

2. การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive test) จะเป็นการตรวจสอบเพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุที่ต้องการ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายหรือไม่มีการทำลายชิ้นส่วนนั้น ซึ่งในงานวิศวกรรมโครงสร้างในส่วนของการตรวจสอบคุณสมบัติการรับแรงอัดของคอนกรีตนั้น มีวิธีการที่เป็นที่รู้จักและยอมรับโดยทั่วไปอยู่ 2 วิธีคือ

2.1 การตรวจสอบด้วย Portable Ultrasonic Non Destructive Integrity Tester หรือ PUNDIT Test เป็นการตรวจสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลาย โดยการใช้คลื่นเสียงเดินทางผ่านเนื้อคอนกรีตเพื่อตรวจสอบคุณภาพของเนื้อคอนกรีตว่าอยู่ในสภาพดีหรือไม่อย่างไร ตามมาตรฐาน ASTM 597-83

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1) เครื่อง PUNDIT Test (Portable Ultrasonic Non Destructive Integrity Tester)

2) เครื่อง Pachometer ใช้หาระยะของคอนกรีตที่หุ้มเหล็ก และตำแหน่งเหล็กเสริม

วิธีการทดสอบ

1) กำหนดตำแหน่งที่จะทดสอบโดยกำหนดไว้ในแบบแปลน โดยการเลือกสุ่มตัวอย่าง

2) สักตบุนาบอกจนถึงเนื้อคอนกรีตที่ดี ขัดผิวที่ต้องการทดสอบให้เรียบด้วยเครื่องเจียรคอนกรีตไฟฟ้า แล้วกำหนดจำนวน 2 จุด ที่จะติดตั้ง หัวส่งสัญญาณ (Transmitting Transducer) และ หัวรับสัญญาณ (Receiving Transducer)

3) นำเครื่อง Pachometer มาหาค่าระยะของคอนกรีตที่หุ้มเหล็ก และตำแหน่งเหล็กเสริม ที่จุดทั้ง 2 จุด บันทึกค่าในตารางการทดสอบ

4) Calibration เครื่อง PUNDIT Test ตามคู่มือ Calibration

5) ทาจาระบี หรือ Conductivity Gel Echotrace 900 ป้ายทาระหว่างหัวสัมผัสส่งสัญญาณ-หัวสัมผัสรับสัญญาณ กับผิวคอนกรีต

6) เริ่มทดสอบโดยส่งคลื่นอัลตราโซนิกจากหัวสัมผัสส่งสัญญาณ ผ่านเนื้อคอนกรีตไปยังหัวสัมผัสรับสัญญาณ อ่านค่าระยะเวลาที่คลื่นผ่าน (Transit Time ; T) จำนวน 5 ครั้ง แล้วจดบันทึกค่าลงในตาราง พร้อมวัดค่าระยะทางที่คลื่นส่งผ่าน (Path Length ; L) อย่างละเอียด และวิธีการทดสอบ ซึ่งมีด้วยกัน 3 แบบ ได้แก่ Direct Method , Semi-Direct Method และ Indirect Method

7) คำนวณหาความเร็วของคลื่น(Longitudinal Pulse Velocity ; V) จาก

สูตร

$$V = L / T$$

8) ทำการปรับแก้ค่าความเร็วของคลื่น(Longitudinal Pulse Velocity ; V) จากองค์ประกอบต่างๆที่มีผลกับความเร็วของคลื่น เช่น ความราบเรียบของผิวคอนกรีต , อุณหภูมิและความชื้นของคอนกรีต , ปริมาณเหล็กเสริม และความเป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีต เป็นต้น

9) นำค่าความเร็วของคลื่น(Longitudinal Pulse Velocity ; V) ที่ปรับแก้แล้ว มาเปรียบเทียบกับหาคุณภาพของคอนกรีตและหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยประมาณ ซึ่งได้จากการวิจัยของสถาบันการศึกษาต่างๆ

2.2 การตรวจสอบด้วย Concrete Test Hammer หรือ Schmidt Hammer Test เป็นวิธีการทดสอบที่ประหยัดและใช้เวลาไม่นาน ผลการทดสอบมีค่าคลาดเคลื่อนในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวในบทต่อไป

สรุป ในหัวข้อวิธีการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดดังกล่าว ทั้งวิธีการทดสอบแบบทำลาย และแบบไม่ทำลายซึ่งทำให้ทราบถึงข้อดี ข้อเสียของแต่ละวิธีการทดสอบได้ ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าวทำให้เห็นว่า วิธีการทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เหมาะสมทั้งในด้านค่าใช้จ่าย ขั้นตอนการทดสอบที่ไม่ซับซ้อน และสามารถทราบผลได้อย่างรวดเร็ว นั่นก็คือ การตรวจสอบด้วย Concrete Test Hammer หรือ Schmidt Hammer Test

4. การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลายด้วยวิธีConcrete Test Hammer

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธี Concrete Test Hammer หรือ Schmidt hammer test นั้น เป็นการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงที่ผิวของคอนกรีตที่ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จ ซึ่งจะไม่มีความเสียหายต่อเสถียรภาพของโครงสร้าง สามารถทำการตรวจสอบได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยค่าที่ได้จะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง เพียงพอที่จะนำผลการทดสอบที่ได้มาพิจารณาร่วมกับการทดสอบอื่นๆ เพื่อประเมินค่าความแข็งแรงของโครงสร้าง

เครื่องมือที่ใช้คือ Schmidt hammer ซึ่งใช้หลักการกระแทก และกระดอนกลับ(Rebound)ของสปริงหรือมวลยืดหยุ่น กำลังที่กระดอนกลับ (Rebound) จะแปรผันกับค่าความแข็งแรงของผิวที่ทดสอบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเครื่องมือดังกล่าว จะแบ่งออกได้หลายประเภทดังนี้

Type N : จะมีค่าพลังงานในการกระแทก (impact energy) เท่ากับ 2.207 นิวตัน-เมตร (0.225 กิโลกรัม-เมตร) ซึ่งจะเป็นการทดสอบกับที่ใช้ในการก่อสร้างปกติทั่วไปรวมทั้งงานก่อสร้างสะพานคอนกรีต

Type NR : จะมีค่าพลังงานในการกระแทก (impact energy) เท่ากับ 2.207 นิวตัน-เมตร (0.225 กิโลกรัม-เมตร) ซึ่งจะเป็นการทดสอบลักษณะงานเช่นเดียวกับ Type N แต่จะมีอุปกรณ์ในการบันทึกข้อมูลติดตั้งร่วมด้วย

Type L : จะมีค่าพลังงานในการกระแทก (impact energy) เท่ากับ 0.735 นิวตัน-เมตร (0.075 กิโลกรัม-เมตร) ซึ่งจะเป็นการทดสอบที่ใช้พลังงานน้อยกว่า Type N เหมาะสำหรับการทดสอบขนาดเล็กและวัสดุที่ทำการทดสอบนั้นมีความอ่อนไหวต่อแรงกระแทก เช่น หินเทียม (artificial stone) เป็นต้น

Type LR : จะมีค่าพลังงานในการกระแทก (impact energy) เท่ากับ 0.735 นิวตัน-เมตร (0.075 กิโลกรัม-เมตร) ซึ่งจะเป็นการทดสอบลักษณะงานเช่นเดียวกับ Type L แต่จะมีอุปกรณ์ในการบันทึกข้อมูลติดตั้งร่วมด้วย

Type LB : จะมีค่าพลังงานในการกระแทก (impact energy) เท่ากับ 0.735 นิวตัน-เมตร (0.075 กิโลกรัม-เมตร) ซึ่งจะเป็นการทดสอบปลั๊กย่อย สำหรับการควบคุมคุณภาพอย่างต่อเนื่องของวัสดุประเภทดินเผาหรือผลิตภัณฑ์จำพวกกระเบื้องเซรามิค

Type M : จะมีค่าพลังงานในการกระแทก (impact energy) เท่ากับ 29.43 นิวตัน-เมตร (3 กิโลกรัม-เมตร) จะเป็นการทดสอบกับที่เหมาะสมกับมวลคอนกรีตขนาดใหญ่ ได้แก่งานถนนคอนกรีต และงานทางวิ่งของสนามบิน

Type : หรือ Pendulum type จะมีค่าพลังงานในการกระแทก (impact energy) เท่ากับ 0.883 นิวตัน-เมตร (0.09 กิโลกรัม-เมตร) จะเป็นการทดสอบกับที่ใช้กับวัสดุที่มีค่าความแข็งต่ำเช่น วัสดุมวลเบาในการก่อสร้าง งานปูนฉาบผิวต่างๆซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 5-25 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งจะให้ผลการทดสอบที่ดีกว่าการใช้เครื่องมือ Type N หรือ Type L

Type PT : จะมีค่าพลังงานในการกระแทก (impact energy) เท่ากับ 0.883 นิวตัน-เมตร (0.09 กิโลกรัม-เมตร) จะเป็นการทดสอบกับที่ประกอบด้วยหัวค้อนทดสอบที่มีขนาดใหญ่ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบวัสดุก่อสร้างที่มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำมาก (0.5 – 5 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

สำหรับการวิจัยนี้ เป็นใช้เครื่องมือประเภท Type N ซึ่งเป็นการทดสอบกับงานก่อสร้างทั่วไป และสามารถนำผลการวิจัยไปใช้งานได้อย่างแพร่หลาย

ในการทดสอบนั้น ค่าที่ได้จากการทดสอบจะเรียกว่า “ Rebound Number ” หรือเรียกว่าค่า “ R” โดยค่าที่ปรากฏดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับมอร์ต้า (คอนกรีตที่ไม่มีวัสดุผสมหยาบ) ที่ปกคลุมอยู่ที่ผิวคอนกรีต ซึ่งจากการศึกษาเรื่องคุณสมบัติการรับแรงอัดของคอนกรีตนั้นพบว่ากำลังของมอร์ต้าจะตัวกำหนดค่ากำลังการรับแรงอัดของคอนกรีต จากการเปรียบเทียบกับทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยตรงนั้นพบว่าค่าที่ได้จาก Concrete Test Hammer นี้จะแตกต่างไปจากการทดสอบมวลตัวอย่างทรงลูกบาศก์มาตรฐานพอสมควร ทั้งนี้เนื่องมาจากสภาวะของคอนกรีตหน้างานจริงกับมวลคอนกรีตตัวอย่างนั้นแตกต่างกัน นอกจากนี้แล้วในการทดสอบจากมวลตัวอย่างที่เก็บในขณะที่ยังเป็นคอนกรีตสดการการเทเข้าแบบนั้น จะเป็นการทดสอบโดยตัว

อย่างสม่ำเสมอ ไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าตัวอย่างที่สุ่มเก็บนั้นอยู่บริเวณใดของโครงสร้าง แต่ในการทดสอบ Concrete Test Hammer จะสามารถทำการทดสอบได้ทุกส่วนของโครงสร้างที่เป็นงานคอนกรีตด้วยเวลาสั้นๆ ซึ่งสามารถทำการประเมินค่าของกำลังอัดคอนกรีตได้เป็นอย่างดี และเนื่องจากชิ้นส่วนของคอนกรีตนั้นๆ ไม่ได้ถูกทำลายไปจากการทดสอบจึงทำให้กระบวนการเพิ่มอัตรากำลังรับแรงนั้นคงมีอยู่ต่อไป

วิธีการใช้เครื่องมือ Concrete Hammer ตามเอกสารประกอบการใช้งาน (Operating Instructions Concrete Test Type N and NR . (n.d.). Zurich: PROCEQ SA. : 5.) นั้นได้กล่าวถึงการใช้งานและความสำคัญของส่วนประกอบต่างๆไว้ดังต่อไปนี้ (ภาพประกอบ 1)

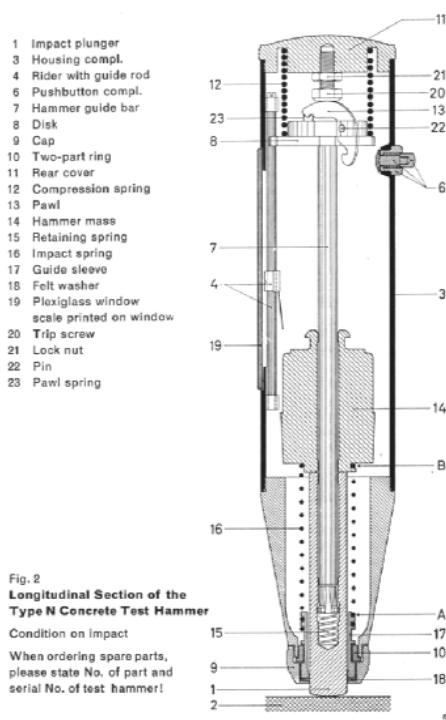
1. ทำการกดหัวของ Impact plunger (1) อย่างเบาๆ จะทำให้แกนกดคลายตัวออกจากกระบอกโดยอัตโนมัติ

2. ทำการกดแกน plunger บนตำแหน่งของผิวคอนกรีตที่ต้องการทดสอบ ซึ่งในระหว่างการกดให้แกนเข้าไปสู่ตัวกระบอกนั้นให้เพิ่มแรงกดอย่างช้าๆ ด้วยมุมการกดที่กระทำกับพื้นผิวที่ถูกต้อง โดยห้ามสัมผัสปุ่มกด (6) โดยเด็ดขาด

3. หลังจากที่มีมวลค้อน (14) สะท้อนกลับด้วยแรงกดนั้น จะแสดงค่าการสะท้อนบนมาตรวัด (19) ด้วยแกนเลื่อน (4) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงค่าการสะท้อน Rebound Value ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลค้อนทดสอบ

4. หลังจากทำการทดสอบสิ้นสุด หัวกด(1) ที่ติดอยู่กับแกนเหล็กนำ (7) และแผ่นจานนำ(8) จะถูกล็อกไว้ด้วยปุ่มกด (6) เพื่อใช้ในการอ่านค่าบนมาตรวัด

5. การทดสอบนั้นจะต้องทำการเทียบค่ากับการทดสอบในแนวระนาบ (horizontal impact direction) โดยใช้ตารางปรับแก้ หากว่าการทดสอบนั้นมีมุมที่กระทำการทดสอบเปลี่ยนไป



ภาพประกอบ 1 แสดงชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องมือ Concrete Test Hammer

วิธีการทดสอบ

1. ทำการเลือกจุดที่ต้องการทดสอบ ซึ่งควรที่จะหลีกเลี่ยงการทดสอบในตำแหน่งที่เป็นโพรงหรือบริเวณที่พูน สำหรับในชิ้นส่วนต่างๆของโครงสร้างที่จะทำการทดสอบนั้น ส่วนที่เป็นพื้นหรือผนังจะต้องมีความหนาอย่างน้อย 4 นิ้ว สำหรับส่วนที่เป็นเสา จะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 5 นิ้ว
2. ตรวจสอบสภาพผิวตัวอย่างทดสอบ หากว่าเป็นพื้นผิวที่มีปูนฉาบหรือมีวัสดุเคลือบผิวจะต้องเอาออกก่อน ขัดผิวที่ต้องการทดสอบให้เรียบด้วย Carborundum stone ที่มีให้มาพร้อมกับเครื่องมือ ถ้าผิวโค้งนูน หรือ ผิวเว้าจะมีผลต่อการ Rebound ของ hammer เนื่องจากผิวที่โค้งนูนจะทำให้ค่าที่อ่านได้ต่ำกว่าค่าความเป็นจริง ส่วนผิวที่เว้าจะทำให้ค่าที่อ่านได้สูงกว่าค่าความเป็นจริง
3. จัดแบ่งพื้นที่ตัวอย่างทดสอบให้มีตำแหน่งการยิง 10 ครั้ง แต่ละครั้งควรห่างกันอย่างน้อย 2.5 เซนติเมตร ในพื้นที่ 10x10 ตารางเซนติเมตร
4. ทำการกด hammer ในทิศทางที่ตั้งฉากกับผิวตัวอย่าง พร้อมบันทึกค่า Rebound number และทิศทางการกด ซึ่งมีด้วยกัน 3 ทิศทาง ได้แก่ กดในแนวนอน ,แนวตั้งแบบยิงขึ้น หรือแนวตั้งแบบยิงลง เนื่องจากแต่ละทิศทางจะใช้กราฟในการปรับค่า Rebound Number เป็นค่า Strength of Concrete ที่แตกต่างกัน

ตาราง 3 ค่าปรับแก้ของค่าอ่านบน Concrete Hammer Test ในกรณีที่ไม่ได้ทำการทดสอบในแนวราบ

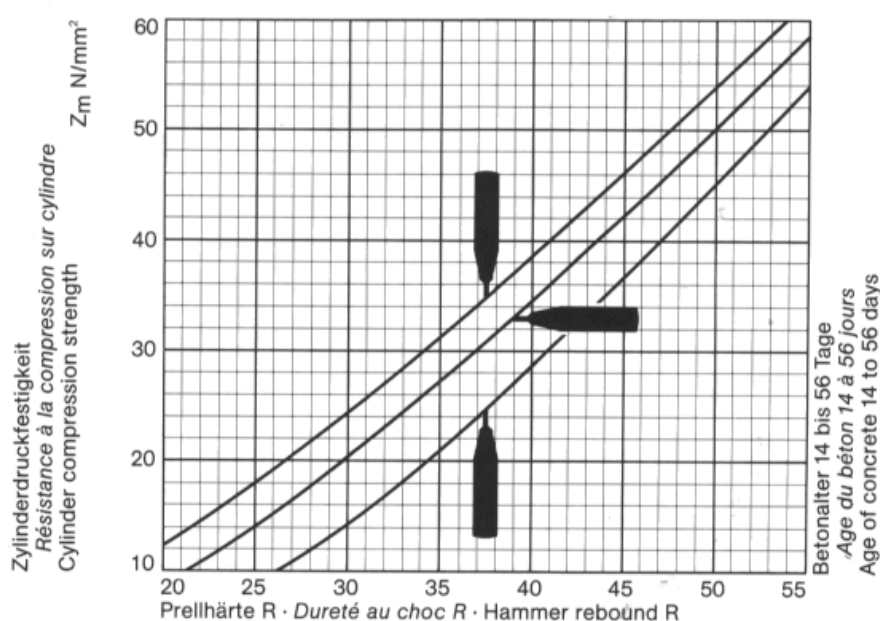
Rebound Value	Correction for inclination angle			
	+90°	+45°	-45°	-90°
10			+2.4	+3.2
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7
50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7

ที่มา : Operating Instructions Concrete Test Type N and NR . (n.d.). Zurich: PROCEQ SA. : 4.

5. นำค่าRebound Number ทั้งหมด มาหาค่าเฉลี่ย แล้วนำค่าเฉลี่ยของ Rebound Number มาหาค่า Strength of Concrete จากกราฟที่ใช้ในการปรับค่า

Fig.3b **Cylinder Compressive Strength in N/mm^2**
plotted against the Rebound Number

Type N Test Hammer



The curves apply to compact Portland cement with good-quality gravel/sand aggregate. Age 14 to 56 days. Smooth and dry concrete surface.

Z_m = most likely value of the cylinder compressive strength in N/mm^2 .

The dispersion limits Z_{max} , and Z_{min} , are so defined that they include 80 percent of all the test results.

Note under Section IV "Limits of Validity of the Calibration Curves"!

ภาพประกอบ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ได้จาก Concrete Hammer Test TypeN
ในรูปของตัวอย่างทรงกระบอกมาตรฐาน กับค่า Rebound Number

Cube Compressive Strength as a Function of the Rebound Number R

Table II

R	14–56 Days						7 Days					
	W _m			W _{min}			W _m			W _{min}		
	kp/cm ²	N/mm ²	psi	kp/cm ²	N/mm ²	psi	kp/cm ²	N/mm ²	psi	kp/cm ²	N/mm ²	psi
20	101	9.9	1440	54	5.3	770	121	11.9	1720	74	7.3	1050
21	113	11.1	1610	64	6.3	910	132	12.9	1880	83	8.1	1180
22	126	12.4	1790	75	7.4	1070	145	14.2	2060	94	9.2	1340
23	139	13.6	1980	86	8.4	1220	157	15.4	2230	104	10.2	1480
24	152	14.9	2160	98	9.6	1390	169	16.6	2400	115	11.3	1640
25	166	16.3	2360	110	10.8	1560	183	18.0	2600	127	12.5	1810
26	180	17.7	2560	122	12.0	1740	196	19.2	2790	138	13.5	1960
27	195	19.1	2770	135	13.2	1920	210	20.6	2990	150	14.7	2130
28	210	20.6	2990	149	14.6	2120	225	22.1	3200	164	16.1	2330
29	225	22.1	3200	163	16.0	2320	239	23.4	3400	177	17.4	2520
30	241	23.6	3430	178	17.5	2530	254	24.9	3610	191	18.7	2720
31	257	25.2	3660	193	18.9	2750	269	26.4	3830	205	20.1	2920
32	274	26.9	3900	209	20.5	2970	285	28.0	4050	220	21.6	3130
33	291	28.5	4140	225	22.1	3200	300	29.4	4270	234	23.0	3330
34	307	30.1	4370	240	23.5	3410	315	30.9	4480	248	24.3	3530
35	324	31.8	4610	256	25.1	3640	331	32.5	4710	263	25.8	3740
36	342	33.5	4860	273	26.8	3880	348	34.1	4950	279	27.4	3970
37	360	35.3	5120	290	28.4	4120	365	35.8	5190	295	28.9	4200
38	377	37.0	5360	307	30.1	4370	381	37.4	5420	311	30.5	4420
39	395	38.7	5620	324	31.8	4610	398	39.0	5660	327	32.1	4650
40	413	40.5	5870	341	33.4	4850	416	40.8	5920	344	33.7	4890
41	432	42.4	6150	359	35.2	5110	434	42.6	6170	361	35.4	5130
42	450	44.1	6400	377	37.0	5360	451	44.2	6410	378	37.1	5380
43	469	46.0	6670	395	38.7	5620	470	46.1	6690	396	38.8	5630
44	488	47.9	6940	414	40.6	5890	488	47.9	6940	414	40.6	5890
45	507	49.7	7210	432	42.4	6140	507	49.7	7210	432	42.4	6140
46	526	51.6	7480	451	44.2	6410	526	51.6	7480	451	44.2	6410
47	546	53.5	7770	470	46.1	6690	546	53.5	7770	470	46.1	6690
48	565	55.4	8040	489	48.0	6960	565	55.4	8040	489	48.0	6960
49	584	57.3	8310	508	49.8	7230	584	57.3	8310	508	49.8	7230
50	604	59.2	8590	527	51.7	7500	604	59.2	8590	527	51.7	7500
51	623	61.1	8860	546	53.5	7770	623	61.1	8860	546	53.5	7770
52	643	63.1	9150	565	55.4	8040	643	63.1	9150	565	55.4	8040
53	663	65.0	9430	584	57.3	8310	663	65.0	9430	584	57.3	8310
54	683	67.0	9710	603	59.1	8580	683	67.0	9710	603	59.1	8580
55	703	68.9	10000	622	61.0	8850	703	68.9	10000	622	61.0	8850

ภาพประกอบ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดบนลูกบาศก์มาตรฐานกับค่า Rebound Number

Cylinder Compressive Strength as a Function of the Rebound Number R

Table II

R	14–56 Days						7 Days					
	Z _m			Z _{min}			Z _m			Z _{min}		
	kp/cm ²	N/mm ²	psi	kp/cm ²	N/mm ²	psi	kp/cm ²	N/mm ²	psi	kp/cm ²	N/mm ²	psi
20	86	8.4	1220	46	4.5	650	103	10.1	1470	63	6.2	900
21	96	9.4	1370	54	5.3	770	112	11.0	1590	71	7.0	1010
22	107	10.5	1520	64	6.3	910	123	12.1	1750	80	7.9	1140
23	118	11.6	1680	73	7.2	1040	133	13.0	1890	88	8.6	1250
24	129	12.7	1830	83	8.1	1180	144	14.1	2050	98	9.6	1390
25	141	13.8	2010	94	9.2	1340	156	15.3	2220	108	10.6	1540
26	153	15.0	2180	104	10.2	1480	167	16.4	2380	117	11.5	1660
27	166	16.3	2360	115	11.3	1640	178	17.5	2530	128	12.6	1820
28	179	17.6	2550	127	12.5	1810	191	18.7	2720	139	13.6	1980
29	191	18.7	2720	139	13.6	1980	203	19.9	2890	150	14.7	2130
30	205	20.1	2920	151	14.8	2150	216	21.2	3070	162	15.9	2300
31	218	21.4	3100	164	16.1	2330	229	22.5	3260	174	17.1	2470
32	233	22.9	3310	178	17.5	2530	242	23.7	3440	187	18.3	2660
33	247	24.2	3510	191	18.7	2720	255	25.0	3630	199	19.5	2830
34	261	25.6	3710	204	20.0	2900	268	26.3	3810	211	20.7	3000
35	275	27.0	3910	218	21.4	3100	281	27.6	4000	224	22.0	3190
36	291	28.5	4140	232	22.8	3300	296	29.0	4210	237	23.2	3370
37	306	30.0	4350	247	24.2	3510	310	30.4	4410	251	24.6	3570
38	320	31.4	4550	261	25.6	3710	324	31.8	4610	264	25.9	3750
39	336	33.0	4780	275	27.0	3910	338	33.2	4810	278	27.3	3950
40	351	34.4	4990	290	28.4	4120	354	34.7	5040	292	28.6	4150
41	367	36.0	5220	305	29.9	4340	369	36.2	5250	307	30.1	4370
42	383	37.6	5450	320	31.4	4550	383	37.6	5450	321	31.5	4570
43	399	39.1	5680	336	33.0	4780	400	39.2	5690	337	33.1	4790
44	415	40.7	5900	352	34.5	5010	415	40.7	5900	352	34.5	5010
45	431	42.3	6130	367	36.0	5220	431	42.3	6130	367	36.0	5220
46	447	43.8	6360	383	37.6	5450	447	43.8	6360	383	37.6	5450
47	464	45.5	6600	400	39.2	5690	464	45.5	6600	400	39.2	5690
48	480	47.1	6830	416	40.8	5920	480	47.1	6830	416	40.8	5920
49	496	48.6	7050	432	42.4	6140	496	48.6	7050	432	42.4	6140
50	513	50.3	7300	448	43.9	6370	513	50.3	7300	448	43.9	6370
51	530	52.0	7540	464	45.5	6600	530	52.0	7540	464	45.5	6600
52	547	53.6	7780	480	47.1	6830	547	53.6	7780	480	47.1	6830
53	564	55.3	8020	496	48.6	7050	564	55.3	8020	496	48.6	7050
54	581	57.0	8260	513	50.3	7300	581	57.0	8260	513	50.3	7300
55	598	58.6	8510	529	51.9	7520	598	58.6	8510	529	51.9	7520

Cylinder compressive strength = 0,85 × cube compressive strength.

ภาพประกอบ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดบนทรงกระบอกมาตรฐานกับค่า Rebound Number

การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือทดสอบ นั้นจะมีวิธีการสอบเทียบตามมาตรฐานในคู่มือการใช้งาน (Operating Instruction) โดยมี ขั้นตอนดังนี้

1. อุปกรณ์สำหรับประกอบการสอบเทียบ การอ่านค่าจาก Concrete Test Hammer นั้น ประกอบด้วยทั้งเหล็ก (Anvil) หนัก 16 กิโลกรัม และท่อนำร่อง (Guide Tube) สำหรับกดก้อนทดสอบ (Mass) วางบนพื้นผิวที่แข็งและเรียบ เช่น พื้นหินหรือโตะที่มีน้ำหนักมาก
2. ค่าการทดสอบที่ได้จากทั้งเหล็กดังกล่าวจะแสดงบนแผ่นสำหรับสอบเทียบค่าการทดสอบ (Calibration value plate) เช่น 79 +/- 2 ถ้าหากว่าค่าที่ได้จากการปรับแก้ไม่ได้แสดงค่าน้อยที่สุด อาจเป็นเพราะความสะอาดระหว่างพื้นผิว
3. ค่า Rebound number (R) ที่อ่านได้จากการทดสอบบนคอนกรีตที่ทำการทดสอบ จะหาได้จากสูตร

$$R = \frac{\text{ผลรวมของค่าที่อ่านได้จากการทดสอบแต่ละครั้ง (} \sum r \text{)}}{\text{จำนวนการทดสอบแต่ละครั้ง}} \times \frac{\text{ค่าการทดสอบปกติ (Nominal Value)}}{\text{ค่าการทดสอบที่อ่านได้จาก anvil (} R_a \text{)}}$$

ซึ่งสูตรดังกล่าวนี้จะใช้เมื่อค่าต่ำที่สุดของ R_a มีค่ามากกว่า 72 แต่ถ้าหากว่า R_a มีค่าน้อยกว่านั้น จะต้องทำความสะอาดเครื่องมือและทำการสอบเทียบค่าใหม่ ถ้าหากว่าไม่สามารถทำการหาทั้งเหล็กทดสอบได้ ควรจะใช้การเทียบค่ากับเครื่องมือที่ได้รับการสอบเทียบล่าสุด โดยทำการทดสอบเทียบค่าบนวัสดุที่มีพื้นผิวที่แข็ง

สรุป ในการศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของวิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer นั้นจะทำให้สามารถทำการทดสอบและกำหนดวิธีการทดสอบตามแนวคิดของการวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายจักรี ดิยะวงศ์สุวรรณ (2540 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาวิธีการออกแบบปฏิบัติภาคส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงโดยการผสมสารลดน้ำพิเศษ ซึ่งอาศัยหลักการที่ว่าเพสต์ที่เติมลงไปในช่วงระหว่างอนุภาคของมวลรวมนั้น ไม่เพียงพอ สำหรับการทำงานได้ของคอนกรีต ดังนั้นจึงใช้เพสต์ส่วนเติมเกิน เพื่อให้เกิดการหล่อลื่นระหว่างอนุภาคของมวลรวมให้มีความสามารถทำงานได้ตามต้องการซึ่ง วิธีการนี้สามารถใช้เป็นจุดเริ่ม ของการหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูง เพื่อที่จะลดจำนวนของชุดทดลองผสม จากการทดสอบจะพบว่า ความสามารถทำงานได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของเพสต์เติมเกิน ปริมาณเพสต์เกินจะลดลงเมื่อค่าอัตราส่วนทรายต่อมวลรวมทั้งหมดลดลง โดยค่าอัตราส่วนทรายต่อมวลรวมทั้งหมดที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 0.50 เนื่องจากใช้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยที่สุดและไม่เกิดการแยกตัวของคอนกรีต และปริมาณของเพสต์เติมเกินจะลดลงเมื่อความเหลวของส่วนเพสต์มากขึ้นเนื่องจาก ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น คอนกรีตที่ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.26 จะต้องการปริมาณเพสต์เติมเกินในช่วง 3-7% (3-5% และบางครั้งอาจใช้ถึง 7%) คอนกรีตที่ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.30 จะต้องการปริมาณเพสต์เติมเกินในช่วง

1-3% (1-2% และบางครั้งอาจใช้ถึง 3%) ในการทดสอบคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วปริมาณของเพสต์เติมเกินในช่วงทดสอบไม่มีความสัมพันธ์กับกำลังรับแรงอัดกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ทดสอบที่อายุ 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 640-820 กก./ตร.ซม. โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าระหว่าง 43500 ถึง 47100 กก./ตร.ซม. ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากสมการทำนาย ($E = 4270 Wc^{1.5} fc'$ กก./ตร.ซม.) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 13%

ธีรนิจ ประชุมชิต (2534: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตโดยวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิกการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต และ ศึกษาถึงอิทธิพลของมวลรวมหยาบและความชื้น ในคอนกรีต ที่มีต่อความเร็วคลื่น โดยใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. ผลการทดสอบ พบว่า ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกมีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของคอนกรีต เมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดสูงขึ้นความเร็วคลื่นจะมากขึ้นตามไปด้วยนอกจากนี้ อิทธิพลของมวลรวมหยาบ พบว่าขนาดของมวลรวมหยาบมีอิทธิพลต่อความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกที่วิ่งผ่านคอนกรีต โดยความเร็วคลื่นจะมีค่าแปรตามขนาดของมวลรวมหยาบและพบว่า ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกที่วิ่งผ่านคอนกรีตที่ใช้หินน้อยเป็นมวลรวมหยาบ จะมีความเร็วสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้กรวดเป็นมวลรวมหยาบ ส่วนอิทธิพลของความชื้นในคอนกรีต พบว่า เมื่อคอนกรีตมีความชื้นสูง ความเร็วคลื่นก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย

นรินทร์ เลิศสาธิต (2541 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการประเมินกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยวิธีอัลตราโซนิกพัลส์ เวโลซิตี และวิธีบาวน์แฮมเมอร์ร่วมกัน โดยทำการทดลองบนคอนกรีตที่ออกแบบให้มีกำลังรับแรงอัดรูปทรงกระบอกอายุ 28 วันระหว่าง 210-560 กก./ ตร.ซม. ตัวอย่างคอนกรีตทั้งหมดบ่มในน้ำเป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาบ่มในอากาศต่อจนถึงวันทดสอบที่อายุ 28 วัน และที่อายุ 90 วัน ทำการทดสอบคอนกรีตตัวอย่างคอนกรีตโดยวิธีอัลตราโซนิกพัลส์เวโลซิตี วิธีบาวน์แฮมเมอร์ และวิธีกำลังแรงอัดมาตรฐาน ใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้นโค้ง (multiple curvilinear regression analysis) เพื่อจัดตั้งสมการประเมินกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจากข้อมูลที่ได้ทำการทดสอบ สมการประเมินกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยรวมการทดสอบจาก วิธีอัลตราโซนิกพัลส์เวโลซิตี วิธีบาวน์แฮมเมอร์ โดยพิจารณาผลกระทบของอายุของคอนกรีต ขนาดหินใหญ่สุด น้ำหนักซีเมนต์ ปริมาตรหินต่อปริมาตรคอนกรีต และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดระหว่าง 210 ถึง 560 กก./ตร.ซม. โดยได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.696 และได้สมการ $\ln(CST)=0.36955x_1x_{UPVT}+0.00205x_2x_{RHT}+0.00071x_3x_{AGE}+0.00011x_4x_{CEMENT}-0.19469x_5x_{SIZE}+0.0837x_6x_{VA}-1.03952x_7x_{WC}+4.60034x_8$

เมธา จันทรชั้น (2540 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของชนิดมวลรวมหยาบต่อคอนกรีตเนื่องจากคุณสมบัติของมวลรวมหยาบเป็นหนึ่งในหลายปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการพัฒนาคุณสมบัติแข็งตัวของคอนกรีต โดยการใช้หิน 3 ชนิดคือ หินปูน หินบะซอลต์และหินอ่อน มาผสมคอนกรีตตามสัดส่วนผสมที่ทำการออกแบบให้ได้รับกำลังสูงสุด โดยควบคุมค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ผสมหินต่างชนิดกันให้มีค่าเท่ากัน แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เปรียบเทียบกันคุณสมบัติที่ทดสอบได้แก่ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง และโมดูลัสความยืดหยุ่น และนอกจากนี้ยังทดสอบผลกระทบของชนิดหินที่มีต่อค่าการหดตัวด้วย การศึกษาวิจัยพิจารณาถึงผลของปริมาณหินที่เป็นส่วนประกอบในคอนกรีต โดยการผสมคอนกรีตที่มีปริมาณหินต่าง ๆ กันได้แก่ 0%,25%,50%,75% และ 100% โดยปริมาตรของหินตามที่ได้ทำการออกแบบ ผลการศึกษาพบว่าชนิดของมวลรวมหยาบมีผลกระทบต่อคุณสมบัติทั้ง 3 ที่ทดสอบคือ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง และโมดูลัสความยืดหยุ่นเป็นอย่างมาก โดยคอนกรีตผสมหินปูนจะให้คุณสมบัติทั้งสามอย่างดีที่สุด

รองลงมาคือ หินบะซอลต์และหินอ่อนตามลำดับ และนอกจากนี้ยังพบว่าคอนกรีตที่มีปริมาณหินเต็ม 100% จะให้ค่าต่างๆทั้งสามสูงที่สุด และหิน 0% ให้ค่าที่ต่ำที่สุดโดยหินปูน 100% ให้กำลังอัดคอนกรีต 1,229.87 กก./ซม² ในขณะที่หินปูน 0% ให้กำลังอัดคอนกรีต 895.13 กก./ซม² ซึ่งแสดงถึงผลของปริมาณหินที่ลดลงมีผลต่อกำลังของคอนกรีตที่ลดลงในส่วนของผลกระทบต่อการหดตัวพบว่า ชนิดหินมีผลกระทบต่อการหดตัวน้อยคือค่าการหดตัวที่ 56 วัน ค่าอยู่ระหว่าง 275.78×10^{-6} ถึง 333.13×10^{-6} (เมตร/เมตร)

สมพล ศรีสมัย, สิทธิเดช บุนประสิทธิ์ชัยและเติมศักดิ์ เรืองระยนต์ (2539 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบกำลังของคอนกรีตและคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายและการทดสอบแบบทำลาย โดยทำการเก็บข้อมูลจากการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธีรูลตราโซนิกพัลส์เวโรซิติ และวิธีริบาวน์แฮมเมอร์ เปรียบเทียบกับการทดสอบแบบทำลาย โดยวิธีหากล้างรับแรงอัดแบบมาตรฐาน ซึ่งผลการทดสอบพบว่า สมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการรวมการทดสอบแบบรูลตราโซนิกพัลส์เวโรซิติกับการทดสอบแบบริบาวน์แฮมเมอร์เข้าด้วยกัน เพื่อทำนายค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะมีความถูกต้องและเหมาะสมในการใช้งาน

สุดา เถลิงพงษ์ (2537 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของมวลรวมหยาบต่อคอนกรีตกำลังสูงในประเทศไทย โดยศึกษาคุณสมบัติในการรับแรงอัดและพฤติกรรมการวิบัติของคอนกรีตกำลังสูง ซึ่งใช้ไมโครซิลิกาและสารลดน้ำพิเศษเป็นสารผสมเพิ่ม การศึกษามุ่งเน้นถึงการใช่มวลรวมหยาบเป็นหิน 3 ชนิด คือ หินแกรนิต หินบะซอลต์ และหินปูน และทำการศึกษาผลกระทบของขนาดมวลรวมหยาบโดยใช้ขนาดโตสุด 2 ขนาดคือ 3/4" และ 3/8" ทั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลกับคอนกรีตทั่วไป รวมทั้งยังได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบเนื่องจากการใช้เหล็กปลอกเกลียวเสริมในแท่งตัวอย่างคอนกรีตกำลังสูง โดยกำหนดระยะเหล็กปลอกเกลียวห่าง 1 " 2" 3" 4" และ 5" ตามลำดับ เปรียบเทียบกับแท่งตัวอย่างซึ่งไม่มีการเสริมเหล็กปลอกเกลียว นอกจากนั้นยังทำการศึกษาผลกระทบของขนาดแท่งตัวอย่าง 3 ขนาดในการทดสอบหาค่ากำลังอัด คือ แท่งตัวอย่างทรงกระบอก ขนาด f 6" สูง 12" ขนาด f 4" สูง 8" และ ขนาด f 3" สูง 6" ซึ่งจากการทดลองพบว่า คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตทั้ง 2 ขนาดของมวลรวมที่ศึกษาให้ค่ากำลังอัดสูงสุด ตามด้วยหินบะซอลต์และหินปูน คอนกรีตที่ใช้หินขนาด 3/4" ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าการใช้หินขนาด 3/8" ยกเว้นในหินบะซอลต์ สำหรับการวิบัติของแท่งตัวอย่าง คอนกรีตกำลังสูงจะระเบิดอย่างรุนแรง โดยลักษณะรอยแตกจะเกิดผ่านเนื้อหิน ในขณะที่คอนกรีตทั่วไป การวิบัติเกิดจากมวลรวมและตัวประสานหลุดร่วงแยกออกจากกัน การศึกษานี้ยังพบว่า การเคลือบผิวหน้าแท่งตัวอย่างมีผลต่อค่ากำลังอัด กล่าวคือ ถ้าความหนาของผิวเคลือบหน้าแท่งตัวอย่างคอนกรีตกำลังสูงหนาเกินไปลักษณะการแตกจะเกิดในชั้นของผิวเคลือบหน้าตัวอย่างก่อน ทำให้ผลทดสอบกำลังอัดที่ได้ผิดไปจากคุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูง สำหรับการเสริมเหล็กปลอกเกลียวในแท่งตัวอย่างคอนกรีตนั้นพบว่าการเสริมเหล็กดังกล่าวไม่มีผลกับค่ากำลังอัดของคอนกรีต แต่พบว่าการเสริมเหล็กปลอกเกลียวจะส่งผลในการเพิ่มความเหนียว (Ductility) ให้กับแท่งตัวอย่างภายหลังการวิบัติ โดยที่เหล็กปลอกเกลียวที่มีระยะห่างน้อยจะประคองเนื้อคอนกรีตภายในเหล็กปลอกไม่ให้เกิดการระเบิดออก สำหรับการศึกษาผลกระทบของขนาดแท่งตัวอย่างพบว่า แท่งตัวอย่างทรงกระบอกขนาด f 4" สูง 8" เหมาะสมในการใช้ทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูง เพราะต้องการใช้แรงกดให้แท่งตัวอย่างวิบัติต่ำ และให้ผลการทดสอบที่ค่อนข้างสม่ำเสมอโดยมีค่ากำลังอัดต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแท่งตัวอย่างมาตรฐาน การศึกษานี้ได้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญในการ เลือกสรรชนิดและคุณสมบัติ ที่เหมาะสมของมวลรวมหยาบเพื่อใช้ในการพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงในประเทศไทย

อดิเทพ ตริรัตน์ตระกูลและมงคล ชัยวัฒนาภา (2539 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาเชิงทฤษฎีของการทดสอบโครงสร้างแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Test) ซึ่งเป็นการวิจัยที่ศึกษาถึงการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีรีบาวน์แฮมเมอร์ และวิธีอัลตราโซนิคส์เวโลซิตี ซึ่งผลการวิจัยพบว่า จากข้อมูลการทดสอบคอนกรีตลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน ด้วยวิธีรีบาวน์แฮมเมอร์และวิธีอัลตราโซนิคส์เวโลซิตี ที่ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) และสัดส่วนการผสมต่าง ๆ กันสนับสนุนหลักการที่ว่า การใช้ส่วนผสมที่มีค่า W/C ต่ำ มีผลทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทดสอบและกำลังอัดสูงขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น สามารถประเมินความสัมพันธ์เชิงเส้นของ Rebound Number และกำลังรับแรงอัดได้ด้วยสมการ $f_c = 10.274RN + 77.6054$ ซึ่งให้ระดับความเชื่อมั่นที่ดีพอสมควร ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2 = 65.87 \%$

เค. รามาเมอร์ตี และเอน. นารายานัน (K. Ramamurthy; & N. Narayanan. 1999: abstract) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้สารละลายกักฟองอากาศ ซึ่งวิธีการเพื่อให้ได้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา และเป็นฉนวนควบคุมอุณหภูมิได้ดี โดยการศึกษาได้ทำการพิจารณาถึงอิทธิพลของ อัตราส่วนของหินปูนต่อซีเมนต์, ปริมาณ fly ash ที่ใช้แทนทราย, ขนาดของอนุภาคเม็ดทราย, ความเข้มข้นของสารละลายกักฟองอากาศและวิธีการบ่มคอนกรีตโดยกระบวนการ gas foaming ซึ่งผลการวิจัยสามารถสรุปเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆ ได้คือ ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกักฟองอากาศจะลดลงเมื่ออัตราส่วนหินปูนซีเมนต์ เพิ่มขึ้น , การเพิ่มปริมาณ fly ash ในส่วนผสมจะเป็นการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งหากว่าใช้สารละลายกักฟองอากาศลดลง ก็สามารถที่จะใช้ fly ash แทนทรายได้

จิโวนานี ปาสเคเล,แอนโตนิโอ ดี ลีโอ และโรเบอร์โต คาร์ลี (Giovanni Pascale; Antonio Di Leo; & Roberto Carli. 2000 : abstract) ได้ทำการประเมินและเปรียบเทียบผลค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูงโดยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย โดยการวิจัยดังกล่าวนี้ได้ทำการทดสอบเพื่อหาลำดับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทั้งการทดสอบแบบทำลาย และการทดสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งกระทำกับมวลคอนกรีตทดสอบที่กำหนดปฏิกิริยาส่วนผสมรับแรงอัดตั้งแต่ 30 Mpa จนถึง 150 Mpa ทั้งในรูปแบบของลูกบาศก์มาตรฐานและทรงกระบอกมาตรฐาน โดยผลการทดสอบพบว่าในการใช้วิธีการทดสอบแบบด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ Pulse velocity , rebound hammer , surface hardness , pull out, probe penetration และการทดสอบแบบผสมผสาน ได้แสดงให้เห็นถึงผลการทดสอบที่น่าพอใจในบางวิธีการทดสอบคือ Pulse velocity , rebound hammer , surface hardness และวิธีการทดสอบแบบผสมผสาน ซึ่งได้ผลความสัมพันธ์คล้ายกับการทดสอบบนคอนกรีตปกติ ส่วนการทดสอบ pull out และ probe penetration นั้นพบว่าไม่เหมาะสมในการทดสอบคอนกรีตกำลังอัดสูง

เอส.เอ็ม.เอ. ทาจาลลี และเอส.อาร์. ริจเดน (S.M.A. Tajalli; & S.R. Rigden. 2000 : abstract) ได้ทำการศึกษาข้อมูลความแข็งแรงของสะพานคอนกรีต โดยการทดสอบบางส่วนและการทดสอบแบบไม่ทำลาย เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับพัฒนาแบบจำลองของงานโครงสร้างของกรีตในเขตลอนดอน และเพื่อเป็นข้อมูลในการตรวจสอบและซ่อมแซมสะพานคอนกรีตที่มีอยู่อีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งในการตรวจสอบคุณภาพของโครงสร้างแต่ละส่วนนั้น จะทำการเจาะแท่งตัวอย่างทดสอบโครงสร้างสะพานจำนวน 40 แท่งเพื่อศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ carbonation depth, ปริมาณคลอไรด์ ค่าระยะหุ้มเหล็กเสริม สำหรับการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วย

วิธี Schmidt hammer จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า จำนวนการซ่อมแซมขนาดเล็กทุกๆระยะ 10 ปีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมากที่สุดที่อายุการใช้งาน 30-40 ปี ขณะที่การซ่อมแซมขนาดใหญ่จะเกิดขึ้นมากที่สุดที่อายุการใช้งาน 40-50 ปี

สรุป จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องตามที่ได้กล่าวมานั้น ทำให้เห็นว่าการทดสอบหาค่ารับแรงอัดด้วยวิธี Concrete Test Hammer นั้น เป็นวิธีการทดสอบที่มีความเหมาะสมในการตรวจสอบงานที่ต้องการความสะดวกรวดเร็วและมีความถูกต้องเชื่อถือได้ในระดับที่น่าพอใจทั้งในคอนกรีตปกติและคอนกรีตกำลังสูง โดยที่โครงสร้างที่ทำการทดสอบนั้นยังสามารถใช้งานได้ตามปกติ แต่เนื่องจากในงานวิจัยที่ทำการศึกษาวิธีการดังกล่าวนี้ ได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าการทดสอบโดยส่วนหนึ่งก็คือความหนาแน่นของมวลคอนกรีตที่ทำการทดสอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าปริมาณและลักษณะการเสริมเหล็กที่แตกต่างกันในคอนกรีตที่ทำการทดสอบด้วยวิธี Concrete Hammer Test นั้นจะมีความแปรผันไปด้วยเช่นกัน จึงเป็นเหตุสำคัญของการดำเนินงานวิจัยนี้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัย เพื่อความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็กเสริมและประสิทธิภาพผสมของคอนกรีตในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธีคอนกรีต เทส แฮมเมอร์ ได้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงกึ่งทดลอง (Quasi - Experimental Research) โดยมีลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ชิ้นงานทดสอบเป็น มวลคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีลักษณะการเสริมเหล็กที่แตกต่างกัน โดยทำการทดสอบที่ 3 ค่าของประสิทธิภาพผสมเพื่อรับกำลังอัดของมวลคอนกรีต ดังต่อไปนี้

- ปฏิภาศส่วนผสมที่ 1 เพื่อรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)
- ปฏิภาศส่วนผสมที่ 2 เพื่อรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)
- ปฏิภาศส่วนผสมที่ 3 เพื่อรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 320 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)

แต่ละมวลคอนกรีตทดสอบ จะทำการเสริมเหล็กที่มีลักษณะแตกต่างกันไป โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณการเสริมเหล็กตั้งแต่ร้อยละ 2,4,6 และ 8 โดยเทียบจากพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับพื้นที่หน้าตัดคอนกรีตทดสอบ นอกจากนี้ยังทำการเปลี่ยนแปลงระยะหุ้มเหล็กเสริมตั้งแต่ 2.5, 5.0 และ 7.5 เซนติเมตร ในแต่ละปฏิภาศส่วนผสมของคอนกรีตที่ทำการทดสอบ ดังแสดงรายละเอียดดังนี้

มวลคอนกรีตมาตรฐานที่ไม่มีการเสริมเหล็ก จำนวน 3 ตัวอย่าง

มวลคอนกรีตขนาด 15.0x15.0x120.0 ซม. มีเสริมเหล็กร้อยละ 2,4,6และ8 โดยจัดวางเหล็กห่างจากผิวมวลคอนกรีต 2.5 เซนติเมตร อย่างละ 2 ตัวอย่าง

มวลคอนกรีตขนาด 15.0x15.0x120.0 ซม. มีเสริมเหล็กร้อยละ 2,4,6และ8 โดยจัดวางเหล็กห่างจากผิวมวลคอนกรีต 5.0 เซนติเมตร อย่างละ 2 ตัวอย่าง

มวลคอนกรีตขนาด 15.0x15.0x120.0 ซม. มีเสริมเหล็กร้อยละ 2,4,6และ8 โดยจัดวางเหล็กห่างจากผิวมวลคอนกรีต 7.5 เซนติเมตร อย่างละ 2 ตัวอย่าง

การกำหนดเครื่องมือในการวิจัย

1. เครื่องมือทดลอง เป็นเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลาย Concrete Hammer หรือ Schmidt Rebound Hammer ตัวเครื่องมือจะประกอบไปด้วยค้อน (mass) แกนเหล็กแทงกุด (plunger) ตัวสปริงและมาตรสำหรับอ่านค่า (scale) ทำการทดสอบบนพื้นผิวตัวอย่างคอนกรีตทดสอบ

ซึ่งสามารถประเมินค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ทำการทดสอบ โดยอาศัยหลักการตามที่ได้จากการศึกษาเชิงทฤษฎีของการทดสอบโครงสร้างแบบไม่ทำลาย ในรวมบทความโครงการทางวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2539 (อติเทพ ตริรัตน์ตระกูล และมงคล ชัยวัฒนาภา. 2539 : 109-114) ซึ่งกล่าวว่า การทดสอบคอนกรีตด้วยรีบา운드แฮมเมอร์นั้น อาศัยคุณสมบัติการดูดซึมพลังงาน จากค่า stress wave ratio ซึ่งเป็นอัตราส่วนของคลื่นความเค้นอัดที่สะท้อนกลับจากเนื้อคอนกรีตทดสอบ กับคลื่นที่ส่งผ่านแท่งกดของ Concrete Hammer ในระหว่างการกระแทก โดยการวัดพลังงานจะวัดจาก " แอมพลิจูด " (amplitude) ซึ่งแสดงถึงพลังงานของคลื่น โดยคอนกรีตที่มีกำลังสูง จะมีการดูดซึมพลังงานน้อย ทำให้คลื่นที่สะท้อนกลับมีค่ามาก ปรากฏบนมาตรอ่านค่าบนเครื่องมือทดลอง และสามารถนำไปประเมินเป็นค่ากำลังรับแรงของคอนกรีตได้ ทั้งนี้ปัจจัยที่ทำให้คอนกรีตมีการดูดซึมพลังงานนั้น จะประกอบด้วย ความหนาแน่น ความแข็ง ความเรียบของผิวรวมถึงโมดูลัสยืดหยุ่น

การตรวจสอบคุณภาพของ เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลาย Concrete Hammer หรือ Schmidt Rebound Hammer นั้นจะมีวิธีการสอบเทียบตามมาตรฐานในคู่มือการใช้งาน (Operating Instruction) โดยมี ขั้นตอนดังนี้

1. อุปกรณ์สำหรับประกอบการสอบเทียบ การอ่านค่าจาก Concrete Test Hammer นั้น ประกอบด้วยทั้งเหล็ก (Anvil) หนัก 16 กิโลกรัม และท่อนำร่อง (Guide Tube) สำหรับกดค้อนทดสอบ (Mass) วางบนพื้นผิวที่แข็งและเรียบ เช่น พื้นหินหรือโตะที่มีน้ำหนักมาก
2. ค่าการทดสอบที่ได้จากทั้งเหล็กดังกล่าวจะแสดงบนแผ่นสำหรับสอบเทียบค่าการทดสอบ (Calibration value plate) เช่น 79 +/- 2 ถ้าหากว่าค่าที่ได้จากการปรับแก้ไม่ได้แสดงค่าที่น้อยที่สุด อาจเป็นเพราะความสะอาดระหว่างพื้นผิว
3. ค่า Rebound number (R) ที่อ่านได้จากการทดสอบบนคอนกรีตที่ทำการทดสอบ จะหาได้จากสูตร

$$R = \frac{\text{ผลรวมของค่าที่อ่านได้จากการทดสอบแต่ละครั้ง (} \sum r \text{)}}{\text{จำนวนการทดสอบแต่ละครั้ง}} \times \frac{\text{ค่าการทดสอบปกติ (Nominal Value)}}{\text{ค่าการทดสอบที่อ่านได้จาก anvil (} R_a \text{)}}$$

ซึ่งสูตรดังกล่าวนี้จะใช้เมื่อค่าต่ำที่สุดของ R_a มีค่ามากกว่า 72 แต่ถ้าหากว่า R_a มีค่าน้อยกว่านั้น จะต้องทำความสะอาดเครื่องมือและทำการสอบเทียบค่าใหม่ ถ้าหากว่าไม่สามารถทำการหาทั้งเหล็กทดสอบได้ ควรจะทำการเทียบค่ากับเครื่องมือที่ได้รับการสอบเทียบล่าสุด โดยทำการทดสอบเทียบค่าบนวัสดุที่มีพื้นผิวที่แข็ง

2. เครื่องมือรวบรวมข้อมูล ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer ตามการเสริมเหล็กในมวลคอนกรีตที่เปลี่ยนไป มีลักษณะเป็นแบบวิเคราะห์เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของมวลคอนกรีตทดสอบด้วยวิธี Concrete Test Hammer แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 ไบบันทึกการทดสอบค่าแรงอัดของคอนกรีตล้วน แบ่งรายละเอียดเป็น 3 ตอนคือ

ตอนที่ 1 มีลักษณะเป็นแบบบันทึก เพื่อบันทึกลักษณะของมวลคอนกรีตทดสอบ เกี่ยวกับค่ากำลังอัดที่ใช้ในการออกแบบ วันที่ทำการผสมคอนกรีต และวันที่ทำการทดสอบคอนกรีต

ตอนที่ 2 มีลักษณะเป็นแบบบันทึก เพื่อบันทึกค่าของ Rebound Number (R) ที่อ่านได้จากมาตรวัดบนเครื่องมือ เมื่อทำการกดลงบนมวลคอนกรีตทดสอบ ตลอดจนทิศทางการกดเครื่องมือทดสอบในแต่ละส่วนนั้นจะเป็นการทดสอบบนด้านที่ตั้งฉากกับเหล็กเสริมหลักในมวลคอนกรีตทดสอบ ในแต่ละส่วนนั้นจะประกอบด้วยตารางบันทึกค่า 10 ครั้ง

ตอนที่ 3 มีลักษณะเป็นแบบบันทึก เพื่อบันทึกค่าของ การทดสอบแบบทำลาย

รูปแบบที่ 2 ไบบันทึกการทดสอบค่าแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลาย แบ่งรายละเอียดเป็น 2 ตอนคือ

ตอนที่ 1 มีลักษณะเป็นแบบบันทึก เพื่อบันทึกลักษณะของมวลคอนกรีตทดสอบ เกี่ยวกับค่ากำลังอัดที่ใช้ในการออกแบบ ค่าระยะหุ้มเหล็กเสริม วันที่ทำการผสมคอนกรีต และวันที่ทำการทดสอบคอนกรีต

ตอนที่ 2 มีลักษณะเป็นแบบบันทึก เพื่อบันทึกค่าของ Rebound Number (R) ที่อ่านได้จากมาตรวัดบนเครื่องมือ เมื่อทำการกดลงบนมวลคอนกรีตทดสอบ ตลอดจนทิศทางการกดเครื่องมือทดสอบในแต่ละส่วนนั้นจะเป็นการทดสอบบนด้านที่ตั้งฉากกับเหล็กเสริมหลักในมวลคอนกรีตทดสอบ ในแต่ละส่วนนั้นจะประกอบด้วยตารางบันทึกค่า 10 ครั้ง

การสร้างและตรวจสอบคุณภาพของแบบบันทึก ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer ตามการเสริมเหล็กในมวลคอนกรีตที่เปลี่ยนไป ดำเนินการดังนี้

1. ทำการศึกษาวิธีการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต แบบไม่ทำลายแบบด้วยวิธี Concrete Hammer Test

2. กำหนดโครงสร้างของแบบบันทึก ตามที่ได้ศึกษาจากวิธีการทดสอบ

3. ทำการร่างแบบบันทึก ตามโครงสร้างของเครื่องมือที่กำหนดขึ้น

4. นำร่างแบบบันทึก ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer ตามการเสริมเหล็กในมวลคอนกรีตที่เปลี่ยนไป ให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านต่าง ๆ ทำการตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะในการจัดทำเครื่องมือรวบรวมข้อมูลทดสอบ ดังนี้

4.1 ผู้ทรงคุณวุฒิด้านงานวิจัย 1 คน

4.2 ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการทดสอบคอนกรีต 2 คน ซึ่งเป็นวิศวกรระดับสามัญวิศวกรขึ้นไป หรือเป็นวิศวกรผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบคุณภาพของคอนกรีต ไม่ต่ำกว่า 5 ปี

4.3 ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการวิเคราะห์งานวิศวกรรมโครงสร้าง 2 คน ซึ่งเป็นวิศวกรระดับสามัญวิศวกรขึ้นไป หรือเป็นวิศวกรผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับงานออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ไม่ต่ำกว่า 5 ปี

5. ทำการปรับปรุงร่างเครื่องมือรวบรวมข้อมูล ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer ตามการเสริมเหล็กในมวลคอนกรีตที่เปลี่ยนไป ที่ปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

6. ทำการปรับปรุงเครื่องมือรวบรวมข้อมูล ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer ตามการเสริมเหล็กในมวลคอนกรีตที่เปลี่ยนไป

วิธีการรวบรวมข้อมูล ทำการรวบรวมข้อมูลตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ขออนุญาตและนำตัวจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ถึงวิศวกรโครงการหรือหน่วยงาน เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการจัดทำมวลตัวอย่างทดสอบ และทำการเก็บรวบรวมข้อมูล

3. วิธีการทดลอง

1. แบบแผนการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้แบบแผนการทดลองชนิด ดังนี้

E X1 X2 T

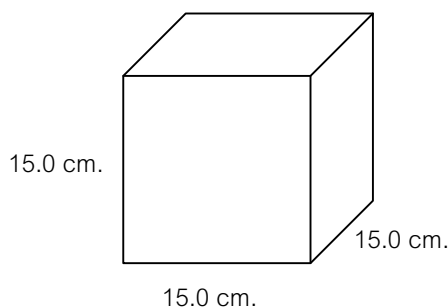
เมื่อ	E	แทน ปฏิภาคส่วนผสมของมวลคอนกรีตทดลอง
	X 1	แทน การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเสริมเหล็กในมวลคอนกรีต
	X 2	แทน การเปลี่ยนแปลงระยะหุ้มเหล็กเสริมในมวลคอนกรีต
	T	แทน การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดด้วยวิธี Concrete Hammer Test

2. ขั้นตอนการทดลอง ดำเนินการทดลองตามลำดับดังนี้

2.1 ทำการกำหนดค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่จะทำการทดลอง โดยกำหนดไว้ 3 ค่าการทดสอบ โดยในการวิจัยครั้งนี้ จะกำหนดใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน ตามการคำนวณอัตราส่วนผสม (Mix design) ที่ 180 , 240 และ 320 ksc. ซึ่งเป็นค่ากำลังรับแรงอัดที่นิยมใช้ในงานวิศวกรรมโครงสร้างทั่วไป

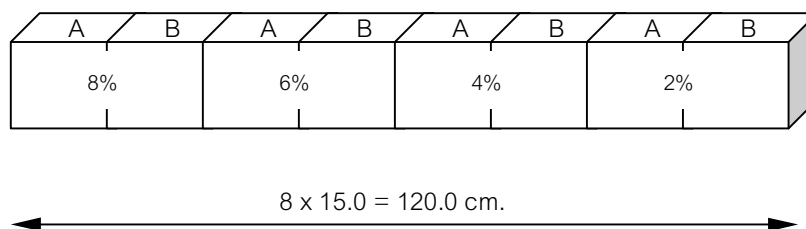
2.2 ทำการคำนวณอัตราส่วนผสมที่ต้องใช้สำหรับทำมวลคอนกรีตทดสอบ ซึ่งในการวิจัยนี้ จะใช้คอนกรีตผสมสำเร็จที่ได้มีการคำนวณอัตราส่วนผสมตามความต้องการแล้ว โดยการขอความอนุเคราะห์วัสดุจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

2.3 จัดทำมวลคอนกรีตทดสอบ โดยในแต่ละอัตราส่วนผสมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้
มวลคอนกรีตที่จัดทำ จะแบ่งเป็นมวลคอนกรีตชุดควบคุม และมวลคอนกรีตทดสอบที่ให้ค่าตัวแปรต่างๆ โดยมวลคอนกรีตควบคุมจะเป็นคอนกรีตล้วนทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 15.0 x 15.0 x 15.0 เซนติเมตร จัดทำตามกระบวนการทำก่อนตัวอย่างมาตรฐาน BS 1881: PART 3 ซึ่งคิดเป็นพื้นที่หน้าตัดของมวลคอนกรีตทดสอบแต่ละก้อนเท่ากับ 225 ตารางเซนติเมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง (ภาพประกอบ 5)



ภาพประกอบ 5 แสดงขนาดของมวลคอนกรีตล้วนในการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด

สำหรับมวลคอนกรีตที่ทำการทดลอง ที่กำหนดให้มีการให้ตัวแปรต่างๆ นั้น จัดทำเป็นมวลคอนกรีตทดสอบขนาดพื้นที่หน้าตัด 15.0x15.0 ยาว 120.0 เซนติเมตร โดยมีการเสริมเหล็กเมื่อเทียบกับหน้าตัดเป็นจำนวนร้อยละ 2 , 4 , 6 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละอัตราส่วนผสมนั้นจะจัดวางการเสริมเหล็กตามระยะหุ้มของคอนกรีตที่ 2.5 ซม., 5.0 ซม. และ 7.5 ซม. ตามลำดับ (ภาพประกอบ 6)



ภาพประกอบ 6 แสดงขนาดของมวลคอนกรีตเสริมเหล็กในการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด

ในมวลตัวอย่างที่ทำการเสริมเหล็กประมาณร้อยละ 2 ใช้เหล็กเสริมกลม SR24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. จำนวน 8 เส้น คิดเป็นร้อยละ 2.26

ในมวลตัวอย่างที่ทำการเสริมเหล็กประมาณร้อยละ 4 ใช้เหล็กเสริมกลม SR24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. จำนวน 14 เส้น คิดเป็นร้อยละ 3.96

ในมวลตัวอย่างที่ทำการเสริมเหล็กประมาณร้อยละ 6 ใช้เหล็กเสริมกลม SR24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. จำนวน 21 เส้น คิดเป็นร้อยละ 5.94

ในมวลตัวอย่างที่ทำการเสริมเหล็กประมาณร้อยละ 8 ใช้เหล็กเสริมกลม SR24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. จำนวน 28 เส้น คิดเป็นร้อยละ 7.92

2.4 ทำการบ่มมวลทั้งหมดที่จัดทำขึ้นตามวิธีมาตรฐาน จนมีอายุ 28 วัน

2.5 เมื่อครบอายุการบ่มที่ 28 วัน จึงทำการทดสอบหาลำดับรับแรงอัดของมวลคอนกรีตทดสอบ แต่ละก้อนด้วย Concrete hammer หรือ Schmidt rebound hammer และบันทึกค่า Rebound Number (R) ที่ปรากฏบนมาตรวัดของเครื่องมือ และบันทึกทิศทางการกดเครื่องมือลงบนมวลคอนกรีตทดสอบ โดยทดสอบเฉพาะด้านที่มีระยะห่างไปกับเหล็กเสริมหลักที่เป็นตัวแปร ในแต่ละส่วน

ทำการทดสอบ Concrete hammer ทดสอบค่าทั้งสิ้น 10 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละด้าน ดังนั้น ใน 1 ชุด การทดสอบของแต่ละอัตราส่วนผสมนั้น จะมีค่าทดสอบทั้งสิ้น 270 ค่า

2.6 ทำการปรับแก้ค่าตามการสอบเทียบเครื่องมือ และทิศทางการกดเครื่องมือลงบนมวลคอนกรีต ตามตารางที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งาน

2.7 นำมวลคอนกรีตควบคุมที่ไม่มีการเสริมเหล็ก ไปทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด ด้วยวิธีการทดสอบแบบทำลาย อัตราส่วนผสมละ 3 ก้อน แล้วหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จาก Concrete hammer

การจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูล

1. การจัดกระทำข้อมูล

ตรวจสอบความถูกต้องของการรวบรวมข้อมูลทั้งหมด ทั้งสิ้น 810 ค่า และค่าทดสอบจากการทดสอบแบบทำลายของมวลคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็ก จำนวน 9 ค่า มาทำการวิเคราะห์ข้อมูล

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์สถิติ ด้วยคอมพิวเตอร์ชื่อ SPSS version 13.0 for Windows ดังนี้

1.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมและระยะหุ้มเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธี Concrete Test Hammer วิเคราะห์โดยใช้สถิติ ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (แบบเพียร์สัน)

1.2 ทำการศึกษา Model ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติสำหรับหาค่าเฉลี่ย (พวงรัตน์ ทวีรัตน์.2543 : 137)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

เมื่อ	$\bar{X}$	แทน	ค่าเฉลี่ยของค่าการทดสอบ
	$\sum X$	แทน	ผลรวมของค่าการทดสอบทั้งหมด
	n	แทน	จำนวนค่าการทดสอบทั้งหมด

2. สถิติสำหรับหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (พวงรัตน์ ทวีรัตน์.2543 : 143)

$$S = \sqrt{\frac{n\sum X^2 - (\sum X)^2}{n(n-1)}}$$

เมื่อ	S	แทน	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการทดสอบ
	$(\sum X)^2$	แทน	ผลรวมของค่าการทดสอบทั้งหมด ยกกำลังสอง
	$\sum X^2$	แทน	ผลรวมของค่าการทดสอบแต่ละค่า ยกกำลังสอง
	n	แทน	จำนวนค่าการทดสอบทั้งหมด

3. สถิติสำหรับพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของค่าการทดสอบและตัวแปร

สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson product moment correlation)

$$r_{xy} = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

เมื่อ	r_{xy}	แทน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และตัวแปร Y
	n	แทน	จำนวนค่าการทดสอบทั้งหมด
	$\sum X$	แทน	ผลรวมของค่าการทดสอบจากตัวแปร X
	$\sum Y$	แทน	ผลรวมของค่าการทดสอบจากตัวแปร Y
	$\sum XY$	แทน	ผลรวมของผลคูณค่าการทดสอบที่ได้จากตัวแปร X และตัวแปร Y เป็นคู่ๆในรูปค่าการทดสอบดิบ
	$\sum X^2$	แทน	ผลรวมของค่าการทดสอบแต่ละค่าจากตัวแปร X ยกกำลังสอง
	$\sum Y^2$	แทน	ผลรวมของค่าการทดสอบแต่ละค่าจากตัวแปร Y ยกกำลังสอง

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริม และระยะหุ้มเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธี Concrete Test Hammer ผู้วิจัยต้องการทดสอบสมมติฐานการวิจัยดังนี้

1. ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer มีความสัมพันธ์กับปริมาณเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็กเสริมและปริมาตรส่วนผสมของคอนกรีตในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองและบันทึกผลการทดลอง ตามกระบวนการและขั้นตอนที่ปรากฏในวิธีการดำเนินการทดลองในบทที่ 3 ซึ่งผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลนั้นผู้วิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบมวลคอนกรีตแบบไม่ทำลายด้วย Concrete Test Hammer โดยเมื่อได้ผลการทดสอบที่ได้อ่านค่าจากเครื่องมือทดสอบแล้ว จะทำการปรับแก้ค่าอ่านอันเนื่องมาจากทิศทางทดสอบ โดยใช้ตาราง 3 ในบทที่ 2

หลังจากที่ได้นำข้อมูลจากค่าอ่านที่ได้จากเครื่องมือทดสอบมาทำการปรับแก้แล้ว จึงทำการสรุปรายละเอียดของข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์ผลดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตาราง 4 ค่า Rebound Number (R) จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตด้วยวิธี Concrete Test Hammer ที่ภูมิภาคส่วนผสมกำลังอัดที่ 180 กก./ตร.ซม. (ทดสอบ 10 ครั้ง ต่อชุดการทดสอบ)

ปริมาณเหล็กเสริม (ร้อยละ)	รายละเอียดการเสริมเหล็ก		ค่าเฉลี่ย R	SD
	ระยะหุ้มเหล็ก (ซม.)	ชุดทดสอบ		
0	0	A	29.0	1.14
0	0	B	29.8	1.35
0	0	C	29.2	0.94
2	2.5	A	29.4	1.14
2	2.5	B	29.6	1.26
4	2.5	A	30.6	0.97
4	2.5	B	30.4	1.03
6	2.5	A	31.2	1.33
6	2.5	B	31.0	1.48
8	2.5	A	30.8	1.26
8	2.5	B	31.6	1.26
2	5.0	A	28.8	1.26
2	5.0	B	28.8	1.26
4	5.0	A	29.2	1.33
4	5.0	B	28.6	0.97
6	5.0	A	28.8	0.84
6	5.0	B	28.6	0.97
8	5.0	A	30.0	1.03
8	5.0	B	30.0	1.03
2	7.5	A	29.6	1.26
2	7.5	B	28.6	1.35
4	7.5	A	28.6	0.97
4	7.5	B	28.6	0.97
6	7.5	A	28.4	1.40
6	7.5	B	28.4	1.03
8	7.5	A	28.4	1.03
8	7.5	B	28.4	1.03

ตาราง 5 ค่า Rebound Number (R) จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตด้วยวิธี Concrete Test Hammer ที่ภูมิภาคส่วนผสมกำลังอัดที่ 240 กก./ตร.ซม. (ทดสอบ 10 ครั้ง ต่อชุดการทดสอบ)

ปริมาณเหล็กเสริม (ร้อยละ)	รายละเอียดการเสริมเหล็ก		ค่าเฉลี่ย R	SD
	ระยะหุ้มเหล็ก (ซม.)	ชุดทดสอบ		
0	0	A	33.9	1.91
0	0	B	33.4	1.26
0	0	C	33.6	1.65
2	2.5	A	34.2	1.69
2	2.5	B	34.4	1.90
4	2.5	A	34.4	1.65
4	2.5	B	34.6	1.58
6	2.5	A	35.0	1.33
6	2.5	B	35.2	1.75
8	2.5	A	35.2	1.48
8	2.5	B	35.2	1.48
2	5.0	A	33.2	1.75
2	5.0	B	33.6	1.90
4	5.0	A	33.2	1.99
4	5.0	B	33.4	1.84
6	5.0	A	33.4	1.58
6	5.0	B	33.2	1.99
8	5.0	A	33.4	1.58
8	5.0	B	33.6	0.97
2	7.5	A	33.8	1.69
2	7.5	B	33.2	1.14
4	7.5	A	33.8	1.03
4	7.5	B	33.8	1.40
6	7.5	A	33.6	0.97
6	7.5	B	33.4	1.26
8	7.5	A	33.8	1.40
8	7.5	B	34.0	1.05

ตาราง 6 ค่า Rebound Number (R) จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตด้วยวิธี Concrete Test Hammer ที่ภูมิภาคส่วนผสมกำลังอัดที่ 320 กก./ตร.ซม. (ทดสอบ 10 ครั้ง ต่อชุดการทดสอบ)

ปริมาณเหล็กเสริม (ร้อยละ)	รายละเอียดการเสริมเหล็ก		ค่าเฉลี่ย	SD
	ระยะหุ้มเหล็ก (ซม.)	ชุดทดสอบ	R	
0	0	A	40.2	1.40
0	0	B	40.6	1.26
0	0	C	40.2	1.03
2	2.5	A	40.6	1.26
2	2.5	B	40.8	1.14
4	2.5	A	41.4	1.26
4	2.5	B	41.6	0.97
6	2.5	A	42.4	1.35
6	2.5	B	43.0	1.33
8	2.5	A	43.6	1.35
8	2.5	B	44.0	1.05
2	5.0	A	40.6	1.26
2	5.0	B	40.8	1.14
4	5.0	A	40.4	0.97
4	5.0	B	40.8	1.14
6	5.0	A	40.4	0.97
6	5.0	B	40.2	1.03
8	5.0	A	40.6	1.26
8	5.0	B	40.6	1.26
2	7.5	A	40.4	0.97
2	7.5	B	40.6	1.26
4	7.5	A	40.6	0.84
4	7.5	B	40.8	1.48
6	7.5	A	40.4	0.97
6	7.5	B	40.6	1.26
8	7.5	A	40.8	1.14
8	7.5	B	40.4	0.97

จากข้อมูลที่ได้ข้างต้น ผู้วิจัยได้นำไปวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ โดยใช้ค่าความสัมพันธ์ของการทดสอบและตัวแปรสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson product moment correlation) ซึ่งประมวลผลด้วยโปรแกรม SPSS Version 13.0 for Windows ปรากฏผลดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 180 ksc

ตาราง 7 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรแบบเพียร์สัน ของชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 180 ksc.

		Rebound Number	Percentage of Rebar	Covering
Rebound Number	Pearson Correlation	1	0.145*	-0.386**
	Sig. (2-tailed)		0.017	0.000
	N	270	270	270
Percentage of Rebar	Pearson Correlation	0.145*	1	-0.378**
	Sig. (2-tailed)	0.017		0.000
	N	270	270	270
Covering	Pearson Correlation	-0.386**	0.378*	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	
	N	270	270	270

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

จากค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรในชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 180 ksc. นั้น เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม พบว่าปริมาณของเหล็กเสริมในมวลคอนกรีต (Percentage of Rebar) มีความสัมพันธ์กับค่า Rebound Number อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และ ระยะหุ้มเหล็ก (Covering) มีความสัมพันธ์กับค่า Rebound Number อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพื่อเป็น Model ที่ใช้สำหรับการทำนายค่า ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 9

ตาราง 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 180 ksc.

		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
Model		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	29.927	0.179		166.887	0.000
	Covering	-0.301	0.034	-0.514	-8.972	0.000
	Percentage of Rebar	0.188	0.032	0.339	5.915	0.000

Dependent Variable : Rebound Number

สรุป model ของการทดสอบปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 180 ksc. ได้ดังนี้

$$R = 29.927 - 0.301C + 0.188P$$

เมื่อ	R	แทน	ค่า Rebound Number
	C	แทน	ระยะหุ้มเหล็ก (Covering)
	P	แทน	ปริมาณการเสริมเหล็กในคอนกรีต

ผลการวิเคราะห์ชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 240 ksc

ตาราง 9 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรแบบเพียร์สัน ของชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 240 ksc.

		Rebound Number	Percentage of Rebar	Covering
Rebound Number	Pearson Correlation	1	-0.166**	0.115
	Sig. (2-tailed)		0.006	0.060
	N	270	270	270
Percentage of Rebar	Pearson Correlation	-0.166**	1	0.378**
	Sig. (2-tailed)	0.006		0.000
	N	270	270	270
Covering	Pearson Correlation	0.115	0.378**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	
	N	270	270	270

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

จากค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรในชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 240 ksc. นั้น เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม พบว่ามีตัวแปรของระยะหุ้มเหล็ก (Covering) ที่มีความสัมพันธ์กับค่า Rebound Number อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพื่อเป็น Model ที่ใช้สำหรับการทำนายค่า ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 11

ตาราง 10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 240 ksc.

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	34.047	0.221		153.847	0.000
Covering	-0.158	0.041	-0.244	-3.816	0.000
Percentage of Rebar	0.127	0.039	0.207	3.238	0.001

Dependent Variable : Rebound Number

สรุป model ของการทดสอบปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 240 ksc. ได้ดังนี้

$$R = 34.047 - 0.158C + 0.127P$$

เมื่อ	R	แทน	ค่า Rebound Number
	C	แทน	ระยะหุ้มเหล็ก (Covering)
	P	แทน	ปริมาณการเสริมเหล็กในคอนกรีต

ผลการวิเคราะห์ชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 320 ksc

ตาราง 11 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรแบบเพียร์สัน ของชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 320 ksc.

		Rebound Number	Percentage of Rebar	Covering
Rebound Number	Pearson Correlation	1	-0.216**	0.284**
	Sig. (2-tailed)		0.000	0.000
	N	270	270	270
Percentage of Rebar	Pearson Correlation	-0.216*	1	0.378**
	Sig. (2-tailed)	0.000		0.000
	N	270	270	270
Covering	Pearson Correlation	0.284**	0.378**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	
	N	270	270	270

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

จากค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรในชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 320 ksc. นั้น เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม พบว่าปริมาณของเหล็กเสริมในมวลคอนกรีต (Percentage of Rebar) มีความสัมพันธ์กับค่า Rebound Number อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 และ ระยะหุ้มเหล็ก (Covering) มีความสัมพันธ์กับค่า Rebound Number อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพื่อเป็น Model ที่ใช้สำหรับการทำนายค่า ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 13

ตาราง 12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 320 ksc.

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	40.947	0.191		214.883	0.000
Covering	-0.228	0.036	-0.378	-6.396	0.000
Percentage of Rebar	0.243	0.034	0.426	7.224	0.000

Dependent Variable : Rebound Number

สรุป model ของการทดสอบปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 320 ksc. ได้ดังนี้

$$R = 40.947 - 0.228C + 0.243P$$

เมื่อ R แทน ค่า Rebound Number
C แทน ระยะหุ้มเหล็ก (Covering)
P แทน ปริมาณการเสริมเหล็กในคอนกรีต

ส่วนที่ 2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบมวลคอนกรีตล้วน โดยการทดสอบแบบทำลาย

ตาราง 13 แสดงค่าการทดสอบมวลคอนกรีตทรงลูกบาศก์มาตรฐาน แบบทำลาย

คอนกรีตทดสอบ	แรงกด (ตัน)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
180-A	54.5	225	242
180-B	53.5	225	238
180-C	54.5	225	242
240-A	72.0	225	320
240-B	71.5	225	318
240-C	71.5	225	318
320-A	100.5	225	447
320-B	100.0	225	444
320-C	101.0	225	449

จากตาราง 14 เป็นการนำค่าการทดสอบมาคำนวณเป็นค่ากำลังรับแรงอัดซึ่งมีหน่วยเป็น กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร แต่เนื่องจากการเก็บตัวอย่างทดสอบ ได้จัดทำเป็นทรงลูกบาศก์มาตรฐาน ดังนั้นจึงต้องเทียบค่ากลับมาเป็นค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ซึ่งมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 20 ดังตาราง 15

ตาราง 14 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของมวลคอนกรีตทดสอบ และค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณอัตราส่วนผสม

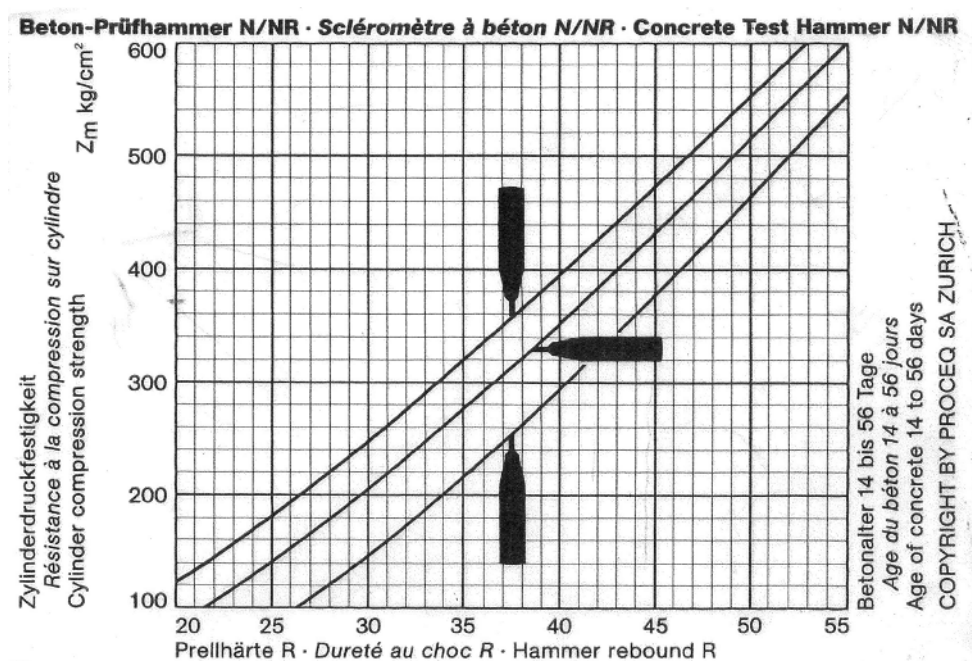
คอนกรีตทดสอบ	กำลังรับแรงอัด (ksc.) ทรงลูกบาศก์	กำลังรับแรงอัด (ksc.) ทรงกระบอก	ความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)
180-A	242	194	+ 7.78
180-B	238	190	+ 5.56
180-C	242	194	+ 7.78
240-A	320	256	+ 6.67
240-B	318	254	+ 5.83
240-C	318	254	+ 5.83
320-A	447	358	+11.88
320-B	444	355	+10.94
320-C	449	359	+12.19

จากตาราง 15 พบว่าปฏิกิริยาส่วนผสมที่คำนวณและนำมาจัดทำเป็นมวลคอนกรีตทดสอบนั้น ให้ค่ากำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับการตั้งค่ากำลังรับแรงอัดไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำค่าที่ได้จากการทดสอบแบบทำลาย เทียบกลับเป็นค่า Rebound Number ที่ควรจะเป็น โดยใช้กราฟแปลผลจาก Operating Instructions ของเครื่องมือ Concrete Test Hammer (ภาพ 7) มาเปรียบเทียบกับค่า Rebound Number ที่เกิดขึ้นจริงจากการทดสอบ ได้ผลดังตาราง 16

ตาราง 15 แสดงการเปรียบเทียบค่า Rebound Number ที่ได้จากการกราฟแปลผล (Rc) และ Rebound Number ที่ได้จากการทดสอบจริง (Rt)

คอนกรีตทดสอบ	กำลังรับแรงอัด (ksc.) ทรงกระบอก	Rc*	Rt
180-A	194	29	29.0
180-B	190	29	29.8
180-C	194	29	29.2
240-A	256	33	33.9
240-B	254	33	33.4
240-C	254	33	33.6
320-A	358	40	40.2
320-B	355	40	40.6
320-C	359	40	40.2

* หมายเหตุ เป็นค่าโดยประมาณจากภาพ 7



ภาพ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Rebound Number และ ค่ากำลังรับแรงอัด ทรงกระบอกมาตรฐาน (ksc.)

ที่มา : Operating Instructions Concrete Test Type N and NR . (n.d.). Zurich: PROCEQ SA. : .

จากตาราง 15 พบว่าเครื่องมือทดสอบ Concrete Test Hammer ให้ค่าการทดสอบที่ใกล้เคียงกับมวลคอนกรีตที่เป็นตัวอย่างควบคุม (คอนกรีตล้วน)

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็กเสริมและประสิทธิภาพผสมของคอนกรีตในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี คอนกรีต เทส แฮมเมอร์ เป็นการศึกษาค้นคว้าเชิงทดลอง ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยเป็นลำดับขั้นตอนตามหัวข้อดังต่อไปนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีคอนกรีต เทส แฮมเมอร์
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะหุ้มเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีคอนกรีต เทส แฮมเมอร์
3. เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีคอนกรีต เทส แฮมเมอร์ บนมวลคอนกรีตที่มีลักษณะการเสริมเหล็กต่างๆ ในแต่ละประสิทธิภาพส่วนผสม (Mix design)

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมและระยะหุ้มเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธี Concrete Test Hammer โดยข้อมูลที่ได้นี้จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต และความสัมพันธ์ระหว่างระยะหุ้มเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer ที่แต่ละประสิทธิภาพส่วนผสม (Mix design) ซึ่งจะสร้างความเชื่อมั่นในการตรวจสอบ คุณสมบัติด้านความสามารถในการรับแรงอัดในการทำการทดสอบแบบไม่ทำลาย และเป็นข้อมูลในการนำไปวิเคราะห์ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งในงานวิศวกรรมโครงสร้างขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ที่มีลักษณะการเสริมเหล็กที่แตกต่างกันไป

สมมติฐานการวิจัย

ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีคอนกรีต เทส แฮมเมอร์ มีความสัมพันธ์กับปริมาณเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็กเสริมและประสิทธิภาพส่วนผสมของคอนกรีตในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ทำการกำหนดชิ้นงานทดสอบเป็น มวลคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีลักษณะการเสริมเหล็กที่แตกต่างกันโดยทำการทดสอบที่ 3 ค่าของปฏิภาคส่วนผสมเพื่อรับกำลังอัดของมวลคอนกรีต ดังต่อไปนี้

- ปฏิภาคส่วนผสมที่ 1 เพื่อรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc.)
- ปฏิภาคส่วนผสมที่ 2 เพื่อรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc.)
- ปฏิภาคส่วนผสมที่ 3 เพื่อรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 320 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc.)

โดยแต่ละมวลคอนกรีตทดสอบ จะทำการเสริมเหล็กที่มีลักษณะแตกต่างกันไป โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณการเสริมเหล็กตั้งแต่ร้อยละ 2,4,6 และ 8 โดยเทียบจากพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับพื้นที่หน้าตัดคอนกรีตทดสอบ นอกจากนี้ยังทำการเปลี่ยนแปลงระยะหุ้มเหล็กเสริมตั้งแต่ 2.5, 5.0 และ 7.5 เซนติเมตร ในแต่ละปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตที่ทำการทดสอบ ดังแสดงรายละเอียดดังนี้

มวลคอนกรีตมาตรฐานที่ไม่มีการเสริมเหล็ก จำนวน 3 ตัวอย่าง

มวลคอนกรีตขนาด 15.0x15.0x120.0 ซม. มีเสริมเหล็กร้อยละ 2,4,6และ8 โดยจัดวางเหล็กห่างจากผิวมวลคอนกรีต 2.5 เซนติเมตร จำนวน 2 ตัวอย่าง

มวลคอนกรีตขนาด 15.0x15.0x120.0 ซม. มีเสริมเหล็กร้อยละ 2,4,6และ8 โดยจัดวางเหล็กห่างจากผิวมวลคอนกรีต 5.0 เซนติเมตร จำนวน 2 ตัวอย่าง

มวลคอนกรีตขนาด 15.0x15.0x120.0 ซม. มีเสริมเหล็กร้อยละ 2,4,6และ8 โดยจัดวางเหล็กห่างจากผิวมวลคอนกรีต 7.5 เซนติเมตร จำนวน 2 ตัวอย่าง

2. ทำการกำหนดเครื่องมือในการวิจัย

2.1 เครื่องมือทดสอบ เป็นเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลาย Concrete Hammer หรือ Schmidt Rebound Hammer และมีการตรวจสอบคุณภาพของ เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลาย Concrete Hammer หรือ Schmidt Rebound Hammer นั้นจะมีวิธีการสอบเทียบตามมาตรฐานในคู่มือการใช้งาน (Operating Instruction)

2.2 เครื่องมือรวบรวมข้อมูล ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี Concrete Test Hammer ตามการเสริมเหล็กในมวลคอนกรีตที่เปลี่ยนไป มีลักษณะเป็น แบบวิเคราะห์เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของมวลคอนกรีตทดสอบ ด้วยวิธี Concrete Test Hammer แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

- | | |
|-------------|--|
| รูปแบบที่ 1 | ใบบันทึกการทดสอบค่าแรงอัดของคอนกรีตล้วน |
| รูปแบบที่ 2 | ใบบันทึกการทดสอบค่าแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลาย |

1. ขั้นตอนการทดลอง

3.1 กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่จะทำการทดลอง โดยกำหนดไว้ 3 ค่าการทดสอบ โดยในการวิจัยครั้งนี้ จะกำหนดใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน ตามการคำนวณอัตราส่วนผสม (Mix design) ที่ 180 , 240 และ 320 ksc. ซึ่งเป็นค่ากำลังรับแรงอัดที่นิยมใช้ในงานวิศวกรรมโครงสร้างทั่วไป

1.2 ทำการคำนวณอัตราส่วนผสมที่ต้องใช้สำหรับทำมวลคอนกรีตทดสอบ ซึ่งในการวิจัยนี้ จะใช้คอนกรีตผสมสำเร็จที่ได้มีการคำนวณอัตราส่วนผสมตามความต้องการแล้ว โดยการขอความอนุเคราะห์วัสดุจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

1.3 จัดทำมวลคอนกรีตทดสอบ โดยในแต่ละอัตราส่วนผสมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

มวลคอนกรีตที่จัดทำ จะแบ่งเป็นมวลคอนกรีตชุดควบคุม และมวลคอนกรีตทดสอบที่ให้ค่าตัวแปรต่างๆ โดยมวลคอนกรีตควบคุมจะเป็นคอนกรีตล้วนทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 15.0 x 15.0 x 15.0 เซนติเมตร จัดทำตามกระบวนการทำก้อนตัวอย่างมาตรฐาน BS 1881: PART 3 ซึ่งคิดเป็นพื้นที่หน้าตัดของมวลคอนกรีตทดสอบแต่ละก้อนเท่ากับ 225 ตารางเซนติเมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง

สำหรับมวลคอนกรีตที่ทำการทดลอง ที่กำหนดมีการให้ตัวแปรต่างๆ นั้น จัดทำเป็นมวลคอนกรีตทดสอบขนาดพื้นที่หน้าตัด 15.0x15.0 ยาว 120.0 เซนติเมตร โดยมีการเสริมเหล็กเมื่อเทียบกับหน้าตัดเป็นจำนวนร้อยละ 2 , 4 , 6 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละอัตราส่วนผสมนั้นจะจัดวางการเสริมเหล็กตามระยะหุ้มของคอนกรีตที่ 2.5 ซม., 5.0 ซม. และ 7.5 ซม. ตามลำดับ

ในมวลตัวอย่างที่ทำการเสริมเหล็กประมาณร้อยละ 2 ใช้เหล็กเสริมกลม SR24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. จำนวน 8 เส้น คิดเป็นร้อยละ 2.26

ในมวลตัวอย่างที่ทำการเสริมเหล็กประมาณร้อยละ 4 ใช้เหล็กเสริมกลม SR24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. จำนวน 14 เส้น คิดเป็นร้อยละ 3.96

ในมวลตัวอย่างที่ทำการเสริมเหล็กประมาณร้อยละ 6 ใช้เหล็กเสริมกลม SR24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. จำนวน 21 เส้น คิดเป็นร้อยละ 5.94

ในมวลตัวอย่างที่ทำการเสริมเหล็กประมาณร้อยละ 8 ใช้เหล็กเสริมกลม SR24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. จำนวน 28 เส้น คิดเป็นร้อยละ 7.92

1.4 ทำการบ่มมวลทั้งหมดที่จัดทำขึ้นตามวิธีมาตรฐาน จนมีอายุ 28 วัน

1.5 เมื่อครบอายุการบ่มที่ 28 วัน จึงทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของมวลคอนกรีตทดสอบ แต่ละก้อนด้วย Concrete hammer หรือ Schmidt rebound hammer และบันทึกค่า Rebound Number (R) ที่ปรากฏบนมาตรวัดของเครื่องมือ และบันทึกทิศทางการกดเครื่องมือลงบนมวลคอนกรีตทดสอบ โดยทดสอบเฉพาะด้านที่มีระนาบขนานไปกับเหล็กเสริมหลักที่เป็นตัวแปร ในแต่ละส่วนทำการกด Concrete hammer ทดสอบค่าทั้งสิ้น 10 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละด้าน ดังนั้น ใน 1 ชุดการทดสอบของแต่ละอัตราส่วนผสมนั้น จะมีค่าทดสอบทั้งสิ้น 270 ค่า

1.6 ทำการปรับแก้ค่าตามการสอบเทียบเครื่องมือ และทิศทางการกดเครื่องมือลงบนมวลคอนกรีต ตามตารางที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งาน จากนั้นทำการบันทึกผล

1.7 นำมวลคอนกรีตควบคุมที่ไม่มีการเสริมเหล็ก ไปทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดด้วยวิธีการทดสอบแบบทำลาย อัตราส่วนผสมละ 3 ก้อน แล้วหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จาก Concrete hammer

1.8 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่า Rebound Number โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 13.0 for Windows เพื่อดำเนินการหาค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson product moment correlation)

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการวิจัยในแต่ละภูมิภาคส่วนผสมของคอนกรีต แสดงให้เห็นว่าปริมาณเหล็กเสริม (Percentage of Rebar) และระยะหุ้มเหล็กเสริม (Covering) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธีคอนกรีต เทส แฮมเมอร์ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สามารถแสดงเป็นสมการสำหรับแต่ละภูมิภาคส่วนผสมของคอนกรีต ดังนี้

1.1 ชุดทดสอบคอนกรีตภูมิภาคส่วนผสมที่ 180 ksc.

$$R = 29.927 - 0.301C + 0.188P$$

ตาราง 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rebound Number กับปริมาณเหล็กเสริมและระยะหุ้มเหล็กเสริม คอนกรีตภูมิภาคส่วนผสมคอนกรีตที่ 180 ksc. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)

ระยะหุ้มเหล็ก (ซม.)	ปริมาณเหล็กเสริม (ร้อยละ)	Rebound Number
C	P	R
2.50	2.0	29.55
2.50	3.0	29.74
2.50	4.0	29.93
2.50	5.0	30.11
2.50	6.0	30.30
2.50	7.0	30.49
2.50	8.0	30.68
5.00	2.0	28.80
5.00	3.0	28.99
5.00	4.0	29.17
5.00	5.0	29.36
5.00	6.0	29.55
5.00	7.0	29.74
5.00	8.0	29.93
7.50	2.0	28.05
7.50	3.0	28.23
7.50	4.0	28.42
7.50	5.0	28.61
7.50	6.0	28.80
7.50	7.0	28.99
7.50	8.0	29.17

1.2 ชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 240 ksc.

$$R = 34.047 - 0.158C + 0.127P$$

ตาราง 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rebound Number กับปริมาณเหล็กเสริมและระยะหุ้มเหล็กเสริม
คอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมคอนกรีตที่ 240 ksc. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)

ระยะหุ้มเหล็ก (ซม.)	ปริมาณเหล็กเสริม (ร้อยละ)	Rebound Number
C	P	R
2.50	2.0	33.91
2.50	3.0	34.03
2.50	4.0	34.16
2.50	5.0	34.29
2.50	6.0	34.41
2.50	7.0	34.54
2.50	8.0	34.67
5.00	2.0	33.51
5.00	3.0	33.64
5.00	4.0	33.77
5.00	5.0	33.89
5.00	6.0	34.02
5.00	7.0	34.15
5.00	8.0	34.27
7.50	2.0	33.12
7.50	3.0	33.24
7.50	4.0	33.37
7.50	5.0	33.50
7.50	6.0	33.62
7.50	7.0	33.75
7.50	8.0	33.88

1.3 ชุดทดสอบคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 320 ksc.

$$R = 40.947 - 0.228C + 0.243P$$

ตาราง 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rebound Number กับปริมาณเหล็กเสริมและระยะหุ้มเหล็กเสริมคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมคอนกรีตที่ 320 ksc. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)

ระยะหุ้มเหล็ก (ซม.)	ปริมาณเหล็กเสริม (ร้อยละ)	Rebound Number
C	P	R
2.50	2.0	40.86
2.50	3.0	41.11
2.50	4.0	41.35
2.50	5.0	41.59
2.50	6.0	41.84
2.50	7.0	42.08
2.50	8.0	42.32
5.00	2.0	40.29
5.00	3.0	40.54
5.00	4.0	40.78
5.00	5.0	41.02
5.00	6.0	41.27
5.00	7.0	41.51
5.00	8.0	41.75
7.50	2.0	39.72
7.50	3.0	39.97
7.50	4.0	40.21
7.50	5.0	40.45
7.50	6.0	40.70
7.50	7.0	40.94
7.50	8.0	41.18

2. ค่า Rebound Number ที่ได้จากการทดสอบมวลคอนกรีตล้วน ทรงลูกบาศก์มาตรฐาน มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบแบบทำลาย ดังตาราง 16

อภิปรายผล

1. ตัวแปรอิสระ ซึ่งได้แก่ ปริมาณเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็กเสริม มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับค่ากำลังรับแรงอัดจากการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Rebound Number) ซึ่งเป็นตัวแปรตาม เป็นผลจากหลักการของ Concrete Test Hammer ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตล้วน และนำไปประกอบการคำนวณตามหลักการทางวิศวกรรมประเมินค่าการรับน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นวัสดุประเภท Composite material เมื่อการทดสอบบนพื้นผิวของคอนกรีตเสริมเหล็ก จะทำให้ความหนาแน่นซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการดูดซึมพลังงานที่ส่งถ่ายไปยังเครื่องมือทดสอบ Concrete Test Hammer เปลี่ยนไป (อติเทพ ตรีรัตน์ตระกูล และ มงคล ชัยวัฒนาภา. 2539 : บทคัดย่อ) เป็นผลให้ค่าการทดสอบที่ปรากฏบนมาตรวัดที่ตัวเครื่องมือมีค่าเปลี่ยนไปด้วย

2. ค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธี คอนกรีต เทส แฮมเมอร์ บนมวลคอนกรีตล้วนทรงลูกบาศก์มาตรฐาน มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบแบบทำลายซึ่งแสดงให้เห็นว่า วิธีการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ทำลายด้วย Concrete Test Hammer นั้น ให้ค่าการทดสอบที่น่าเชื่อถือได้

1. เมื่อพิจารณาค่า Rebound Number ทั้งหมดที่ได้จากการทดสอบในแต่ละภูมิภาคส่วนผสมของคอนกรีต พบว่าเมื่อกำหนดค่าระยะหุ้มเหล็กที่ 2.5 ซม. และปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นนั้น ค่าของ Rebound Number จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวนี้สูงกว่าการทดสอบบนคอนกรีตล้วน แต่เมื่อกำหนดค่าระยะหุ้มเหล็กที่ 5.0 ซม. และ 7.5 ซม. โดยมีปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้น พบว่าค่าของ Rebound Number จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบบนคอนกรีตล้วน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะหุ้มของคอนกรีตมีค่าน้อยและมีปริมาณเหล็กเสริมมาก ค่า Rebound Number ที่ทดสอบได้จะมีค่ามากกว่าการทดสอบจากคอนกรีตล้วน เนื่องจากพลังงานในการกดกระแทกและสะท้อนกลับมายังเครื่องมือ นั้น ได้รับผลกระทบจากความหนาแน่นของเหล็กเสริมที่จัดวางอยู่ใกล้พื้นผิวทดสอบ โดยผลกระทบจากความหนาแน่นของเหล็กเสริมที่มีนั้น จะลดน้อยลงเมื่อการจัดวางเหล็กเสริมมีระยะหุ้มเหล็กตั้งแต่ 5.0 ซม.

2. จาก Model ทั้ง 3 ภูมิภาคของคอนกรีตที่ทำการทดสอบที่ได้นั้นจะพบว่า มีลักษณะเดียวกัน กล่าวคือสัมประสิทธิ์ของระยะหุ้มเหล็กเสริมมีค่าติดลบ และสัมประสิทธิ์ของปริมาณเหล็กเสริมมีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะหุ้มเหล็กมากขึ้นจะมีผลให้ค่า Rebound Number ลดลง ในขณะที่เมื่อปริมาณเหล็กเสริมมากขึ้นจะมีผลให้ค่า Rebound Number เพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระและค่าคงที่แล้ว จะพบว่าส่งผลเพียงเล็กน้อย

3. จากผลการวิจัยที่ได้นี้ แสดงให้เห็นว่าผู้ที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบอาคาร หรือวิศวกรผู้ที่ทำหน้าที่ประเมินความมั่นคงแข็งแรงด้านวิศวกรรมโครงสร้าง โดยใช้เครื่องมือทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลายด้วย Concrete Test Hammer นี้ ควรมีการพิจารณาถึงรายละเอียดของโครงสร้างภายในของคอนกรีตร่วมด้วย เพื่อให้การทดสอบและประเมินผลความมั่นคงแข็งแรงนั้น ถูกต้องและใกล้เคียงความจริงมากที่สุด ทั้งนี้ผู้วิจัยได้จัดทำตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Rebound Number กับระยะหุ้มเหล็กและปริมาณเหล็กเสริมในมวลคอนกรีตแยกแต่ละภูมิภาคส่วนผสมของคอนกรีตไว้ในภาคผนวก เพื่อสะดวกในการอ่านและกำหนดเป็นเกณฑ์ในการประเมินผลความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้ เมื่อผู้ตรวจสอบโครงสร้างทราบค่าตัวแปรอิสระ ซึ่งได้แก่ระยะหุ้มเหล็กเสริม และปริมาณการเสริมเหล็ก ซึ่งในการปฏิบัติงานจริงนั้นสามารถพิจารณาได้จากแบบงานวิศวกรรมโครงสร้าง หรือใช้การทดสอบอื่นๆ ในการตรวจสอบค่าตัวแปรอิสระข้างต้น คอบคุกันไป

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากขึ้น ผู้วิจัยได้เสนอแนะแนวคิดเพื่อการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม แก่ผู้สนใจดังนี้

1. ผลการทดลองที่ได้นี้ จะพบว่าโอกาสที่จะมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการเตรียมตัวอย่างทดสอบค่อนข้างมาก ทั้งการเตรียมส่วนผสมของคอนกรีต ดังนั้นควรจะต้องมีการทดสอบแบบทำลายควบคู่ไปด้วยตลอด นอกจากนี้การเตรียมตัวอย่างที่มีการเสริมเหล็กนั้น ค่าความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้จะมาจากการจัดวางเหล็กเสริม ซึ่งจะทำให้ค่าตัวแปรระยะหุ้มเหล็กคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งในส่วนของผู้วิจัยนั้นได้ใช้การเชื่อมยึดทุกด้านกับแบบหล่อคอนกรีตเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับ Model ที่ต้องการทดสอบมากที่สุด

2. ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบปฏิกิริยาคอนกรีตที่ 3 ค่าเท่านั้น ซึ่งเป็นค่าปฏิกิริยาคอนกรีตที่ใช้กันแพร่หลายและครอบคลุมงานโครงสร้างทั่วไป แต่เนื่องจากในปัจจุบัน การพัฒนาด้านคอนกรีตเทคโนโลยีเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดคอนกรีตที่ใช้งานเฉพาะทางเพิ่มมากขึ้น เช่น คอนกรีตกำลังอัดสูง คอนกรีตทนการกัดกร่อนที่รุนแรง คอนกรีตที่ให้กำลังอัดเร็ว ฯลฯ ซึ่งคอนกรีตเหล่านี้จะมีสารหรือวัสดุเพิ่มพิเศษผสมอยู่ด้วย ทำให้ความหนาแน่นและความสม่ำเสมอในมวลคอนกรีตเปลี่ยนไป ดังนั้น ผู้ที่สนใจในงานวิจัยนี้ จึงควรที่ทำการศึกษาหรือทดลองคอนกรีตพิเศษเหล่านี้ และสร้างเป็น Model เพื่อใช้สำหรับเป็นเกณฑ์ในการประเมินความมั่นคงแข็งแรงทางโครงสร้างต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กนกทิพย์ พัฒนาพัพพันธ์. (2543). สถิติอ้างอิง เพื่อการวิจัยทางการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: ภาควิชา
ประเมินผลและการวิจัยการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- “การเปรียบเทียบกำลังของคอนกรีตและคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายและการ
ทดสอบแบบทำลาย,” (2539). ใน รายงานวิจัยประจำปี2539 คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. หน้า 257-258. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.
- “การศึกษาเชิงทฤษฎีการทดสอบโครงสร้างแบบไม่ทำลาย,” (2539). ใน รวมบทความ โครงการทางวิศวกรรม
โยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 109-114. กรุงเทพฯ: ภาควิชา
วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คู่มือวิศวกรโยธา. (ม.ป.ป.). กรุงเทพฯ : บริษัท เยนเนอรัล เอนจิเนียริง จำกัด.
- จักรี ดิยะวงศ์สุวรรณ. (2540). การศึกษาวิธีการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงโดยอาศัย
ปริมาณเพศเต็มเกิน. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [http:// www.thaibase.com](http://www.thaibase.com) ; หัวข้อ : งานวิจัย.
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. (2537). คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบ
ก่อสร้าง จำกัด.
- ธีรนิช ประชุมชิต. (2534). การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตโดยวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิก. (ออนไลน์).
แหล่งที่มา : [http:// www.thaibase.com](http://www.thaibase.com) ; หัวข้อ : งานวิจัย.
- นรินทร์ เลิศสาธิต. (2541). การประเมินกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยวิธีอัลตราโซนิกพัลส์ เวโลซิตี และ
วิธีร้าวแอมเพนเนอร์ร่วมกัน. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [http:// www.thaibase.com](http://www.thaibase.com) ; หัวข้อ :
งานวิจัย.
- พงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2538). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน. (2538). พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ:
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- เมธา จันทรชืน. (2540). ผลกระทบของชนิดมวลรวมหยาบต่อคอนกรีต. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [http://
www.thaibase.com](http://www.thaibase.com) ; หัวข้อ : งานวิจัย.
- รายงานผลการทดสอบค่ากำลังวัสดุ การรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นและระนาบอาคาร โครงการธนาคารศรีนคร
ถนนพัฒนาการ กรุงเทพมหานคร. (2541). กรุงเทพฯ: บริษัทวิศวกรที่ปรึกษา อาร์ เค วี จำกัด.
- วินิต ช่อวิเชียร. (2539). คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สนั่น เจริญเผ่าและวินิต ช่อวิเชียร. (2537). คอนกรีตเสริมเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- สุดา เถลิงพงษ์. (2537). ผลกระทบของมวลรวมหยาบต่อคอนกรีตกำลังสูงในประเทศไทย. (ออนไลน์).
แหล่งที่มา : [http:// www.thaibase.com](http://www.thaibase.com) ; หัวข้อ : งานวิจัย.
- Andrew Pytel & Ferdinand L.Singer. (1987). Strength of Materials. 4th ed. Singapore: HarperCollins.
- Arthur H. Nilson & George Winter. (1991). Design of Concrete Structure. 11th ed. Singapore :
McGraw-Hill.

- Giovanni Pascale, Antonio Di Leo & Roberto Carli. (2003). *Evaluation of actual compressive strength of high strength concrete by NDT*. (online). Available : [http:// www.ndt.net /article](http://www.ndt.net/article).
- K.Ramamurthy & N.Narayanan. (1999). *Factors influencing the density and compressive strength of aerated concrete*. (online). Available : <http://www.t-telford.co.uk>.
- S.M.A. Tajalli & S.R.Rigden. (2000). *Partially and non-destructive testing of 40 concrete bridges*. (online). Available : <http://www.t-telford.co.uk>.
- Operating Instructions Concrete Test Type N and NR* . (n.d.). Zurich: PROCEQ SA.

ภาคผนวก

เอกสารแสดงการคำนวณปฏิภาคส่วนผสม (Concrete Mixed Design)

โครงการ : มวลคอนกรีตทดสอบ 180 ksc.
 คำนวณ โดย : นายสราวุธ สร้อยเรืองศรี ส.ย. 8040

กำลังอัดเฉลี่ยที่ 28 วัน (ทรงกระบอก) 180 กก/ตร.ซม.
 ค่ายุบตัว 8 - 10 ซม.
 อัตราส่วน น้ำ-ซีเมนต์ 0.75
 ขนาดใหญ่สุดของหิน 25 มม.

การคำนวณส่วนผสมคอนกรีตที่ปริมาตร 1 ม³

น้ำ		=	195.0	ลิตร
ซีเมนต์	= 195 / 0.75	=	260.0	กก.
	= 260.0 / 3.15	=	82.5	ลิตร
หิน	= 0.67 x 1600	=	1072	กก.
	= 1072 / 2.63	=	407.6	ลิตร
อากาศ 1.5 %	= 1.5 x 1000 / 100	=	15	ลิตร
ทราย	1000 - 195.0 - 82.5 - 407.6 - 15	=	299.9	ลิตร
	= 299.9 x 2.65	=	794.6	กก.

แก้ไขส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ความชื้นในทราย = 3.5 %	;	ความชื้นในหิน = 0.3 %	
ปริมาณน้ำที่หุ้มห่อทราย	= 795 x 3.5 / 100	=	28 กก.
ปริมาณน้ำที่หุ้มห่อหิน	= 1072 x 0.3 / 100	=	3 กก.
รวมปริมาณน้ำที่เกินมา	= 28 + 3	=	31 กก.

ส่วนผสมคอนกรีต 1 ม³ โดยน้ำหนัก

ซีเมนต์		=	260	กก.
น้ำ	= 195.0 - 31	=	164	กก.
ทราย	= 795 + 28	=	822	กก.
หิน	= 1072 + 3	=	1075	กก.

โครงการ : มวลคอนกรีตทดสอบ 240 ksc.
 คำนวณ โดย : นายสราวุธ สร้อยเรืองศรี ส.ย. 8040

กำลังอัดเฉลี่ยที่ 28 วัน (ทรงกระบอก) 240 กก/ตร.ซม.
 ค่ายุบตัว 8 - 10 ซม.
 อัตราส่วน น้ำ-ซีเมนต์ 0.63
 ขนาดใหญ่สุดของหิน 25 มม.

การคำนวณส่วนผสมคอนกรีตที่ปริมาตร 1 ม³

น้ำ		=	195.0	ลิตร
ซีเมนต์	= 195 / 0.63	=	309.5	กก.
	= 309.5 / 3.15	=	98.3	ลิตร
หิน	= 0.67 x 1600	=	1072	กก.
	= 1072 / 2.63	=	407.6	ลิตร
อากาศ 1.5 %	= 1.5 x 1000 / 100	=	15	ลิตร
ทราย	1000 - 195.0 - 98.3 - 407.6 - 15	=	284.1	ลิตร
	= 284.1 x 2.65	=	753.0	กก.

แก้ไขส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ความชื้นในทราย = 3.5 %	;	ความชื้นในหิน = 0.3 %	
ปริมาณน้ำที่หุ้มห่อทราย	= 753 x 3.5 / 100	=	26 กก.
ปริมาณน้ำที่หุ้มห่อหิน	= 1072 x 0.3 / 100	=	3 กก.
รวมปริมาณน้ำที่เกินมา	= 26 + 3	=	30 กก.

ส่วนผสมคอนกรีต 1 ม³ โดยน้ำหนัก

ซีเมนต์		=	310	กก.
น้ำ	= 195.0 - 30	=	165	กก.
ทราย	= 753 + 26	=	779	กก.
หิน	= 1072 + 3	=	1075	กก.

โครงการ : มวลคอนกรีตทดสอบ 320 ksc.
 จำนวน โดย : นายสราวุธ สร้อยเรืองศรี ส.ย. 8040

กำลังอัดเฉลี่ยที่ 28 วัน (ทรงกระบอก) **320** กก./ตร.ซม.
 ค่ายุบตัว **8 - 10** ซม.
 อัตราส่วน น้ำ-ซีเมนต์ **0.53**
 ขนาดใหญ่สุดของหิน **25** มม.

การคำนวณส่วนผสมคอนกรีตที่ปริมาตร 1 ม³

น้ำ		=	195.0	ลิตร
ซีเมนต์	= 195 / 0.53	=	367.9	กก.
	= 367.9 / 3.15	=	116.8	ลิตร
หิน	= 0.67 x 1600	=	1072	กก.
	= 1072 / 2.63	=	407.6	ลิตร
อากาศ 1.5 %	= 1.5 x 1000 / 100	=	15	ลิตร
ทราย	1000 - 195.0 - 116.8 - 407.6 - 15	=	265.6	ลิตร
	= 265.6 x 2.65	=	703.8	กก.

แก้ไขส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ความชื้นในทราย = 3.5 %	; ความชื้นในหิน = 0.3 %	
ปริมาณน้ำที่หุ้มห่อทราย	= 704 x 3.5 / 100	= 25 กก.
ปริมาณน้ำที่หุ้มห่อหิน	= 1072 x 0.3 / 100	= 3 กก.
รวมปริมาณน้ำที่เกินมา	= 25 + 3	= 28 กก.

ส่วนผสมคอนกรีต 1 ม³ โดยน้ำหนัก

ซีเมนต์		=	368	กก.
น้ำ	= 195.0 - 28	=	167	กก.
ทราย	= 704 + 25	=	728	กก.
หิน	= 1072 + 3	=	1075	กก.

เอกสารแสดงเครื่องมือรวบรวมข้อมูลการทดสอบ

ที่ ศร 0519.12/6739



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒๑ มิถุนายน 2547

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน กรรมการผู้จัดการ บริษัท วิศวกรที่ปรึกษา อาร์ เค วิ จำกัด

เนื่องด้วย นายสราวุธ สร้อยเรืองศรี นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็กเสริม และประสิทธิภาพของคอนกรีตในมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก กับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธีคอนกรีต เกส แฮมเมอร์” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายสหสส์ รัตนกุล รองกรรมการผู้จัดการ นายบุญเสริม เสริมศรีสุวรรณ วิศวกรอาวุโส นางดริน นพนิราพาธ วิศวกรอาวุโส นายสุเมธ อัสวิมล วิศวกรโครงสร้าง และ นายณล อนนตะชัย วิศวกรโครงสร้าง เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือรวบรวมข้อมูลทดสอบ

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือการวิจัยให้ นายสราวุธ สร้อยเรืองศรี และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพ็ญศิริ จีระเชชากุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

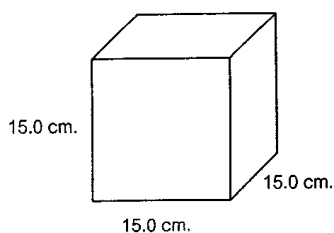
โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-2584838 - 9

เลขที่ 180-00-A

ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตล้น

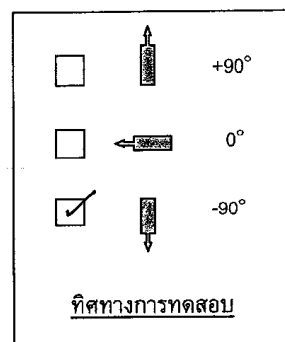
ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 180 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/11/48 เวลา 14:00 น.
วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



มวลคอนกรีตทดสอบ

ผลการทดสอบด้วย Rebound Hammer Test

ค่าอ่าน Rebound Number				
1 26	2 28	3 26	4 24	5 26
6 26	7 26	8 24	9 16	10 26



ผลการทดสอบแบบทำลาย

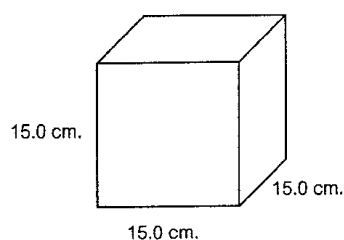
ค่าแรงกด = 54.5 TONS

เทียบกับค่ากำลังรับแรงอัด 194 กก./ตร.ซม.

เลขที่ 1110-00-2

ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตล้วน

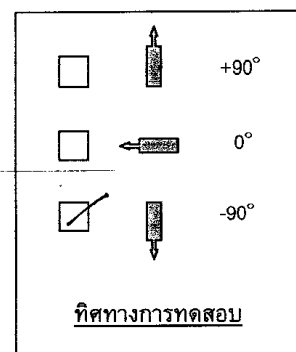
ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 180..... กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/11/48 เวลา 14:00..... น.
วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00..... น.



มวลคอนกรีตทดสอบ

ผลการทดสอบด้วย Rebound Hammer Test

ค่าอ่าน Rebound Number									
1	28	2	26	3	26	4	26	5	28
6	26	7	18	8	28	9	26	10	24



ผลการทดสอบแบบทำลาย

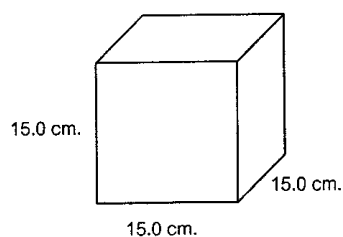
ค่าแรงกด = ...53.5..... TONS

เทียบกับค่ากำลังรับแรงอัด 190..... กก. / ตร.ซม.

เลขที่ 180-00-0

ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตล้น

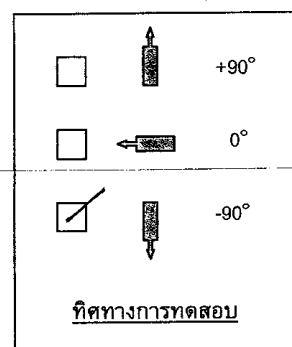
ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 180 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/11/48 เวลา 14:00 น.
วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



มวลคอนกรีตทดสอบ

ผลการทดสอบด้วย Rebound Hammer Test

ค่าอ่าน Rebound Number				
1 26	2 26	3 26	4 24	5 26
6 26	7 26	8 28	9 26	10 26



ผลการทดสอบแบบทำลาย

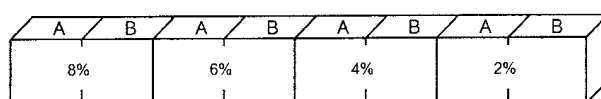
ค่าแรงกด = 54.5 TONS

เทียบกับค่ากำลังรับแรงอัด 194 กก. / ตร.ซม.

เลขที่ 180-25-A

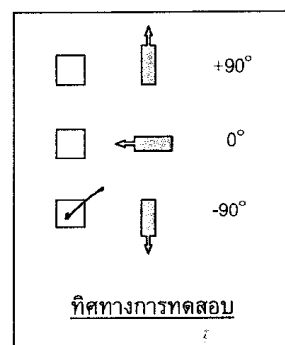
ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลาย
ด้วยวิธี Rebound Hammer Test

ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 180 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
 ค่าระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม (Covering) 2.5 ซม.
 วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/11/48 เวลา 14:00 น.
 วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



8 x 15.0 = 120.0 cm.

มวลคอนกรีตทดสอบ

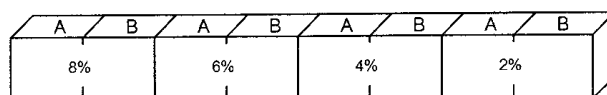
**ผลการทดสอบ**

มวลคอนกรีตทดสอบ		ค่าอ่าน Rebound Number									
ความหนาแน่นของเหล็กเสริม	PART	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2%	A	26	24	26	26	26	28	26	28	26	26
		28	26	26	28	26	28	26	28	26	26
	B	28	26	26	26	28	26	28	26	28	26
		24	26	26	28	26	28	26	28	26	26
4%	A	28	28	26	28	26	28	28	28	28	28
		28	26	28	28	28	28	28	28	28	28
	B	28	28	28	26	26	28	26	26	28	28
		28	26	28	26	26	28	26	26	28	28
6%	A	26	26	28	28	28	30	28	28	28	28
		30	28	30	28	28	28	28	28	28	28
	B	26	30	30	28	28	28	28	28	28	28
		28	26	26	28	28	28	28	28	28	28
8%	A	26	28	28	30	28	26	26	26	28	28
		26	28	28	26	26	26	26	26	28	28
	B	28	26	28	28	30	28	28	28	30	30
		28	30	28	28	28	28	28	28	30	30

เลขที่ 180-50-☒

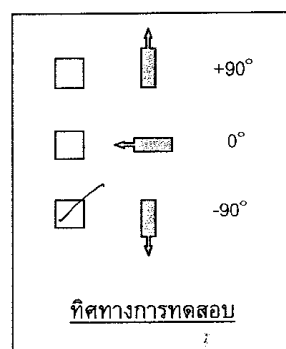
ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลาย
ด้วยวิธี Rebound Hammer Test

ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 180 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
 ค่าระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม (Covering) 5.0 ซม.
 วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/11/48 เวลา 14:00 น.
 วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



8 x 15.0 = 120.0 cm.

มวลคอนกรีตทดสอบ



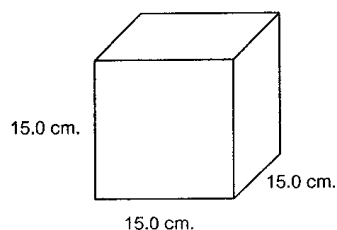
ผลการทดสอบ

มวลคอนกรีตทดสอบ		ค่าอ่าน Rebound Number									
ความหนาแน่นของเหล็กเสริม	PART	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2%	A	24	26	24	26	26	24	26	26	26	26
		24	26	26	28	26	26	26	26	26	26
	B	26	26	24	26	28	26	26	26	26	24
		26	26	24	26	26	26	26	26	26	24
4%	A	24	26	26	26	28	26	26	26	26	24
		26	28	26	26	26	26	26	26	26	24
	B	26	26	24	26	26	26	26	26	26	24
		26	24	26	26	26	26	26	26	26	24
6%	A	26	24	26	26	26	26	26	26	26	26
		26	24	26	26	26	26	26	26	26	26
	B	24	26	26	24	26	26	26	26	26	26
		24	26	26	26	26	26	26	26	26	26
8%	A	28	26	26	28	26	28	26	28	26	26
		26	28	26	26	26	26	26	26	28	28
	B	26	26	28	26	26	26	26	26	26	26
		28	26	28	28	28	28	28	28	26	26

เลขที่ 240-00-4

**ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตล้น**

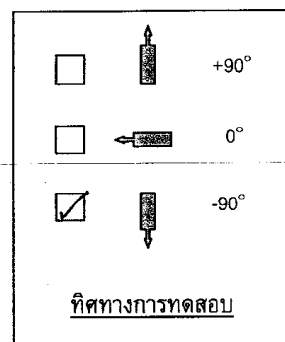
ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 240 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
 วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/11/48 เวลา 14:00 น.
 วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



มวลคอนกรีตทดสอบ

ผลการทดสอบด้วย Rebound Hammer Test

ค่าอ่าน Rebound Number				
1 30	2 28	3 30	4 32	5 30
6 30	7 32	8 30	9 32	10 35



ผลการทดสอบแบบทำลาย

ค่าแรงกด = 72.0 TONS

เทียบกับค่ากำลังรับแรงอัด 256 กก. / ตร.ซม.

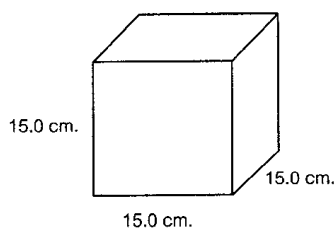
เลขที่ **L40-00-8**

ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตล้น

ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) **240** กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)

วันที่ทำการผสมคอนกรีต **14/11/48** เวลา **14:00** น.

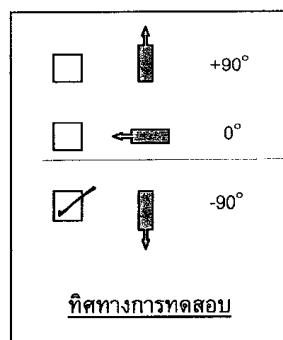
วันที่ทำการทดสอบ **12/12/48** เวลา **14:00** น.



มวลคอนกรีตทดสอบ

ผลการทดสอบด้วย Rebound Hammer Test

ค่าอ่าน Rebound Number				
¹ 30	² 32	³ 30	⁴ 30	⁵ 32
⁶ 30	⁷ 30	⁸ 28	⁹ 32	¹⁰ 30



ผลการทดสอบแบบทำลาย

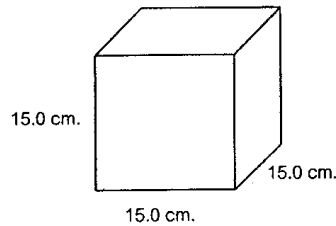
ค่า แรงกด = ... **71.5** TONS

เทียบกับค่ากำลังรับแรงอัด **254** กก. / ตร.ซม.

เลขที่ 240-00-2

ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตล้น

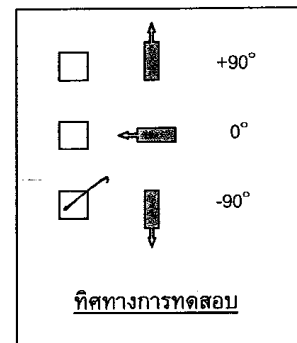
ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 240 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/11/48 เวลา 14:00 น.
วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



มวลคอนกรีตทดสอบ

ผลการทดสอบด้วย Rebound Hammer Test

ค่าอ่าน Rebound Number				
1 30	2 32	3 32	4 30	5 32
6 32	7 28	8 30	9 28	10 32



ผลการทดสอบแบบทำลาย

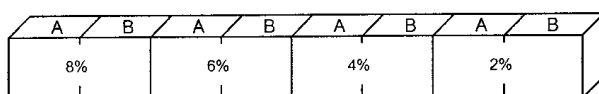
ค่าแรงกด = 71.5 TONS

เทียบเท่ากับค่ากำลังรับแรงอัด 25.4 กก. / ตร.ซม.

เลขที่ ๒๔๐-๒๕-๗

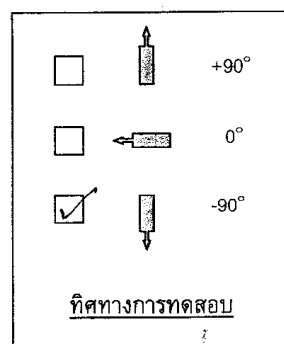
ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลาย
ด้วยวิธี Rebound Hammer Test

ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 240 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
 ค่าระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม (Covering) 2.5 ซม.
 วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14 / 11 / 48 เวลา 14:00 น.
 วันที่ทำการทดสอบ 12 / 12 / 48 เวลา 14:00 น.



8 x 15.0 = 120.0 cm.

มวลคอนกรีตทดสอบ

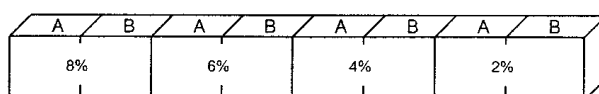
**ผลการทดสอบ**

มวลคอนกรีตทดสอบ		ค่าอ่าน Rebound Number									
ความหนาแน่นของเหล็กเสริม	PART										
2%	A	1	30	2	32	3	32	4	32	5	34
		6	28	7	32	8	32	9	30	10	30
	B	1	32	2	30	3	28	4	32	5	32
		6	34	7	30	8	34	9	32	10	30
4%	A	1	30	2	32	3	32	4	32	5	32
		6	34	7	30	8	28	9	32	10	32
	B	1	30	2	32	3	32	4	32	5	32
		6	32	7	34	8	32	9	32	10	28
6%	A	1	30	2	32	3	30	4	32	5	34
		6	34	7	32	8	32	9	32	10	32
	B	1	32	2	32	3	34	4	32	5	34
		6	32	7	28	8	32	9	32	10	34
8%	A	1	32	2	34	3	32	4	34	5	30
		6	32	7	34	8	32	9	30	10	32
	B	1	32	2	34	3	32	4	34	5	32
		6	30	7	34	8	32	9	32	10	30

เลขที่ 240-50-☒

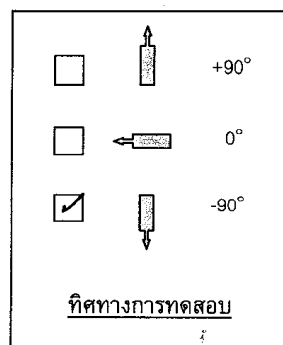
ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลาย
ด้วยวิธี Rebound Hammer Test

ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 240 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
 ค่าระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม (Covering) 5.0 ซม.
 วันที่ทำการผสมคอนกรีต 11/11/48 เวลา 14:00 น.
 วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



8 x 15.0 = 120.0 cm.

มวลคอนกรีตทดสอบ



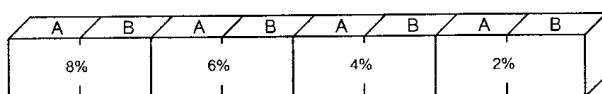
ผลการทดสอบ

มวลคอนกรีตทดสอบ		ค่าอ่าน Rebound Number									
ความหนาแน่นของเหล็กเสริม	PART	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2%	A	28	30	32	32	30	32	28	32	30	28
		32	28	32	30	30	32	30	32	30	28
	B	28	28	30	32	32	30	30	32	30	32
		30	34	30	30	30	32	30	32	30	32
4%	A	28	30	30	28	30	32	28	32	30	32
		34	30	32	28	32	30	32	30	32	32
	B	28	32	28	32	30	32	30	32	30	32
		32	32	28	30	32	30	32	30	32	32
6%	A	30	32	32	28	30	32	30	32	30	30
		32	28	32	30	30	32	30	32	30	30
	B	28	28	30	34	32	30	30	32	30	32
		28	32	30	30	30	32	30	32	30	32
8%	A	32	30	32	28	32	30	30	32	30	28
		30	32	30	30	30	32	30	32	30	28
	B	30	30	30	30	32	30	30	32	30	32
		30	32	30	30	30	32	30	32	30	32

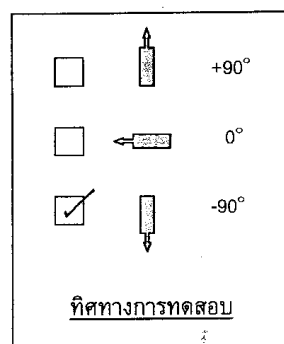
เลขที่ 240-75-7

ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลาย
ด้วยวิธี Rebound Hammer Test

ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 240 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
 ค่าระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม (Covering) 7.5 ซม.
 วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/12/48 เวลา 14:00 น.
 วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



8 x 15.0 = 120.0 cm.

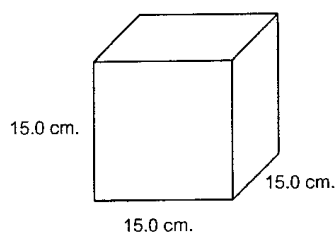
มวลคอนกรีตทดสอบ**ผลการทดสอบ**

มวลคอนกรีตทดสอบ		ค่าอ่าน Rebound Number					
ความหนาแน่นของเหล็กเสริม	PART	1	2	3	4	5	6
2%	A	28	28	30	32	32	
		30	32	32	32	32	
	B	32	30	32	30	30	
		30	30	30	30	28	
4%	A	30	32	30	30	32	
		32	30	32	30	30	
	B	30	30	30	30	30	
		32	32	34	30	30	
6%	A	30	30	30	32	30	
		32	30	30	30	32	
	B	30	32	30	30	30	
		32	30	28	30	32	
8%	A	30	30	30	30	32	
		30	34	30	30	32	
	B	30	30	32	30	32	
		30	32	32	32	30	

เลขที่ 320-00-7

**ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตล้น**

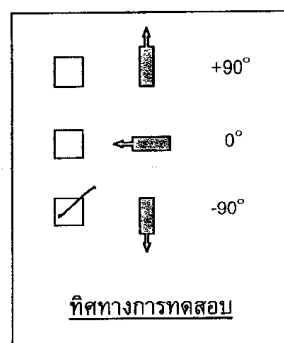
ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 320 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
 วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/11/48 เวลา 14:00 น.
 วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



มวลคอนกรีตทดสอบ

ผลการทดสอบด้วย Rebound Hammer Test

ค่าอ่าน Rebound Number				
¹ 36	² 40	³ 36	⁴ 36	⁵ 38
⁶ 36	⁷ 38	⁸ 38	⁹ 36	¹⁰ 38



ผลการทดสอบแบบทำลาย

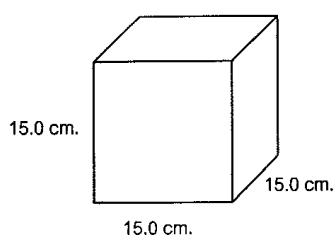
ค่า แรงกด = ... 100.5 TONS

เทียบกับค่ากำลังรับแรงอัด 358 กก. / ตร.ซม.

เลขที่ 320-00-3

ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตล้วน

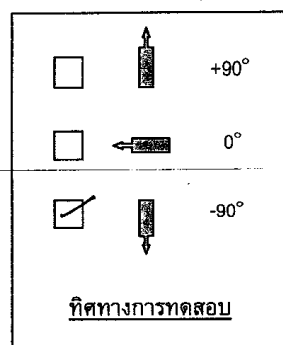
ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 320 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
 วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/11/48 เวลา 14:00 น.
 วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



มวลคอนกรีตทดสอบ

ผลการทดสอบด้วย Rebound Hammer Test

ค่าอ่าน Rebound Number				
1	2	3	4	5
38	36	36	38	36
6	7	8	9	10
38	38	40	38	38



ผลการทดสอบแบบทำลาย

ค่าแรงกด = ... 100.0 TONS

เทียบกับค่ากำลังรับแรงอัด 355 กก. / ตร.ซม.

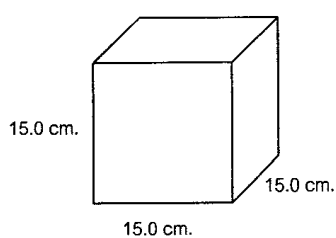
เลขที่ 320-00-4

ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตล้น

ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 320 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)

วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/11/48 เวลา 14:00 น.

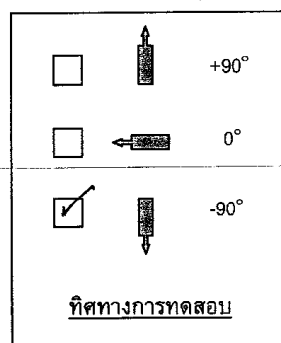
วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



มวลคอนกรีตทดสอบ

ผลการทดสอบด้วย Rebound Hammer Test

ค่าอ่าน Rebound Number				
¹ 36	² 38	³ 38	⁴ 38	⁵ 38
⁶ 36	⁷ 38	⁸ 36	⁹ 38	¹⁰ 36



ผลการทดสอบแบบทำลาย

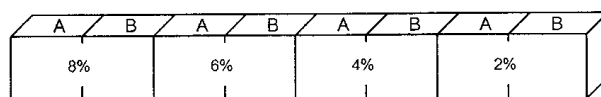
ค่าแรงกด = ... 101.0 TONS

เทียบกับค่ากำลังรับแรงอัด 359 กก. / ตร.ซม.

เลขที่ 320-25-☒

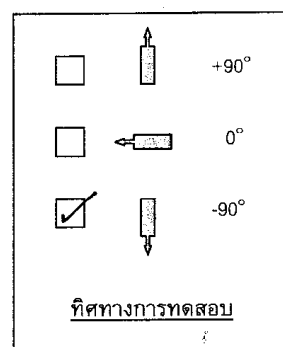
ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลาย
ด้วยวิธี Rebound Hammer Test

ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 320 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
 ค่าระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม (Covering) 2.5 ซม.
 วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/11/48 เวลา 14:00 น.
 วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



8 x 15.0 = 120.0 cm.

มวลคอนกรีตทดสอบ



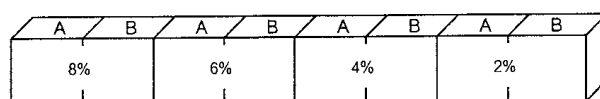
ผลการทดสอบ

มวลคอนกรีตทดสอบ		ค่าอ่าน Rebound Number									
ความหนาแน่นของเหล็กเสริม	PART										
2%	A	1	36	2	36	3	38	4	38	5	38
		6	36	7	38	8	38	9	40	10	38
	B	1	38	2	36	3	38	4	38	5	38
		6	36	7	38	8	38	9	38	10	40
4%	A	1	40	2	40	3	38	4	40	5	38
		6	38	7	38	8	36	9	38	10	38
	B	1	38	2	38	3	38	4	40	5	38
		6	40	7	38	8	40	9	38	10	38
6%	A	1	38	2	40	3	40	4	38	5	40
		6	38	7	40	8	42	9	38	10	40
	B	1	40	2	40	3	38	4	40	5	38
		6	40	7	42	8	40	9	42	10	40
8%	A	1	40	2	40	3	42	4	42	5	40
		6	40	7	42	8	40	9	38	10	42
	B	1	40	2	42	3	40	4	42	5	42
		6	42	7	40	8	40	9	42	10	40

เลขที่ 320-50-☒

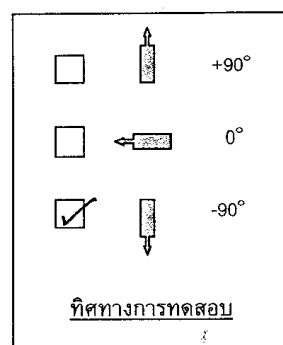
ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลาย
ด้วยวิธี Rebound Hammer Test

ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 320 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
 ค่าระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม (Covering) 5.0 ซม.
 วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/11/48 เวลา 14:00 น.
 วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



8 x 15.0 = 120.0 cm.

มวลคอนกรีตทดสอบ



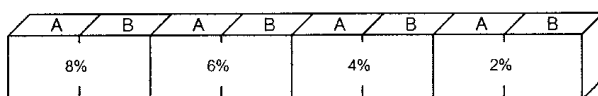
ผลการทดสอบ

มวลคอนกรีตทดสอบ		ค่าอ่าน Rebound Number									
ความหนาแน่นของเหล็กเสริม	PART										
2%	A	1	40	2	38	3	35	4	38	5	38
		6	36	7	36	8	38	9	38	10	36
	B	1	36	2	38	3	38	4	38	5	36
		6	38	7	40	8	38	9	38	10	38
4%	A	1	38	2	36	3	38	4	36	5	38
		6	38	7	36	8	38	9	38	10	38
	B	1	38	2	38	3	40	4	36	5	38
		6	38	7	38	8	36	9	38	10	38
6%	A	1	38	2	38	3	36	4	38	5	38
		6	36	7	38	8	38	9	38	10	36
	B	1	38	2	38	3	36	4	38	5	36
		6	36	7	36	8	38	9	38	10	38
8%	A	1	38	2	36	3	38	4	38	5	36
		6	38	7	38	8	40	9	36	10	38
	B	1	38	2	38	3	38	4	38	5	38
		6	40	7	36	8	36	9	36	10	38

เลขที่ ๕๒๐-๗๕-๗

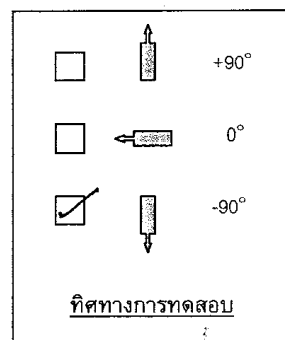
ใบบันทึกการทดสอบ
ค่าแรงอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลาย
ด้วยวิธี Rebound Hammer Test

ค่ากำลังอัดที่ใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Design Strength) 320 กก./ตร.ซม. (ทรงกระบอกมาตรฐาน)
 ค่าระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม (Covering) 7.5 ซม.
 วันที่ทำการผสมคอนกรีต 14/11/48 เวลา 14:00 น.
 วันที่ทำการทดสอบ 12/12/48 เวลา 14:00 น.



8 x 15.0 = 120.0 cm.

มวลคอนกรีตทดสอบ



ผลการทดสอบ

มวลคอนกรีตทดสอบ		ค่าอ่าน Rebound Number									
ความหนาแน่นของเหล็กเสริม	PART										
2%	A	1	38	2	38	3	38	4	36	5	36
		6	36	7	36	8	38	9	38	10	38
	B	1	38	2	38	3	36	4	38	5	38
		6	38	7	36	8	40	9	38	10	36
4%	A	1	38	2	38	3	36	4	38	5	36
		6	38	7	38	8	38	9	38	10	38
	B	1	38	2	40	3	38	4	36	5	38
		6	40	7	38	8	36	9	38	10	36
6%	A	1	38	2	38	3	36	4	38	5	38
		6	36	7	38	8	38	9	38	10	36
	B	1	38	2	38	3	36	4	38	5	38
		6	38	7	36	8	36	9	38	10	40
8%	A	1	38	2	38	3	38	4	38	5	38
		6	36	7	38	8	36	9	38	10	40
	B	1	38	2	36	3	38	4	36	5	38
		6	38	7	38	8	36	9	38	10	38

บันทึกผลการทดสอบมวลคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 180 ksc. ด้วยวิธี Concrete Test Hammer									
รหัสมวลทดสอบ	ครั้งที่ทดสอบ	ค่าอ่าน	ค่าปรับแก้	Rebound Number	ปริมาณเหล็กเสริม (Percentage of Rebar)	ระยะหุ้มคอนกรีต (Covering)	กำลังอัดของคอนกรีตทดสอบ (Strength)	mean	SD
				R	P	C	D		
180 00 A	1	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180	29.0	1.14
	2	28	3.2	31.2	0.0	0.0	180		
	3	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	4	24	3.2	27.2	0.0	0.0	180		
	5	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	6	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	7	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	8	24	3.2	27.2	0.0	0.0	180		
	9	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	10	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
180 00 B	1	28	3.2	31.2	0.0	0.0	180	29.8	1.35
	2	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	3	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	4	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	5	28	3.2	31.2	0.0	0.0	180		
	6	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	7	28	3.2	31.2	0.0	0.0	180		
	8	28	3.2	31.2	0.0	0.0	180		
	9	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	10	24	3.2	27.2	0.0	0.0	180		
180 00 C	1	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180	29.2	0.94
	2	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	3	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	4	24	3.2	27.2	0.0	0.0	180		
	5	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	6	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	7	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	8	28	3.2	31.2	0.0	0.0	180		
	9	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
	10	26	3.2	29.2	0.0	0.0	180		
180 25 2A	1	26	3.2	29.2	2.0	2.5	180	29.4	1.14
	2	24	3.2	27.2	2.0	2.5	180		
	3	26	3.2	29.2	2.0	2.5	180		
	4	26	3.2	29.2	2.0	2.5	180		
	5	26	3.2	29.2	2.0	2.5	180		
	6	28	3.2	31.2	2.0	2.5	180		
	7	26	3.2	29.2	2.0	2.5	180		
	8	26	3.2	29.2	2.0	2.5	180		
	9	28	3.2	31.2	2.0	2.5	180		

	4	26	3.2	29.2	2.0	2.5	180		
	5	28	3.2	31.2	2.0	2.5	180		
	6	24	3.2	27.2	2.0	2.5	180		
	7	26	3.2	29.2	2.0	2.5	180		
	8	26	3.2	29.2	2.0	2.5	180		
	9	28	3.2	31.2	2.0	2.5	180		
	10	26	3.2	29.2	2.0	2.5	180		
180 25 4A	1	28	3.2	31.2	4.0	2.5	180	30.6	0.97
	2	28	3.2	31.2	4.0	2.5	180		
	3	26	3.2	29.2	4.0	2.5	180		
	4	28	3.2	31.2	4.0	2.5	180		
	5	26	3.2	29.2	4.0	2.5	180		
	6	28	3.2	31.2	4.0	2.5	180		
	7	26	3.2	29.2	4.0	2.5	180		
	8	28	3.2	31.2	4.0	2.5	180		
	9	28	3.2	31.2	4.0	2.5	180		
	10	28	3.2	31.2	4.0	2.5	180		
180 25 4B	1	28	3.2	31.2	4.0	2.5	180	30.4	1.03
	2	28	3.2	31.2	4.0	2.5	180		
	3	28	3.2	31.2	4.0	2.5	180		
	4	26	3.2	29.2	4.0	2.5	180		
	5	26	3.2	29.2	4.0	2.5	180		
	6	28	3.2	31.2	4.0	2.5	180		
	7	26	3.2	29.2	4.0	2.5	180		
	8	28	3.2	31.2	4.0	2.5	180		
	9	26	3.2	29.2	4.0	2.5	180		
	10	28	3.2	31.2	4.0	2.5	180		
180 25 6A	1	26	3.2	29.2	6.0	2.5	180	31.2	1.33
	2	26	3.2	29.2	6.0	2.5	180		
	3	28	3.2	31.2	6.0	2.5	180		
	4	28	3.2	31.2	6.0	2.5	180		
	5	28	3.2	31.2	6.0	2.5	180		
	6	30	3.2	33.2	6.0	2.5	180		
	7	28	3.2	31.2	6.0	2.5	180		
	8	30	3.2	33.2	6.0	2.5	180		
	9	28	3.2	31.2	6.0	2.5	180		
	10	28	3.2	31.2	6.0	2.5	180		
180 25 6B	1	26	3.2	29.2	6.0	2.5	180	31.0	1.48
	2	30	3.2	33.2	6.0	2.5	180		
	3	30	3.2	33.2	6.0	2.5	180		
	4	28	3.2	31.2	6.0	2.5	180		
	5	28	3.2	31.2	6.0	2.5	180		
	6	28	3.2	31.2	6.0	2.5	180		
	7	26	3.2	29.2	6.0	2.5	180		
	8	26	3.2	29.2	6.0	2.5	180		

			10	28	3.2	31.2	6.0	2.5	180		
180	25	8A	1	26	3.2	29.2	8.0	2.5	180	30.8	1.26
			2	28	3.2	31.2	8.0	2.5	180		
			3	28	3.2	31.2	8.0	2.5	180		
			4	30	3.2	33.2	8.0	2.5	180		
			5	28	3.2	31.2	8.0	2.5	180		
			6	26	3.2	29.2	8.0	2.5	180		
			7	28	3.2	31.2	8.0	2.5	180		
			8	28	3.2	31.2	8.0	2.5	180		
			9	26	3.2	29.2	8.0	2.5	180		
			10	28	3.2	31.2	8.0	2.5	180		
180	25	8B	1	28	3.2	31.2	8.0	2.5	180	31.6	1.26
			2	26	3.2	29.2	8.0	2.5	180		
			3	28	3.2	31.2	8.0	2.5	180		
			4	28	3.2	31.2	8.0	2.5	180		
			5	30	3.2	33.2	8.0	2.5	180		
			6	28	3.2	31.2	8.0	2.5	180		
			7	30	3.2	33.2	8.0	2.5	180		
			8	28	3.2	31.2	8.0	2.5	180		
			9	28	3.2	31.2	8.0	2.5	180		
			10	30	3.2	33.2	8.0	2.5	180		
180	50	2A	1	24	3.2	27.2	2.0	5.0	180	28.8	1.26
			2	26	3.2	29.2	2.0	5.0	180		
			3	24	3.2	27.2	2.0	5.0	180		
			4	26	3.2	29.2	2.0	5.0	180		
			5	26	3.2	29.2	2.0	5.0	180		
			6	24	3.2	27.2	2.0	5.0	180		
			7	26	3.2	29.2	2.0	5.0	180		
			8	26	3.2	29.2	2.0	5.0	180		
			9	28	3.2	31.2	2.0	5.0	180		
			10	26	3.2	29.2	2.0	5.0	180		
180	50	2B	1	26	3.2	29.2	2.0	5.0	180	28.8	1.26
			2	26	3.2	29.2	2.0	5.0	180		
			3	24	3.2	27.2	2.0	5.0	180		
			4	26	3.2	29.2	2.0	5.0	180		
			5	28	3.2	31.2	2.0	5.0	180		
			6	26	3.2	29.2	2.0	5.0	180		
			7	26	3.2	29.2	2.0	5.0	180		
			8	24	3.2	27.2	2.0	5.0	180		
			9	26	3.2	29.2	2.0	5.0	180		
			10	24	3.2	27.2	2.0	5.0	180		
180	50	4A	1	24	3.2	27.2	4.0	5.0	180	29.2	1.33
			2	26	3.2	29.2	4.0	5.0	180		
			3	26	3.2	29.2	4.0	5.0	180		
			4	26	3.2	29.2	4.0	5.0	180		

	6	26	3.2	29.2	4.0	5.0	180		
	7	28	3.2	31.2	4.0	5.0	180		
	8	26	3.2	29.2	4.0	5.0	180		
	9	26	3.2	29.2	4.0	5.0	180		
	10	24	3.2	27.2	4.0	5.0	180		
180 50 4B	1	26	3.2	29.2	4.0	5.0	180	28.6	0.97
	2	26	3.2	29.2	4.0	5.0	180		
	3	24	3.2	27.2	4.0	5.0	180		
	4	26	3.2	29.2	4.0	5.0	180		
	5	26	3.2	29.2	4.0	5.0	180		
	6	26	3.2	29.2	4.0	5.0	180		
	7	24	3.2	27.2	4.0	5.0	180		
	8	26	3.2	29.2	4.0	5.0	180		
	9	26	3.2	29.2	4.0	5.0	180		
	10	24	3.2	27.2	4.0	5.0	180		
180 50 6A	1	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180	28.8	0.84
	2	24	3.2	27.2	6.0	5.0	180		
	3	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
	4	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
	5	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
	6	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
	7	24	3.2	27.2	6.0	5.0	180		
	8	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
	9	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
	10	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
180 50 6B	1	24	3.2	27.2	6.0	5.0	180	28.6	0.97
	2	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
	3	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
	4	24	3.2	27.2	6.0	5.0	180		
	5	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
	6	24	3.2	27.2	6.0	5.0	180		
	7	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
	8	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
	9	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
	10	26	3.2	29.2	6.0	5.0	180		
180 50 8A	1	28	3.2	31.2	8.0	5.0	180	30.0	1.03
	2	26	3.2	29.2	8.0	5.0	180		
	3	26	3.2	29.2	8.0	5.0	180		
	4	28	3.2	31.2	8.0	5.0	180		
	5	26	3.2	29.2	8.0	5.0	180		
	6	26	3.2	29.2	8.0	5.0	180		
	7	28	3.2	31.2	8.0	5.0	180		
	8	26	3.2	29.2	8.0	5.0	180		
	9	26	3.2	29.2	8.0	5.0	180		
	10	28	3.2	31.2	8.0	5.0	180		

	2	26	3.2	29.2	8.0	5.0	180				
	3	28	3.2	31.2	8.0	5.0	180				
	4	26	3.2	29.2	8.0	5.0	180				
	5	26	3.2	29.2	8.0	5.0	180				
	6	28	3.2	31.2	8.0	5.0	180				
	7	26	3.2	29.2	8.0	5.0	180				
	8	28	3.2	31.2	8.0	5.0	180				
	9	28	3.2	31.2	8.0	5.0	180				
	10	26	3.2	29.2	8.0	5.0	180				
180	75	2A	1	28	3.2	31.2	2.0	7.5	180	29.6	1.26
	2	26	3.2	29.2	2.0	7.5	180				
	3	24	3.2	27.2	2.0	7.5	180				
	4	26	3.2	29.2	2.0	7.5	180				
	5	28	3.2	31.2	2.0	7.5	180				
	6	26	3.2	29.2	2.0	7.5	180				
	7	28	3.2	31.2	2.0	7.5	180				
	8	26	3.2	29.2	2.0	7.5	180				
	9	26	3.2	29.2	2.0	7.5	180				
	10	26	3.2	29.2	2.0	7.5	180				
180	75	2B	1	26	3.2	29.2	2.0	7.5	180	28.6	1.35
	2	24	3.2	27.2	2.0	7.5	180				
	3	24	3.2	27.2	2.0	7.5	180				
	4	24	3.2	27.2	2.0	7.5	180				
	5	26	3.2	29.2	2.0	7.5	180				
	6	26	3.2	29.2	2.0	7.5	180				
	7	26	3.2	29.2	2.0	7.5	180				
	8	26	3.2	29.2	2.0	7.5	180				
	9	24	3.2	27.2	2.0	7.5	180				
	10	28	3.2	31.2	2.0	7.5	180				
180	75	4A	1	26	3.2	29.2	4.0	7.5	180	28.6	0.97
	2	24	3.2	27.2	4.0	7.5	180				
	3	26	3.2	29.2	4.0	7.5	180				
	4	26	3.2	29.2	4.0	7.5	180				
	5	24	3.2	27.2	4.0	7.5	180				
	6	26	3.2	29.2	4.0	7.5	180				
	7	26	3.2	29.2	4.0	7.5	180				
	8	26	3.2	29.2	4.0	7.5	180				
	9	24	3.2	27.2	4.0	7.5	180				
	10	26	3.2	29.2	4.0	7.5	180				
180	75	4B	1	24	3.2	27.2	4.0	7.5	180	28.6	0.97
	2	26	3.2	29.2	4.0	7.5	180				
	3	26	3.2	29.2	4.0	7.5	180				
	4	26	3.2	29.2	4.0	7.5	180				
	5	24	3.2	27.2	4.0	7.5	180				
	6	26	3.2	29.2	4.0	7.5	180				

	8	24	3.2	27.2	4.0	7.5	180		
	9	26	3.2	29.2	4.0	7.5	180		
	10	26	3.2	29.2	4.0	7.5	180		
180 75 6A	1	24	3.2	27.2	6.0	7.5	180	28.4	1.40
	2	28	3.2	31.2	6.0	7.5	180		
	3	26	3.2	29.2	6.0	7.5	180		
	4	26	3.2	29.2	6.0	7.5	180		
	5	24	3.2	27.2	6.0	7.5	180		
	6	26	3.2	29.2	6.0	7.5	180		
	7	24	3.2	27.2	6.0	7.5	180		
	8	24	3.2	27.2	6.0	7.5	180		
	9	26	3.2	29.2	6.0	7.5	180		
	10	24	3.2	27.2	6.0	7.5	180		
180 75 6B	1	24	3.2	27.2	6.0	7.5	180	28.4	1.03
	2	26	3.2	29.2	6.0	7.5	180		
	3	24	3.2	27.2	6.0	7.5	180		
	4	26	3.2	29.2	6.0	7.5	180		
	5	26	3.2	29.2	6.0	7.5	180		
	6	26	3.2	29.2	6.0	7.5	180		
	7	24	3.2	27.2	6.0	7.5	180		
	8	26	3.2	29.2	6.0	7.5	180		
	9	24	3.2	27.2	6.0	7.5	180		
	10	26	3.2	29.2	6.0	7.5	180		
180 75 8A	1	26	3.2	29.2	8.0	7.5	180	28.4	1.03
	2	24	3.2	27.2	8.0	7.5	180		
	3	24	3.2	27.2	8.0	7.5	180		
	4	26	3.2	29.2	8.0	7.5	180		
	5	24	3.2	27.2	8.0	7.5	180		
	6	26	3.2	29.2	8.0	7.5	180		
	7	26	3.2	29.2	8.0	7.5	180		
	8	24	3.2	27.2	8.0	7.5	180		
	9	26	3.2	29.2	8.0	7.5	180		
	10	26	3.2	29.2	8.0	7.5	180		
180 75 8B	1	24	3.2	27.2	8.0	7.5	180	28.4	1.03
	2	26	3.2	29.2	8.0	7.5	180		
	3	26	3.2	29.2	8.0	7.5	180		
	4	24	3.2	27.2	8.0	7.5	180		
	5	26	3.2	29.2	8.0	7.5	180		
	6	24	3.2	27.2	8.0	7.5	180		
	7	26	3.2	29.2	8.0	7.5	180		
	8	26	3.2	29.2	8.0	7.5	180		
	9	26	3.2	29.2	8.0	7.5	180		
	10	24	3.2	27.2	8.0	7.5	180		

บันทึกผลการทดสอบมวลคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 240 ksc. ด้วยวิธี Concrete Test Hammer									
รหัสมวลทดสอบ	ครั้งที่ทดสอบ	ค่าอ่าน	ค่าปรับแก้	Rebound Number	ปริมาณเหล็กเสริม (Percentage of Rebar)	ระยะหุ้มคอนกรีต (Covering)	กำลังอัดของคอนกรีตทดสอบ (Strength)	mean	SD
				R	P	C	D		
240 00 A	1	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240	33.9	1.91
	2	28	3.0	31.0	0.0	0.0	240		
	3	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240		
	4	32	3.0	35.0	0.0	0.0	240		
	5	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240		
	6	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240		
	7	32	3.0	35.0	0.0	0.0	240		
	8	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240		
	9	32	3.0	35.0	0.0	0.0	240		
	10	35	3.0	38.0	0.0	0.0	240		
240 00 B	1	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240	33.4	1.26
	2	32	3.0	35.0	0.0	0.0	240		
	3	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240		
	4	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240		
	5	32	3.0	35.0	0.0	0.0	240		
	6	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240		
	7	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240		
	8	28	3.0	31.0	0.0	0.0	240		
	9	32	3.0	35.0	0.0	0.0	240		
	10	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240		
240 00 C	1	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240	33.6	1.65
	2	32	3.0	35.0	0.0	0.0	240		
	3	32	3.0	35.0	0.0	0.0	240		
	4	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240		
	5	32	3.0	35.0	0.0	0.0	240		
	6	32	3.0	35.0	0.0	0.0	240		
	7	28	3.0	31.0	0.0	0.0	240		
	8	30	3.0	33.0	0.0	0.0	240		
	9	28	3.0	31.0	0.0	0.0	240		
	10	32	3.0	35.0	0.0	0.0	240		
240 25 2A	1	30	3.0	33.0	2.0	2.5	240	34.2	1.69
	2	32	3.0	35.0	2.0	2.5	240		
	3	32	3.0	35.0	2.0	2.5	240		
	4	32	3.0	35.0	2.0	2.5	240		
	5	34	3.0	37.0	2.0	2.5	240		
	6	28	3.0	31.0	2.0	2.5	240		
	7	32	3.0	35.0	2.0	2.5	240		
	8	32	3.0	35.0	2.0	2.5	240		
	9	30	3.0	33.0	2.0	2.5	240		

	5	32	3.0	35.0	2.0	2.5	240		
	6	34	3.0	37.0	2.0	2.5	240		
	7	30	3.0	33.0	2.0	2.5	240		
	8	34	3.0	37.0	2.0	2.5	240		
	9	32	3.0	35.0	2.0	2.5	240		
	10	30	3.0	33.0	2.0	2.5	240		
240 25 4A	1	30	3.0	33.0	4.0	2.5	240	34.4	1.65
	2	32	3.0	35.0	4.0	2.5	240		
	3	32	3.0	35.0	4.0	2.5	240		
	4	32	3.0	35.0	4.0	2.5	240		
	5	32	3.0	35.0	4.0	2.5	240		
	6	34	3.0	37.0	4.0	2.5	240		
	7	30	3.0	33.0	4.0	2.5	240		
	8	28	3.0	31.0	4.0	2.5	240		
	9	32	3.0	35.0	4.0	2.5	240		
	10	32	3.0	35.0	4.0	2.5	240		
240 25 4B	1	30	3.0	33.0	4.0	2.5	240	34.6	1.58
	2	32	3.0	35.0	4.0	2.5	240		
	3	32	3.0	35.0	4.0	2.5	240		
	4	32	3.0	35.0	4.0	2.5	240		
	5	32	3.0	35.0	4.0	2.5	240		
	6	32	3.0	35.0	4.0	2.5	240		
	7	34	3.0	37.0	4.0	2.5	240		
	8	32	3.0	35.0	4.0	2.5	240		
	9	32	3.0	35.0	4.0	2.5	240		
	10	28	3.0	31.0	4.0	2.5	240		
240 25 6A	1	30	3.0	33.0	6.0	2.5	240	35.0	1.33
	2	32	3.0	35.0	6.0	2.5	240		
	3	30	3.0	33.0	6.0	2.5	240		
	4	32	3.0	35.0	6.0	2.5	240		
	5	34	3.0	37.0	6.0	2.5	240		
	6	34	3.0	37.0	6.0	2.5	240		
	7	32	3.0	35.0	6.0	2.5	240		
	8	32	3.0	35.0	6.0	2.5	240		
	9	32	3.0	35.0	6.0	2.5	240		
	10	32	3.0	35.0	6.0	2.5	240		
240 25 6B	1	32	3.0	35.0	6.0	2.5	240	35.2	1.75
	2	32	3.0	35.0	6.0	2.5	240		
	3	34	3.0	37.0	6.0	2.5	240		
	4	32	3.0	35.0	6.0	2.5	240		
	5	34	3.0	37.0	6.0	2.5	240		
	6	32	3.0	35.0	6.0	2.5	240		
	7	28	3.0	31.0	6.0	2.5	240		
	8	32	3.0	35.0	6.0	2.5	240		
	9	32	3.0	35.0	6.0	2.5	240		

	2	34	3.0	37.0	8.0	2.5	240		
	3	32	3.0	35.0	8.0	2.5	240		
	4	34	3.0	37.0	8.0	2.5	240		
	5	30	3.0	33.0	8.0	2.5	240		
	6	32	3.0	35.0	8.0	2.5	240		
	7	34	3.0	37.0	8.0	2.5	240		
	8	32	3.0	35.0	8.0	2.5	240		
	9	30	3.0	33.0	8.0	2.5	240		
	10	32	3.0	35.0	8.0	2.5	240		
240 25 8B	1	32	3.0	35.0	8.0	2.5	240	35.2	1.48
	2	34	3.0	37.0	8.0	2.5	240		
	3	32	3.0	35.0	8.0	2.5	240		
	4	34	3.0	37.0	8.0	2.5	240		
	5	32	3.0	35.0	8.0	2.5	240		
	6	30	3.0	33.0	8.0	2.5	240		
	7	34	3.0	37.0	8.0	2.5	240		
	8	32	3.0	35.0	8.0	2.5	240		
	9	32	3.0	35.0	8.0	2.5	240		
	10	30	3.0	33.0	8.0	2.5	240		
240 50 2A	1	28	3.0	31.0	2.0	5.0	240	33.2	1.75
	2	30	3.0	33.0	2.0	5.0	240		
	3	32	3.0	35.0	2.0	5.0	240		
	4	32	3.0	35.0	2.0	5.0	240		
	5	30	3.0	33.0	2.0	5.0	240		
	6	32	3.0	35.0	2.0	5.0	240		
	7	28	3.0	31.0	2.0	5.0	240		
	8	32	3.0	35.0	2.0	5.0	240		
	9	30	3.0	33.0	2.0	5.0	240		
	10	28	3.0	31.0	2.0	5.0	240		
240 50 2B	1	28	3.0	31.0	2.0	5.0	240	33.6	1.90
	2	28	3.0	31.0	2.0	5.0	240		
	3	30	3.0	33.0	2.0	5.0	240		
	4	32	3.0	35.0	2.0	5.0	240		
	5	32	3.0	35.0	2.0	5.0	240		
	6	30	3.0	33.0	2.0	5.0	240		
	7	34	3.0	37.0	2.0	5.0	240		
	8	30	3.0	33.0	2.0	5.0	240		
	9	30	3.0	33.0	2.0	5.0	240		
	10	32	3.0	35.0	2.0	5.0	240		
240 50 4A	1	28	3.0	31.0	4.0	5.0	240	33.2	1.99
	2	30	3.0	33.0	4.0	5.0	240		
	3	30	3.0	33.0	4.0	5.0	240		
	4	28	3.0	31.0	4.0	5.0	240		
	5	30	3.0	33.0	4.0	5.0	240		
	6	34	3.0	37.0	4.0	5.0	240		

	9	28	3.0	31.0	4.0	5.0	240		
	10	32	3.0	35.0	4.0	5.0	240		
240 50 4B	1	28	3.0	31.0	4.0	5.0	240	33.4	1.84
	2	32	3.0	35.0	4.0	5.0	240		
	3	28	3.0	31.0	4.0	5.0	240		
	4	32	3.0	35.0	4.0	5.0	240		
	5	30	3.0	33.0	4.0	5.0	240		
	6	32	3.0	35.0	4.0	5.0	240		
	7	32	3.0	35.0	4.0	5.0	240		
	8	28	3.0	31.0	4.0	5.0	240		
	9	30	3.0	33.0	4.0	5.0	240		
	10	32	3.0	35.0	4.0	5.0	240		
240 50 6A	1	30	3.0	33.0	6.0	5.0	240	33.4	1.58
	2	32	3.0	35.0	6.0	5.0	240		
	3	32	3.0	35.0	6.0	5.0	240		
	4	28	3.0	31.0	6.0	5.0	240		
	5	30	3.0	33.0	6.0	5.0	240		
	6	32	3.0	35.0	6.0	5.0	240		
	7	28	3.0	31.0	6.0	5.0	240		
	8	32	3.0	35.0	6.0	5.0	240		
	9	30	3.0	33.0	6.0	5.0	240		
	10	30	3.0	33.0	6.0	5.0	240		
240 50 6B	1	28	3.0	31.0	6.0	5.0	240	33.2	1.99
	2	28	3.0	31.0	6.0	5.0	240		
	3	30	3.0	33.0	6.0	5.0	240		
	4	34	3.0	37.0	6.0	5.0	240		
	5	32	3.0	35.0	6.0	5.0	240		
	6	28	3.0	31.0	6.0	5.0	240		
	7	32	3.0	35.0	6.0	5.0	240		
	8	30	3.0	33.0	6.0	5.0	240		
	9	30	3.0	33.0	6.0	5.0	240		
	10	30	3.0	33.0	6.0	5.0	240		
240 50 8A	1	32	3.0	35.0	8.0	5.0	240	33.4	1.58
	2	30	3.0	33.0	8.0	5.0	240		
	3	32	3.0	35.0	8.0	5.0	240		
	4	28	3.0	31.0	8.0	5.0	240		
	5	32	3.0	35.0	8.0	5.0	240		
	6	30	3.0	33.0	8.0	5.0	240		
	7	32	3.0	35.0	8.0	5.0	240		
	8	30	3.0	33.0	8.0	5.0	240		
	9	30	3.0	33.0	8.0	5.0	240		
	10	28	3.0	31.0	8.0	5.0	240		
240 50 8B	1	30	3.0	33.0	8.0	5.0	240	33.6	0.97
	2	30	3.0	33.0	8.0	5.0	240		
	3	30	3.0	33.0	8.0	5.0	240		

	6	30	3.0	33.0	8.0	5.0	240		
	7	32	3.0	35.0	8.0	5.0	240		
	8	30	3.0	33.0	8.0	5.0	240		
	9	30	3.0	33.0	8.0	5.0	240		
	10	32	3.0	35.0	8.0	5.0	240		
240 75 2A	1	28	3.0	31.0	2.0	7.5	240	33.8	1.69
	2	28	3.0	31.0	2.0	7.5	240		
	3	30	3.0	33.0	2.0	7.5	240		
	4	32	3.0	35.0	2.0	7.5	240		
	5	32	3.0	35.0	2.0	7.5	240		
	6	30	3.0	33.0	2.0	7.5	240		
	7	32	3.0	35.0	2.0	7.5	240		
	8	32	3.0	35.0	2.0	7.5	240		
	9	32	3.0	35.0	2.0	7.5	240		
	10	32	3.0	35.0	2.0	7.5	240		
240 75 2B	1	32	3.0	35.0	2.0	7.5	240	33.2	1.14
	2	30	3.0	33.0	2.0	7.5	240		
	3	32	3.0	35.0	2.0	7.5	240		
	4	30	3.0	33.0	2.0	7.5	240		
	5	30	3.0	33.0	2.0	7.5	240		
	6	30	3.0	33.0	2.0	7.5	240		
	7	30	3.0	33.0	2.0	7.5	240		
	8	30	3.0	33.0	2.0	7.5	240		
	9	30	3.0	33.0	2.0	7.5	240		
	10	28	3.0	31.0	2.0	7.5	240		
240 75 4A	1	30	3.0	33.0	4.0	7.5	240	33.8	1.03
	2	32	3.0	35.0	4.0	7.5	240		
	3	30	3.0	33.0	4.0	7.5	240		
	4	30	3.0	33.0	4.0	7.5	240		
	5	32	3.0	35.0	4.0	7.5	240		
	6	32	3.0	35.0	4.0	7.5	240		
	7	30	3.0	33.0	4.0	7.5	240		
	8	32	3.0	35.0	4.0	7.5	240		
	9	30	3.0	33.0	4.0	7.5	240		
	10	30	3.0	33.0	4.0	7.5	240		
240 75 4B	1	30	3.0	33.0	4.0	7.5	240	33.8	1.40
	2	30	3.0	33.0	4.0	7.5	240		
	3	30	3.0	33.0	4.0	7.5	240		
	4	30	3.0	33.0	4.0	7.5	240		
	5	30	3.0	33.0	4.0	7.5	240		
	6	32	3.0	35.0	4.0	7.5	240		
	7	32	3.0	35.0	4.0	7.5	240		
	8	34	3.0	37.0	4.0	7.5	240		
	9	30	3.0	33.0	4.0	7.5	240		
	10	30	3.0	33.0	4.0	7.5	240		

	3	30	3.0	33.0	6.0	7.5	240		
	4	32	3.0	35.0	6.0	7.5	240		
	5	30	3.0	33.0	6.0	7.5	240		
	6	32	3.0	35.0	6.0	7.5	240		
	7	30	3.0	33.0	6.0	7.5	240		
	8	30	3.0	33.0	6.0	7.5	240		
	9	30	3.0	33.0	6.0	7.5	240		
	10	32	3.0	35.0	6.0	7.5	240		
240 75 6B	1	30	3.0	33.0	6.0	7.5	240	33.4	1.26
	2	32	3.0	35.0	6.0	7.5	240		
	3	30	3.0	33.0	6.0	7.5	240		
	4	30	3.0	33.0	6.0	7.5	240		
	5	30	3.0	33.0	6.0	7.5	240		
	6	32	3.0	35.0	6.0	7.5	240		
	7	30	3.0	33.0	6.0	7.5	240		
	8	28	3.0	31.0	6.0	7.5	240		
	9	30	3.0	33.0	6.0	7.5	240		
	10	32	3.0	35.0	6.0	7.5	240		
240 75 8A	1	30	3.0	33.0	8.0	7.5	240	33.8	1.40
	2	30	3.0	33.0	8.0	7.5	240		
	3	30	3.0	33.0	8.0	7.5	240		
	4	30	3.0	33.0	8.0	7.5	240		
	5	32	3.0	35.0	8.0	7.5	240		
	6	30	3.0	33.0	8.0	7.5	240		
	7	34	3.0	37.0	8.0	7.5	240		
	8	30	3.0	33.0	8.0	7.5	240		
	9	30	3.0	33.0	8.0	7.5	240		
	10	32	3.0	35.0	8.0	7.5	240		
240 75 8B	1	30	3.0	33.0	8.0	7.5	240	34.0	1.05
	2	30	3.0	33.0	8.0	7.5	240		
	3	32	3.0	35.0	8.0	7.5	240		
	4	30	3.0	33.0	8.0	7.5	240		
	5	32	3.0	35.0	8.0	7.5	240		
	6	30	3.0	33.0	8.0	7.5	240		
	7	32	3.0	35.0	8.0	7.5	240		
	8	32	3.0	35.0	8.0	7.5	240		
	9	32	3.0	35.0	8.0	7.5	240		
	10	30	3.0	33.0	8.0	7.5	240		

บันทึกผลการทดสอบมวลคอนกรีตปฏิกิริยาส่วนผสมที่ 320 ksc. ด้วยวิธี Concrete Test Hammer									
รหัสมวลทดสอบ	ครั้งที่ทดสอบ	ค่าอ่าน	ค่าปรับแก้	Rebound Number	ปริมาณเหล็กเสริม (Percentage of Rebar)	ระยะหุ้มคอนกรีต (Covering)	กำลังอัดของคอนกรีตทดสอบ (Strength)	mean	SD
				R	P	C	D		
320 00 A	1	36	3.0	39.0	0.0	0.0	320	40.2	1.40
	2	40	3.0	43.0	0.0	0.0	320		
	3	36	3.0	39.0	0.0	0.0	320		
	4	36	3.0	39.0	0.0	0.0	320		
	5	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
	6	36	3.0	39.0	0.0	0.0	320		
	7	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
	8	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
	9	36	3.0	39.0	0.0	0.0	320		
	10	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
320 00 B	1	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320	40.6	1.26
	2	36	3.0	39.0	0.0	0.0	320		
	3	36	3.0	39.0	0.0	0.0	320		
	4	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
	5	36	3.0	39.0	0.0	0.0	320		
	6	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
	7	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
	8	40	3.0	43.0	0.0	0.0	320		
	9	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
	10	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
320 00 C	1	36	3.0	39.0	0.0	0.0	320	40.2	1.03
	2	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
	3	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
	4	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
	5	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
	6	36	3.0	39.0	0.0	0.0	320		
	7	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
	8	36	3.0	39.0	0.0	0.0	320		
	9	38	3.0	41.0	0.0	0.0	320		
	10	36	3.0	39.0	0.0	0.0	320		
320 25 2A	1	36	3.0	39.0	2.0	2.5	320	40.6	1.26
	2	36	3.0	39.0	2.0	2.5	320		
	3	38	3.0	41.0	2.0	2.5	320		
	4	38	3.0	41.0	2.0	2.5	320		
	5	38	3.0	41.0	2.0	2.5	320		
	6	36	3.0	39.0	2.0	2.5	320		
	7	38	3.0	41.0	2.0	2.5	320		
	8	38	3.0	41.0	2.0	2.5	320		
	9	40	3.0	43.0	2.0	2.5	320		

	5	38	3.0	41.0	2.0	2.5	320		
	6	36	3.0	39.0	2.0	2.5	320		
	7	38	3.0	41.0	2.0	2.5	320		
	8	38	3.0	41.0	2.0	2.5	320		
	9	38	3.0	41.0	2.0	2.5	320		
	10	40	3.0	43.0	2.0	2.5	320		
320 25 4A	1	40	3.0	43.0	4.0	2.5	320	41.4	1.26
	2	40	3.0	43.0	4.0	2.5	320		
	3	38	3.0	41.0	4.0	2.5	320		
	4	40	3.0	43.0	4.0	2.5	320		
	5	38	3.0	41.0	4.0	2.5	320		
	6	38	3.0	41.0	4.0	2.5	320		
	7	38	3.0	41.0	4.0	2.5	320		
	8	36	3.0	39.0	4.0	2.5	320		
	9	38	3.0	41.0	4.0	2.5	320		
	10	38	3.0	41.0	4.0	2.5	320		
320 25 4B	1	38	3.0	41.0	4.0	2.5	320	41.6	0.97
	2	38	3.0	41.0	4.0	2.5	320		
	3	38	3.0	41.0	4.0	2.5	320		
	4	40	3.0	43.0	4.0	2.5	320		
	5	38	3.0	41.0	4.0	2.5	320		
	6	40	3.0	43.0	4.0	2.5	320		
	7	38	3.0	41.0	4.0	2.5	320		
	8	40	3.0	43.0	4.0	2.5	320		
	9	38	3.0	41.0	4.0	2.5	320		
	10	38	3.0	41.0	4.0	2.5	320		
320 25 6A	1	38	3.0	41.0	6.0	2.5	320	42.4	1.35
	2	40	3.0	43.0	6.0	2.5	320		
	3	40	3.0	43.0	6.0	2.5	320		
	4	38	3.0	41.0	6.0	2.5	320		
	5	40	3.0	43.0	6.0	2.5	320		
	6	38	3.0	41.0	6.0	2.5	320		
	7	40	3.0	43.0	6.0	2.5	320		
	8	42	3.0	45.0	6.0	2.5	320		
	9	38	3.0	41.0	6.0	2.5	320		
	10	40	3.0	43.0	6.0	2.5	320		
320 25 6B	1	40	3.0	43.0	6.0	2.5	320	43.0	1.33
	2	40	3.0	43.0	6.0	2.5	320		
	3	38	3.0	41.0	6.0	2.5	320		
	4	40	3.0	43.0	6.0	2.5	320		
	5	38	3.0	41.0	6.0	2.5	320		
	6	40	3.0	43.0	6.0	2.5	320		
	7	42	3.0	45.0	6.0	2.5	320		
	8	40	3.0	43.0	6.0	2.5	320		
	9	42	3.0	45.0	6.0	2.5	320		

	2	40	3.0	43.0	8.0	2.5	320		
	3	42	3.0	45.0	8.0	2.5	320		
	4	42	3.0	45.0	8.0	2.5	320		
	5	40	3.0	43.0	8.0	2.5	320		
	6	40	3.0	43.0	8.0	2.5	320		
	7	42	3.0	45.0	8.0	2.5	320		
	8	40	3.0	43.0	8.0	2.5	320		
	9	38	3.0	41.0	8.0	2.5	320		
	10	42	3.0	45.0	8.0	2.5	320		
320 25 8B	1	40	3.0	43.0	8.0	2.5	320	44.0	1.05
	2	42	3.0	45.0	8.0	2.5	320		
	3	40	3.0	43.0	8.0	2.5	320		
	4	42	3.0	45.0	8.0	2.5	320		
	5	42	3.0	45.0	8.0	2.5	320		
	6	42	3.0	45.0	8.0	2.5	320		
	7	40	3.0	43.0	8.0	2.5	320		
	8	40	3.0	43.0	8.0	2.5	320		
	9	42	3.0	45.0	8.0	2.5	320		
	10	40	3.0	43.0	8.0	2.5	320		
320 50 2A	1	40	3.0	43.0	2.0	5.0	320	40.6	1.26
	2	38	3.0	41.0	2.0	5.0	320		
	3	38	3.0	41.0	2.0	5.0	320		
	4	38	3.0	41.0	2.0	5.0	320		
	5	38	3.0	41.0	2.0	5.0	320		
	6	36	3.0	39.0	2.0	5.0	320		
	7	36	3.0	39.0	2.0	5.0	320		
	8	38	3.0	41.0	2.0	5.0	320		
	9	38	3.0	41.0	2.0	5.0	320		
	10	36	3.0	39.0	2.0	5.0	320		
320 50 2B	1	36	3.0	39.0	2.0	5.0	320	40.8	1.14
	2	38	3.0	41.0	2.0	5.0	320		
	3	38	3.0	41.0	2.0	5.0	320		
	4	38	3.0	41.0	2.0	5.0	320		
	5	36	3.0	39.0	2.0	5.0	320		
	6	38	3.0	41.0	2.0	5.0	320		
	7	40	3.0	43.0	2.0	5.0	320		
	8	38	3.0	41.0	2.0	5.0	320		
	9	38	3.0	41.0	2.0	5.0	320		
	10	38	3.0	41.0	2.0	5.0	320		
320 50 4A	1	38	3.0	41.0	4.0	5.0	320	40.4	0.97
	2	36	3.0	39.0	4.0	5.0	320		
	3	38	3.0	41.0	4.0	5.0	320		
	4	36	3.0	39.0	4.0	5.0	320		
	5	38	3.0	41.0	4.0	5.0	320		
	6	38	3.0	41.0	4.0	5.0	320		

	9	38	3.0	41.0	4.0	5.0	320		
	10	38	3.0	41.0	4.0	5.0	320		
320 50 4B	1	38	3.0	41.0	4.0	5.0	320	40.8	1.14
	2	38	3.0	41.0	4.0	5.0	320		
	3	40	3.0	43.0	4.0	5.0	320		
	4	36	3.0	39.0	4.0	5.0	320		
	5	38	3.0	41.0	4.0	5.0	320		
	6	38	3.0	41.0	4.0	5.0	320		
	7	38	3.0	41.0	4.0	5.0	320		
	8	36	3.0	39.0	4.0	5.0	320		
	9	38	3.0	41.0	4.0	5.0	320		
	10	38	3.0	41.0	4.0	5.0	320		
320 50 6A	1	38	3.0	41.0	6.0	5.0	320	40.4	0.97
	2	38	3.0	41.0	6.0	5.0	320		
	3	36	3.0	39.0	6.0	5.0	320		
	4	38	3.0	41.0	6.0	5.0	320		
	5	38	3.0	41.0	6.0	5.0	320		
	6	36	3.0	39.0	6.0	5.0	320		
	7	38	3.0	41.0	6.0	5.0	320		
	8	38	3.0	41.0	6.0	5.0	320		
	9	38	3.0	41.0	6.0	5.0	320		
	10	36	3.0	39.0	6.0	5.0	320		
320 50 6B	1	38	3.0	41.0	6.0	5.0	320	40.2	1.03
	2	38	3.0	41.0	6.0	5.0	320		
	3	36	3.0	39.0	6.0	5.0	320		
	4	38	3.0	41.0	6.0	5.0	320		
	5	36	3.0	39.0	6.0	5.0	320		
	6	36	3.0	39.0	6.0	5.0	320		
	7	36	3.0	39.0	6.0	5.0	320		
	8	38	3.0	41.0	6.0	5.0	320		
	9	38	3.0	41.0	6.0	5.0	320		
	10	38	3.0	41.0	6.0	5.0	320		
320 50 8A	1	38	3.0	41.0	8.0	5.0	320	40.6	1.26
	2	36	3.0	39.0	8.0	5.0	320		
	3	38	3.0	41.0	8.0	5.0	320		
	4	38	3.0	41.0	8.0	5.0	320		
	5	36	3.0	39.0	8.0	5.0	320		
	6	38	3.0	41.0	8.0	5.0	320		
	7	38	3.0	41.0	8.0	5.0	320		
	8	40	3.0	43.0	8.0	5.0	320		
	9	36	3.0	39.0	8.0	5.0	320		
	10	38	3.0	41.0	8.0	5.0	320		
320 50 8B	1	38	3.0	41.0	8.0	5.0	320	40.6	1.26
	2	38	3.0	41.0	8.0	5.0	320		
	3	38	3.0	41.0	8.0	5.0	320		

	6	40	3.0	43.0	8.0	5.0	320		
	7	36	3.0	39.0	8.0	5.0	320		
	8	36	3.0	39.0	8.0	5.0	320		
	9	36	3.0	39.0	8.0	5.0	320		
	10	38	3.0	41.0	8.0	5.0	320		
320 75 2A	1	38	3.0	41.0	2.0	7.5	320	40.4	0.97
	2	38	3.0	41.0	2.0	7.5	320		
	3	38	3.0	41.0	2.0	7.5	320		
	4	36	3.0	39.0	2.0	7.5	320		
	5	38	3.0	41.0	2.0	7.5	320		
	6	36	3.0	39.0	2.0	7.5	320		
	7	36	3.0	39.0	2.0	7.5	320		
	8	38	3.0	41.0	2.0	7.5	320		
	9	38	3.0	41.0	2.0	7.5	320		
	10	38	3.0	41.0	2.0	7.5	320		
320 75 2B	1	38	3.0	41.0	2.0	7.5	320	40.6	1.26
	2	38	3.0	41.0	2.0	7.5	320		
	3	36	3.0	39.0	2.0	7.5	320		
	4	38	3.0	41.0	2.0	7.5	320		
	5	38	3.0	41.0	2.0	7.5	320		
	6	38	3.0	41.0	2.0	7.5	320		
	7	36	3.0	39.0	2.0	7.5	320		
	8	40	3.0	43.0	2.0	7.5	320		
	9	38	3.0	41.0	2.0	7.5	320		
	10	36	3.0	39.0	2.0	7.5	320		
320 75 4A	1	38	3.0	41.0	4.0	7.5	320	40.6	0.84
	2	38	3.0	41.0	4.0	7.5	320		
	3	36	3.0	39.0	4.0	7.5	320		
	4	38	3.0	41.0	4.0	7.5	320		
	5	36	3.0	39.0	4.0	7.5	320		
	6	38	3.0	41.0	4.0	7.5	320		
	7	38	3.0	41.0	4.0	7.5	320		
	8	38	3.0	41.0	4.0	7.5	320		
	9	38	3.0	41.0	4.0	7.5	320		
	10	38	3.0	41.0	4.0	7.5	320		
320 75 4B	1	38	3.0	41.0	4.0	7.5	320	40.8	1.48
	2	40	3.0	43.0	4.0	7.5	320		
	3	38	3.0	41.0	4.0	7.5	320		
	4	36	3.0	39.0	4.0	7.5	320		
	5	38	3.0	41.0	4.0	7.5	320		
	6	40	3.0	43.0	4.0	7.5	320		
	7	38	3.0	41.0	4.0	7.5	320		
	8	36	3.0	39.0	4.0	7.5	320		
	9	38	3.0	41.0	4.0	7.5	320		
	10	36	3.0	39.0	4.0	7.5	320		

	3	36	3.0	39.0	6.0	7.5	320		
	4	38	3.0	41.0	6.0	7.5	320		
	5	38	3.0	41.0	6.0	7.5	320		
	6	36	3.0	39.0	6.0	7.5	320		
	7	38	3.0	41.0	6.0	7.5	320		
	8	38	3.0	41.0	6.0	7.5	320		
	9	38	3.0	41.0	6.0	7.5	320		
	10	36	3.0	39.0	6.0	7.5	320		
320 75 6B	1	38	3.0	41.0	6.0	7.5	320	40.6	1.26
	2	38	3.0	41.0	6.0	7.5	320		
	3	36	3.0	39.0	6.0	7.5	320		
	4	38	3.0	41.0	6.0	7.5	320		
	5	38	3.0	41.0	6.0	7.5	320		
	6	38	3.0	41.0	6.0	7.5	320		
	7	36	3.0	39.0	6.0	7.5	320		
	8	36	3.0	39.0	6.0	7.5	320		
	9	38	3.0	41.0	6.0	7.5	320		
	10	40	3.0	43.0	6.0	7.5	320		
320 75 8A	1	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320	40.8	1.14
	2	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320		
	3	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320		
	4	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320		
	5	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320		
	6	36	3.0	39.0	8.0	7.5	320		
	7	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320		
	8	36	3.0	39.0	8.0	7.5	320		
	9	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320		
	10	40	3.0	43.0	8.0	7.5	320		
320 75 8B	1	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320	40.4	0.97
	2	36	3.0	39.0	8.0	7.5	320		
	3	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320		
	4	36	3.0	39.0	8.0	7.5	320		
	5	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320		
	6	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320		
	7	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320		
	8	36	3.0	39.0	8.0	7.5	320		
	9	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320		
	10	38	3.0	41.0	8.0	7.5	320		

ภาพแสดงการจัดทำและทดสอบกำลังอัดของมวลคอนกรีตทดสอบ



ภาพแสดงการเตรียมเหล็กเสริมในตัวอย่างทดสอบ



ภาพแสดงการเทคอนกรีตสำหรับใช้เป็นมวลคอนกรีตทดสอบแบบเสริมเหล็ก



ภาพแสดงการเตรียมมวลคอนกรีตล้นในแบบหล่อทดสอบมาตรฐาน



ภาพแสดงการเตรียมมวลคอนกรีตล้นในแบบหล่อทดสอบมาตรฐาน



ภาพแสดงการกด Concrete Test Hammer บนมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก



ภาพแสดงการอ่านผลจาก Concrete Test Hammer



ภาพแสดงการมวลคอนกรีตลั่ว้น ที่ทำการกำหนดหมายเลขสำหรับการทดสอบ



ภาพแสดงการกด Concrete Test Hammer บนมวลคอนกรีตเสริมเหล็ก



ภาพแสดงเครื่องมือทดสอบกำลังอัดของมวลคอนกรีตล้นแบบทำลาย



ภาพแสดงเครื่องมือทดสอบกำลังอัดของมวลคอนกรีตล้นแบบทำลาย



ภาพแสดงเครื่องมือทดสอบกำลังอัดของมวลคอนกรีตล้นแบบทำลาย



ภาพแสดงมวลคอนกรีตล้นที่ผ่านการทดสอบแบบทำลาย

Operating Instruction ของ Concrete Test Hammer

Operating Instructions



Concrete Test Hammer

Types N and NR

ISO 9001

Proceq

I. General Information

There are different types of test hammers:

Type N impact energy = 2.207 N·m (0.225 kgm) is intended for testing concrete in ordinary building and bridge constructions.

Type NR impact energy = 2.207 N·m (0.225 kgm) corresponds substantially to type N, but it is equipped with a special recording device.

Type L impact energy = 0.735 N·m (0.075 kgm) is a smaller version of type N. It is suitable for testing small and impact-sensitive parts of concrete or artificial stone.

Type LR impact energy = 0.735 N·m (0.075 kgm) corresponds substantially to type L, but is equipped with a special recording device.

Type LB impact energy = 0.735 N·m (0.075 kgm) is particularly suitable for the continuous control of the quality of burnt clay material and tile products.

Type M impact energy = 29.43 N·m (3 kgm) is especially suitable for determining the strength of mass concrete and for testing the quality of concrete road pavements and airfield runways.

Type P pendulum-type hammer, impact energy = 0.883 N·m (0.09 kgm) is intended for testing materials of low hardness and strength such as lightweight building materials of every description, plasterwork and surfacings. With concrete of low strength (cube compressive strength 5 to 25 N/mm² (700 to 3500 psi) type P gives better results than the types N and L.

Type PT impact energy = 0.883 N·m (0.09 kgm) with a larger hammer head surface has been developed for testing of building materials with extremely low compressive strength (cube compressive strength of 0.5 to 5 N/mm² (70 to 700 psi).

The type N concrete test hammer is intended for non-destructive testing of the quality of concrete in the finished structure (ordinary building and bridge construction). When testing, the "Rebound Number" is measured which depends on the strength of the mortar (concrete without coarse aggregate particles) close to the surface. Since the strength of the mortar as a rule determines the strength of the concrete, the rebound number gives an indication of the strength of the concrete.

Compared with the direct test on the concrete of a structure, the conventional test cubes have the disadvantage that their compaction and their hardening conditions always differ more or less from those of the structure; furthermore, differences (unintentional and intentional) in the composition are not uncommon. In addition, the number of test cubes is generally so small that



Fig. 1

View of the Concrete Test Hammer Type N during calibration tests with a concrete cube of 20 cm side length at the 'Eidgenössische Materialprüfungsanstalt' (Federal Material Testing Institute) at Zurich. The cubes are fixed in a heavy crushing press with a force of 40 kN (4 metric tons). The hammer impacts are equally distributed on two cube sides which have been laying sideways during concreting.

2

they can only be considered as random tests. With the test hammer, however, all parts even on the largest structures can be tested in a very short time so that it is possible to determine the deviations in the concrete quality over the different parts of the structure. Since the test does not destroy the concrete, the curing process continuing after setting of the cement can be followed up accurately. The correlation between rebound number and strength of the concrete has been derived from a great number of hammer tests on cubes, each cube being crushed in the machine immediately after carrying out the hammer tests (see fig. 1). With concrete of medium and good quality, the uncertainty inherent in this correlation is slight (see fig. 3).

Under normal conditions the accuracy in determining the strength of the concrete of a structure with the test hammer is considerably greater than by means of a few test cubes. The value of the hammer tests is, however, increased if some cubes are produced simultaneously with the various structural parts and their rebound number is determined before being crushed so as to ascertain the exact correlation between rebound number and strength applying to the conditions of the case on hand.

Frequently a definite concrete strength is not specified with regard to the stresses to be expected but to obtain a sufficiently large resistance to wear (such as with concrete road pavements), to erosion (in hydraulic structures) or to climatic influences. In such cases the surface hardness determined with the test hammer is obviously a better measure of quality than the compressive strength.

3

II. Operating Instructions for the Concrete Test Hammer (Fig. 2)

- 1. By lightly pressing on the head of the impact plunger (1) the plunger is released and will slide out of the housing (3) by itself.
- 2. The plunger (1) is pressed against the spot of the concrete surface (2) to be tested. Just before it disappears completely in the housing (3) the hammer is released. Release must be effected by slowly increasing the pressure on the housing. At the moment of impact the hammer must be held exactly at right angle to the surface (2). Do not touch the push-button (6)!
- 3. After the impact the hammer mass (14) rebounds by a certain amount which is indicated on the scale (19) by the rider (4). The reading of the rider position gives the rebound value in percent of the forward movement of the hammer mass.
- 4. By simply removing the hammer from the spot tested, it is reset for a further test and at the same time the indication is cancelled. The rider never returns quite to zero. In its extended position the plunger (1) is slightly out of the longitudinal axis of the hammer.
- 5. After having finished the tests, the plunger (1) together with its guide bar (7) and guide disk (8) is locked in its rear position by means of the push-button (6). Locking should always be effected after releasing the impact, i.e. with untensioned impact spring (16). The lock also serves for fixing the rebound reading after impact tests in dark or not easily accessible locations.
- 6. The test hammer is calibrated for horizontal impact direction, i.e. for testing vertical surfaces. When using it on inclined or horizontal surfaces, the rebound value R_d must be corrected as per table I.

Table I Correction of the Test Hammer Indications for Non-horizontal Impacts

Rebound value R_d	Correction for inclination angle α		
	upwards +90°	downwards -45° -90°	
10	+2.4	+2.4	+3.2
20	-5.4	-3.5	+2.5
30	-4.7	-3.1	+2.3
40	-3.9	-2.6	+2.0
50	-3.1	-2.1	+1.6
60	-2.3	-1.6	+1.3

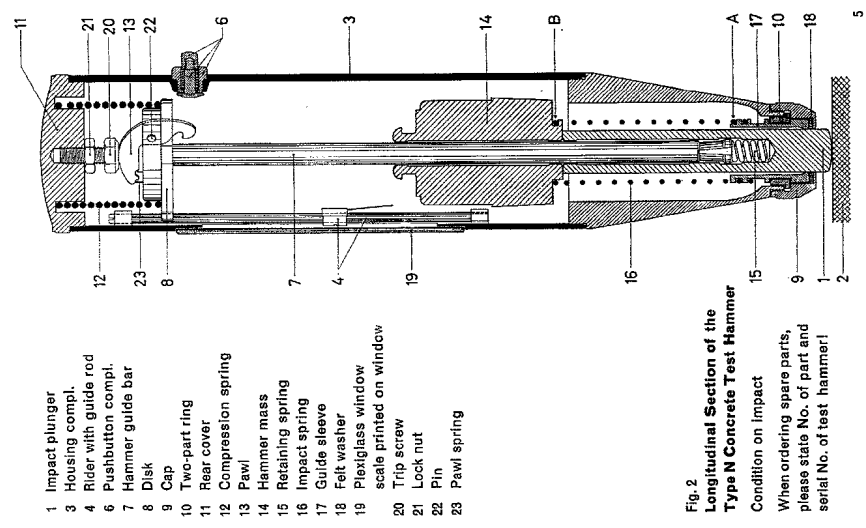
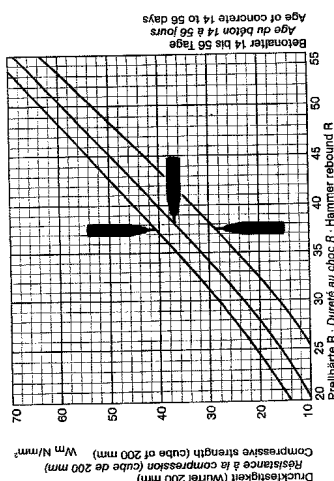


Fig. 2 Longitudinal Section of the Type N Concrete Test Hammer

Condition on Impact
When ordering spare parts, please state No. of part and serial No. of test hammer!

Fig. 3
Cube Compressive Strength in N/mm^2
plotted against the Rebound Number
Type N Test Hammer



The curves apply to compact Portland cement concrete with good quality gravel/sand aggregate. Age 14 to 56 days. Smooth and dry concrete surface.

W_m = most likely value of the cube compressive strength in N/mm^2 .
The dispersion limits W_{max} and W_{min} are so defined that they include 80 percent of all the test results.

Note under Section IV "Limits of Validity of the Calibration Curves"

III. Determination of the Strength of Concrete and Reinforced Concrete

1. Selecting the points to be tested: Above all, vertical surfaces of concrete structures which were encased in a form are to be favoured. Form joints, honeycombs and porous areas are to be avoided. With thin structural parts (slabs and walls less than 4 in. thick, columns less than 5 in. thick) special care must be exercised as the elasticity of such structural parts may falsify the test hammer indication.

With low-grade concrete the possibility must always be taken into account that its rebound number – and likewise its strength – will decrease considerably within a cast from bottom to top. Therefore, reliance should not be put exclusively on testing the bottom surfaces but the aim should be to make some tests on a clean vertical surface too.

2. Preparing points to be tested: Before testing, any plasterwork or coating must be removed. Slightly uneven surfaces caused by unplanned wooden forms can be smoothed by hand with the carbonundum stone supplied with the hammer.

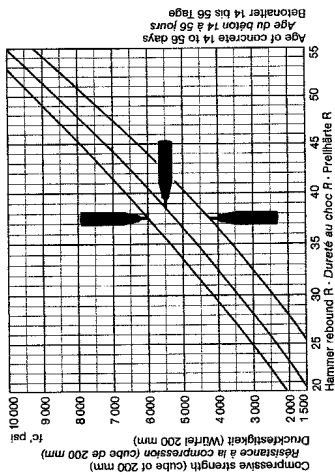
The top surface of the concrete is only suitable for hammer tests if the always present cement slurry is previously removed. To be sure of achieving this, the concrete must as a rule be ground off until its normal texture is exposed.

With old concrete the excessively hard surface layer must be removed to a depth of approx. $\frac{1}{2}$ in. For this work a light-weight high-speed hand grinder (output approx. 750 Watts, speed approx. 6000 r.p.m.) with a cup wheel of 5 in. dia. will, as experience shows, be sufficient. The ground surface must be at least as large as to permit 5 to 10 test hammer impacts to be made on the mortar without hitting coarse aggregate particles. As a rule an area of about 4 by 4 in. will suffice.

3. Carrying out impact test at 5, or better 10, points of the prepared area. Take the mean value R of the 5 to 10 hammer readings. In taking the mean, all the individual readings of the test hammer must be taken into account; only obvious "off shots" are to be eliminated and to be replaced by a further impact test. Obvious "off shots" are those test hammer readings that deviate from the mean of the others by more than 5 units. Experience shows that they occur when the impact hits an aggregate particle or a pore lying close to the surface. R is called the **Rebound Number**.

4. The most likely value W_m and the minimum value W_{min} of the cube compressive strength of the concrete are given in table II. It is recommended to calculate the mean value of R to an accuracy of $\frac{1}{2}$ scale unit, the values W , however, to the nearest N/mm^2 . The cube compressive strength can also be taken with sufficient accuracy from fig. 3.

Fig. 3a
Cube Compressive Strength in psi
plotted against the Rebound Number
Type N Test Hammer



The curves apply to compact Portland cement with good-quality gravel/sand aggregate. Age 14 to 56 days. Smooth and dry concrete surface.

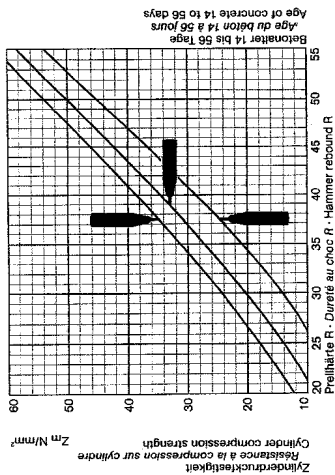
f_c' = most likely value of the cube compressive strength in psi.

The dispersion limits $f_{c'max}$ and $f_{c'min}$ are so defined that they include 80 percent of all the test results.

Note under Section IV "Limits of Validity of the Calibration Curves".

8

Fig. 3b
Cylinder Compressive Strength in N/mm²
plotted against the Rebound Number
Type N Test Hammer



The curves apply to compact Portland cement with good-quality gravel/sand aggregate. Age 14 to 56 days. Smooth and dry concrete surface.

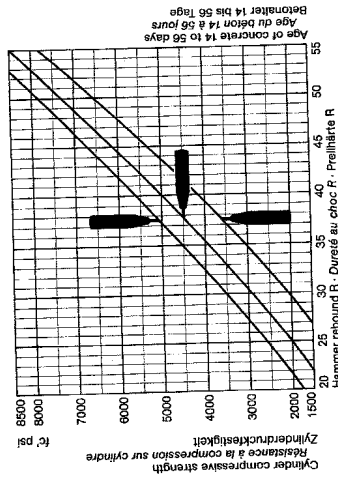
Z_m = most likely value of the cylinder compressive strength in N/mm².

The dispersion limits Z_{max} and Z_{min} are so defined that they include 80 percent of all the test results.

Note under Section IV "Limits of Validity of the Calibration Curves".

9

Fig. 3c
Cylinder Compressive Strength in psi
plotted against the Rebound Number
Type N Test Hammer



The curves apply to compact Portland cement with good-quality gravel/sand aggregate. Age 14 to 56 days. Smooth and dry concrete surface.

f'_c = most likely value of the cylinder compressive strength in psi. The dispersion limits $f'_{c,max}$ and $f'_{c,min}$ are so defined that they include 80 percent of all the test results.

Note under Section IV "Limits of Validity of the Calibration Curves".

Table II
Cube Compressive Strength as a Function of the Rebound
Number R

R	14-56 Days						7 Days					
	W_m			W_{min}			W_m			W_{min}		
	ksi/cm ²	N/mm ²	psi	ksi/cm ²	N/mm ²	psi	ksi/cm ²	N/mm ²	psi	ksi/cm ²	N/mm ²	psi
20	101	6.9	1440	54	5.3	770	121	11.9	1720	74	7.3	1050
21	113	11.1	1610	64	6.3	910	132	12.9	1880	83	8.1	1180
22	126	12.4	1790	75	7.4	1070	145	14.2	2060	94	9.2	1340
23	139	13.6	1980	86	8.4	1220	157	15.4	2230	104	10.2	1480
24	152	14.9	2160	98	9.6	1390	169	16.6	2400	115	11.3	1640
25	166	16.3	2350	110	10.8	1560	183	18.0	2600	127	12.5	1810
26	180	17.7	2560	122	12.0	1740	196	19.2	2790	138	13.5	1980
27	195	19.1	2770	135	13.2	1920	210	20.6	2980	150	14.7	2130
28	210	20.6	2980	149	14.6	2120	223	22.1	3170	161	15.7	2280
29	225	22.1	3200	163	15.9	2320	238	23.6	3360	171	16.6	2420
30	241	23.6	3430	178	17.5	2530	254	24.9	3610	191	18.7	2720
31	257	25.2	3660	193	18.9	2750	269	26.4	3830	205	20.1	2920
32	274	26.9	3900	209	20.6	2970	285	28.0	4050	220	21.6	3130
33	291	28.5	4140	225	22.1	3200	300	29.4	4270	234	23.0	3330
34	307	30.1	4370	240	23.5	3410	315	30.9	4480	248	24.3	3530
35	324	31.8	4610	256	25.1	3640	331	32.5	4710	263	25.8	3740
36	342	33.5	4860	273	26.8	3880	348	34.1	4950	279	27.4	3970
37	360	35.3	5120	290	28.4	4120	365	35.8	5190	295	28.9	4200
38	377	37.0	5360	307	30.0	4370	381	37.4	5420	311	30.5	4420
39	395	38.7	5620	324	31.6	4610	398	39.0	5660	327	32.1	4650
40	413	40.5	5870	341	33.4	4850	416	40.8	5920	344	33.7	4880
41	432	42.4	6150	359	35.2	5110	434	42.6	6170	361	35.4	5130
42	450	44.1	6400	377	37.0	5360	451	44.2	6410	378	37.1	5380
43	469	46.0	6670	395	38.7	5620	470	46.1	6690	396	38.8	5630
44	488	47.9	6940	414	40.5	5890	488	47.9	6940	414	40.8	5890
45	507	49.7	7210	432	42.4	6140	507	49.7	7210	432	42.4	6140
46	528	51.6	7480	451	44.2	6410	528	51.6	7480	451	44.2	6410
47	546	53.5	7770	470	46.1	6690	546	53.5	7770	470	46.1	6690
48	565	55.4	8040	489	48.0	6960	565	55.4	8040	489	48.0	6960
49	584	57.3	8310	508	49.9	7230	584	57.3	8310	508	49.9	7230
50	604	59.2	8590	527	51.7	7500	604	59.2	8590	527	51.7	7500
51	623	61.1	8860	546	53.5	7770	623	61.1	8860	546	53.5	7770
52	643	63.1	9150	565	55.4	8040	643	63.1	9150	565	55.4	8040
53	663	65.0	9430	584	57.3	8310	663	65.0	9430	584	57.3	8310
54	683	67.0	9710	603	59.1	8580	683	67.0	9710	603	59.1	8580
55	703	68.9	10000	622	61.0	8850	703	68.9	10000	622	61.0	8850

Cylinder Compressive Strength as a Function of the Rebound Number R
Table II

R	14-56 Days										7 Days			
	Z _m		Z _{min}		Z _m		Z _m		Z _m		Z _m		Z _m	
	kg/cm ²	N/mm ²	kg/cm ²	N/mm ²	kg/cm ²	N/mm ²	kg/cm ²	N/mm ²	kg/cm ²	N/mm ²	kg/cm ²	N/mm ²	kg/cm ²	N/mm ²
20	86	8.4	1220	46	4.5	650	103	10.1	1470	63	6.2	900		
21	96	9.4	1320	54	5.3	710	112	11.0	1590	71	7.0	1010		
22	107	10.5	1420	64	6.3	770	123	12.1	1750	80	7.9	1140		
23	118	11.6	1520	73	7.2	840	133	13.0	1890	88	8.6	1260		
24	129	12.7	1630	83	8.1	910	144	14.1	2050	98	9.6	1380		
25	141	13.8	1740	94	9.2	1000	156	15.3	2220	108	10.6	1540		
26	153	15.0	1860	104	10.2	1080	167	16.4	2380	117	11.5	1660		
27	166	16.3	1980	115	11.3	1160	178	17.5	2550	128	12.6	1780		
28	179	17.6	2100	127	12.5	1250	191	18.7	2720	139	13.8	1900		
29	191	18.7	2220	139	13.6	1340	203	19.9	2890	150	14.7	2130		
30	205	20.1	2340	151	14.8	1430	216	21.2	3070	162	15.9	2300		
31	218	21.4	2460	164	16.1	1520	229	22.5	3260	174	17.1	2470		
32	233	22.9	2580	178	17.5	1610	242	23.7	3440	187	18.3	2660		
33	247	24.2	2700	191	18.7	1700	255	25.0	3630	199	19.5	2830		
34	261	25.6	2820	204	20.0	1800	268	26.3	3810	211	20.7	3000		
35	275	27.0	2940	218	21.4	1900	281	27.6	4000	224	22.0	3190		
36	291	28.5	3060	232	22.8	2000	296	28.0	4210	237	23.3	3370		
37	306	30.0	3180	247	24.2	2100	310	30.4	4410	251	24.6	3570		
38	320	31.4	3300	261	25.6	2200	324	31.6	4610	264	25.9	3750		
39	336	33.0	3420	275	27.0	2300	338	33.2	4810	278	27.3	3950		
40	351	34.4	3540	289	28.4	2400	354	34.7	5040	292	28.6	4150		
41	367	35.0	3660	305	29.9	2500	369	36.2	5250	307	30.1	4370		
42	383	37.6	3780	320	31.4	2600	383	37.9	5450	321	31.5	4570		
43	398	39.1	3900	336	33.0	2700	400	39.2	5690	337	33.1	4790		
44	415	40.7	4020	352	34.5	2800	415	40.7	5900	352	34.5	5010		
45	431	42.3	4140	367	36.0	2900	431	42.3	6130	367	36.0	5220		
46	447	43.8	4260	383	37.6	3000	447	43.8	6360	383	37.6	5450		
47	464	45.5	4380	400	39.2	3100	464	45.5	6590	400	39.2	5690		
48	480	47.1	4500	416	40.8	3200	480	47.1	6830	416	40.8	5920		
49	496	48.6	4620	432	42.4	3300	496	48.6	7050	432	42.4	6140		
50	513	50.3	4740	448	43.9	3400	513	50.3	7300	448	43.9	6370		
51	530	52.0	4860	464	45.5	3500	530	52.0	7540	464	45.5	6600		
52	547	53.6	4980	480	47.1	3600	547	53.6	7780	480	47.1	6830		
53	564	55.3	5100	496	48.6	3700	564	55.3	8020	496	48.6	7050		
54	581	57.0	5220	513	50.3	3800	581	57.0	8260	513	50.3	7300		
55	598	58.6	5340	529	51.9	3900	598	58.6	8510	529	51.9	7520		

Cylinder compressive strength = $0.85 \times$ cube compressive strength.

12

IV. Limits of Validity of the Calibration Curves

The calibration curves of the concrete test hammer (Table II and Fig. 3) are based on measurements made on a large number of test cubes which were first subjected to the hammer test and then crushed. All the cubes were of concrete with good quality gravel/sand aggregate and Portland cement. With each test at least 10 hammer impacts were made on one of the side surfaces of the test cube lightly clamped in the crushing machine.

According to experience, the calibration curve practically does not depend on the cement content of the concrete, the granulometric gradation, the diameter of the largest particle of the gravel/sand aggregate nor on the water/cement ratio.

As experience shows, deviations from the normal calibration curves occur in the following cases:

1. Products of artificial stone with special composition of the concrete and with small dimensions. It is recommended to carry out a special series of tests to determine the relationship between rebound number and quality of material in each individual case. With light-weight and thin-walled test objects the type L test hammer is to be preferred.
2. With aggregate of not very strong, light-weight or cleavable stone (e.g. pumice, crushed brick, shales) the strength is lower than given by the calibration curve. In case of doubt the correlation between rebound number and strength applying to the material on hand must be determined by tests.
3. Aggregate with excessively smooth, polished surface is of no use for concrete of greater strength; since the rebound number only depends on the strength of the mortar, it does not permit any conclusion as to the strength in this case either.
4. The same phenomenon as in 3. has been observed in a very extreme form with concrete that had been produced with unwashed loamy aggregate.
5. Concrete, poor in sand, dry mixed and insufficiently worked can contain honeycombs not visible from the outside that will impair its strength but not its rebound number.
6. On concrete from which the form has just been removed and which is wet or which has hardened under water, the test hammer will give values of R which are too low. The concrete must be dry when carrying out an impact test.
7. With old dried-out concrete the surface is always disproportionately hard. Therefore the mean strength is lower than is indicated by the test hammer. The following procedure is to be recommended: Carry out hammer tests

13

VI. Adjusting Test Hammer

1. Release of impact: To check remove the window (19) and carry out an ordinary impact test while pushing the rider (4) back to the indication 90 by hand. The impact must be released at the indication 100. Any necessary adjustment of the moment of release is made with the trip screw (20) which is then locked in position by the lock nut (21). On hammers of the latest production series the scale is printed on the rear of the pieglass window (19); on these hammers an index mark engraved on the housing indicates the scale end point (indication 100).
2. Rider: The friction of the rider on its rod must be 50 to 80 grams. This is tested by means of weights provided with a hook for suspending to the rider body. With the guide rod removed from the housing the frictional force can also be measured with a letter balance.
The catch spring of the rider must be shaped in such a manner that it will be positively carried along by the hammer mass without, however, increasing the rider friction. To check proceed exactly in the same way as in checking the impact release except that the rider is not pushed back so far. The rider must not be carried along when it is on 50 or less; it must be carried along when it is placed on 80 or more. If necessary bend the catch spring to its correct shape.
3. Adjusting impact spring (16): The front fixation (A) of the impact spring must be adjusted in such a way that with the spring untensioned the hammer mass (14) occupies the position corresponding to "zero" indication of the rider. For reasons connected with the operation of the hammer, the scale does not go as far as zero; therefore the adjustment is checked with the hammer held vertically upwards. In this position the spring is not untensioned but stretched by the weight of the hammer mass by exactly 5 mm. For checking the setting, use is made of the thick index line on the scale or of the double index line on the housing located 5 mm behind the imaginary zero point of the scale. With the window (19) removed and the disk (8) locked by the pushbutton (6) hold the hammer stationary and push the rider (4) up with a piece of wire; it must contact the hammer mass in the range of the index line.
The effective length of the spring is adjusted at the front fixation point (A). For this purpose clamp the guide sleeve (17) in the vice and open up the spring a little; with a screwdriver the spring end can now be lifted out of its hole and engaged in one of the adjacent holes. Displacing the spring end by one hole corresponds to an alteration of the spring length by about 0.4 mm.

15

(5 to 10 impacts each) at all the locations of the structure to be tested; close to a number of these locations grind the concrete to a depth of 10 mm; repeat the hammer tests at the ground locations taking care that the impact plunger does not contact coarser particles of the aggregate. The R values of the last-mentioned test evaluated with the standard calibration curve give reliable strength values, sometimes somewhat on the low side.

8. In view of the decreasing accuracy of the strength determination with decreasing quality of the concrete, special care is indicated with rebound values R of 30 and less, i.e. with probable cube compressive strengths of below 25 N/mm² (3500 psi). In critical cases reliance should not be put on the test hammer alone but at least two or three test cubes or cores should be taken from the structure or the tests be repeated with the type P test hammer (see under 1).

V. Servicing Test Hammer (Fig. 2)

The test hammer requires no special care. Only see that the impact plunger (1) is always clean to prevent ingress of dust into the interior of the housing as much as possible.

After long service (as a rule after 1000 to 2000 impacts) the hammer must be cleaned. For this purpose proceed as follows:

1. Allow plunger (1) to slide out of housing. Unscrew front cap (9) and withdraw two-part ring (10). Unscrew rear cover (11) and withdraw compression spring (12) and the moving parts of the hammer to the rear (disengage pawl [13]).
2. By a light blow of the hammer mass (14) on the plunger (1) the latter is separated from the hammer guide bar (7) and the spring (15) is released. Pull hammer mass from guide bar. Disengage impact spring (16) from hammer mass at its rear end (B); leave its front end (A) engaged in the guide sleeve (17).
3. Clean the moving parts thoroughly, in particular the guide bar (7) and the contacting surfaces between hammer mass (14) and plunger (1). Thoroughly scrape out the bore of the plunger with a wire brush.
4. To assemble the hammer, proceed in the reverse sequence. Do not forget the spring (15) and the felt washer (18). Lightly lubricate the guide bar (7) with a thin-bodied oil.
5. As a rule the rider (4) should not be disassembled nor its guide rod oiled so as not to change the initially set friction.

14

4. If there is no anvil available, every recalculation. The test hammer must at least occasionally be checked by comparing it with a new or newly-adjusted test hammer. The comparative impact tests should be carried out on an object with as hard a surface as possible. For example a black smith's anvil or a heavy block of hard homogeneous natural stone with a ground surface will be suitable for this purpose.

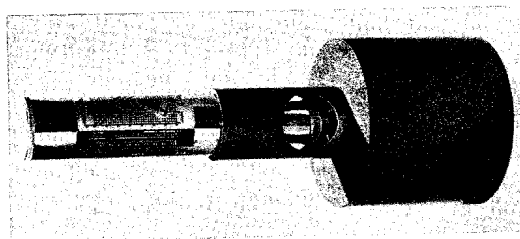


Fig. 4
Testing Anvil with Test Hammer supported upright in Guide Tube.

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายสรารัฐ สร้อยเรืองศรี
วัน เดือน ปี เกิด	8 พฤศจิกายน 2518
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	138/7 หมู่ 2 ประชาอุทิศ 28 แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยผู้จัดการโครงการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท พลัส พร็อพเพอร์ตี้ พาร์ทเนอร์ จำกัด
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2532	มัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนเทพศิรินทร์
พ.ศ.2535	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนเทพศิรินทร์
พ.ศ.2539	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมโยธา จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2548	ปริญญาโท การศึกษามหาบัณฑิต (กศ.ม.) สาขาอุตสาหกรรมศึกษา จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร