กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตที่ทดสอบด้วยวิธีต่างๆ

COMPARATIVE GRAPH OF STRENGTH CONCRETE BY METHOD OF TESTINGS.

นายชัยวัฒน์	วิเชียร	36014105
นายฤทธิรงค์	ทองสะอาด	36014362

วัน เดือน ปี -7 ตค 2541
เลขทะเบียน 03845.1
เลขเรียกหนังสือ T 30 2539 ส 431ก

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038454

COMPARATIVE GRAPH OF STRENGTH CONCRETE BY METHOD OF TESTINGS.

MR.CHAIWAT	VICHIEN	36014105
MR.RITTHIRONG	THONGSAARD	36014362

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMINT

OF THE REQUEREMENT FOR THE DEGREE

BACHELOR OF CONSTRCTION ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MINGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาคณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตที่ทดสอบด้วยวิธีต่างๆ

Comparative graph of strength concrete by method of testings.

นักศึกษา นายชัยวัฒน์ วิเชียร **ระหัสประจำตัว** 36014105

นายฤทธิรงค์ ทองสะอาด **ระหัสประจำตัว** 36014362

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ.ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์	.....
อ.สุรัตน์ หวังเจริญ	.....
อ.เกษม อมันตกุล	.....

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(นายอำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตที่ทดสอบด้วยวิธีต่างๆ	
	Comparative graph of strength concrete by method of testings.	
นักศึกษา	นายชัยวัฒน์ วิเชียร	**ระหัสประจำตัว** 36014105
	นายฤทธิรงค์ ทองสะอาด	**ระหัสประจำตัว** 36014362
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	**สาขาวิชา** วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์	

บทคัดย่อ

การทดสอบหน่วยรับแรงอัดคอนกรีต ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญยิ่งในการก่อสร้าง ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการทดสอบแบบต่างๆ ดังนี้คือ การทดสอบหน่วยแรงอัดคอนกรีตโดยใช้คลื่น Ultrasonic โดยเครื่องมือ Schmidt Hammer และ การทดสอบแบบโดยตรง การทดสอบทั้งสามแบบนั้นได้ค่าการทดสอบที่แตกต่างกันออกไป จึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีการทดสอบแต่ละแบบ และสรุปผลไว้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการค้นคว้าต่อไป

Abstract

Concrete compressive strength is one of the important part of construction. So this thesis tells about different method of concrete compressive strength testing e.g. concrete compressive strength testing by using ultrasonics wave, schmidt hammer and direct concrete compressive strength testing. These methods will give different results of testing. Then, we researched to find different values of each method and summed up the results for further study.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี สามารถฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆนาๆ ประการมาได้ มิได้เกิดจากผู้ทำโครงงานแต่เพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น เบื้องหลังความสำเร็จครั้งนี้ยังประกอบด้วยบุคคลและบริษัทอีกมากมายที่คอยให้คำแนะนำ ส่งเสริมและสนับสนุนมาโดยตลอด จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณบุคคลและบริษัทผู้มีส่วนสำคัญที่ทำให้โครงงานนี้เป็นรูปร่างขึ้นมา ดังนี้

อาจารย์ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน

คุณวิสุทธิ์ กาญจนการุณ บริษัท Pyramid Development International CO.,Ltd. สำหรับคำแนะนำต่างๆและอุปกรณ์เครื่อง Ultrasonic บางส่วนที่กรุณาให้ยืม

เจ้าหน้าที่โรงปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน สำหรับความช่วยเหลือที่มีให้ตลอด

เพื่อนๆ ชาวชมรมพุทธศาสตร์และประเพณีทุกคน ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือเรื่องสถานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	II
บทที่ 1. บทนำ	1
บทที่ 2. การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีต่างๆ	3
บทที่ 3. การทดลอง	28
บทที่ 4. ผลการทดสอบ	55
บทที่ 5. สรุปและวิเคราะห์	148
บทที่ 6. ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง	199
ภาคผนวก ก. การทดสอบโดยใช้คลื่น Ultrasonic	201
ข. การทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีต โดยเครื่องมือ Schmidt Hammer	214
ค. การทดสอบแบบทำลาย	224
ง. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Conorete Mixed Design)	229
บรรณานุกรม	250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการตารางที่ใช้ประกอบ

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ชนิดของ Schmidt Hammer	5
ตารางที่ 2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมกระแทก α กับค่าปรับ ΔR	7
ตารางที่ 1ข.	ชนิดของ Schmidt Hammer	214
ตารางที่ 2ข.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกระแทก α กับค่าปรับ ΔR	217
ตารางที่ 3ข.	แสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (kso.) กับค่า Rebound Number	222
ตารางที่ 1ง.	ค่าการยุบตัวสำหรับงานประเภทต่างๆ	232
ตารางที่ 2ง.	ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต	232
ตารางที่ 3.1ง.	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตกับอัตราส่วนของน้ำ-ซีเมนต์	234
ตารางที่ 3.2ง.	อัตราส่วนน้ำ-ซีเมนต์ที่ยอมให้สำหรับงานภายใต้สภาวะพิเศษ	235
ตารางที่ 4ง.	ปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร	235
ตารางที่ 5ง.	น้ำหนักคอนกรีตสด	236
ตารางที่ 6ง.	ส่วนผสมคอนกรีตสำหรับงานขนาดเล็ก กก.	240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการรูปภาพที่ใช้ประกอบ

		หน้า
รูปที่ 2.1	Schmidt Hammer (แบบ N)	3
รูปที่ 2.2	โครงสร้างภายในของค้อนแบบ N	4
รูปที่ 2.3	ค้อนแบบ NR	4
รูปที่ 2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับจำนวนครั้งการสะท้อน	7
รูปที่ 2.5	วิธีวัดความเร็วคลื่นเสียง	8
รูปที่ 2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความเร็วเสียง	9
รูปที่ 2.7	TYPICAL Strength-Velocity Correlation for Concrete	14
รูปที่ 2.8	Methods of propagating ultrasonic pulses	15
รูปที่ 2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสลักกับความแข็งแรงของคอร์	17
รูปที่ 2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความแข็งแรงทดสอบมาตรฐาน	17
รูปที่ 2.11	การทดสอบโดยวิธีดึงสลักแบบต่างๆ	18
รูปที่ 2.12	การทดสอบโดยวิธีการหักคอร์	20
รูปที่ 2.13	เครื่องวัดแรงดันและกำลังต้านทานแรงอัด (Break-off Test)	21
รูปที่ 2.14	อุปกรณ์ทดสอบการดึงคอร์ให้หัก	22
รูปที่ 2.15	แรงดึงให้หักของคอร์กับแรงกระบอกสูบ	22
รูปที่ 2.16	การทดสอบการบิดให้แตกหัก	23
รูปที่ 2.17	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความแข็งแรงของชิ้นวัสดุทดสอบ	23
รูปที่ 2.18	ระดับการแข็งตัว (Maturity) กับความแข็งแรงของทรงกระบอก	24
รูปที่ 2.19	รูปแสดงความสัมพันธ์ของกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตของ ISO โดยความเร็วเสียงและจำนวนครั้งการสะท้อน	27
รูปที่ 3.1	แบบหล่อคอนกรีตรูปลูกบาศก์	46
รูปที่ 3.2	การผสมคอนกรีตในโม่ผสม	46
รูปที่ 3.3	การตรวจสอบ Slump คอนกรีต	47
รูปที่ 3.4	การกระทุ้งคอนกรีต	47
รูปที่ 3.5	การบ่มคอนกรีต	48
รูปที่ 3.6	การวัดขนาดของแท่งคอนกรีต	48
รูปที่ 3.7	เครื่อง Ultrasonic ชนิด Pundit	49
รูปที่ 3.8	การ Calibrate เครื่อง Pundit	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการรูปภาพที่ใช้ประกอบ

		หน้า
รูปที่ 3.9	การใช้เครื่อง Pundit วัดเวลาที่คลื่นเดินทางผ่านคอนกรีต รูปทรงกระบอก	50
รูปที่ 3.10	การใช้เครื่อง Pundit วัดเวลาที่คลื่นเดินทางผ่านคอนกรีต รูปลูกบาศก์	50
รูปที่ 3.11	เครื่องมือทดสอบคอนกรีต Schmidt Hammer ชนิด N	51
รูปที่ 3.12	การทดสอบหาค่า Rebound Number ของคอนกรีตรูปทรงกระบอก	51
รูปที่ 3.13	การทดสอบหาค่า Rebound Number ของคอนกรีตรูปลูกบาศก์	52
รูปที่ 3.14	การเคลือบหัวคอนกรีตรูปทรงกระบอกด้วยกำมะถัน	52
รูปที่ 3.15	การทดสอบหาหน่วยแรงอัดคอนกรีตรูปทรงกระบอกด้วยเครื่อง UTM	53
รูปที่ 3.16	ลูกคอนกรีตที่ถูกอัดจนถึงจุด Ultimate	53
รูปที่ 3.17	การเคลือบหัวคอนกรีตรูปลูกบาศก์ด้วยกำมะถัน	54
รูปที่ 3.18	การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตรูปลูกบาศก์ด้วยเครื่อง UTM	54
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่น Ultrasonic กับหน่วยแรงอัดที่ทดสอบด้วย UTM ของคอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	56
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่น Ultrasonic กับหน่วยแรงอัดที่ทดสอบด้วย UTM ของคอนกรีตทรงลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	57
รูปที่ 4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างคลื่น Ultrasonic กับหน่วยแรงอัดคอนกรีต ของคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก	58
รูปที่ 4.4	รูปคอนกรีตรูปทรงกระบอก	59
รูปที่ 4.5	รูปคอนกรีตรูปลูกบาศก์ เสริมเหล็ก	59
รูปที่ 5.1	กราฟเปรียบเทียบ Strength ที่วัดจากวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่ม 7 วัน	153
รูปที่ 5.2	กราฟเปรียบเทียบ Strength ที่วัดจากวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่ม 14 วัน	154
รูปที่ 5.3	กราฟเปรียบเทียบ Strength ที่วัดจากวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่ม 28 วัน	155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการรูปภาพที่ใช้ประกอบ

หน้า

รูปที่ 5.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้แรงอัด โดยตรงเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่ม 7 วัน 156

รูปที่ 5.5 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้แรงอัด โดยตรงเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่ม 14 วัน 157

รูปที่ 5.6 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้แรงอัด โดยตรงเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่ม 28 วัน 158

รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีต รูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่ม 7 วัน 159

รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีต รูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่ม 14 วัน 160

รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีต รูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่ม 28 วัน 161

รูปที่ 5.10 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้แรงอัด โดยตรงเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่ม 7 วัน 162

รูปที่ 5.11 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้แรงอัด โดยตรงเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่ม 14 วัน 163

รูปที่ 5.12 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้แรงอัด โดยตรงเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่ม 28 วัน 164

รูปที่ 5.13 กราฟเปรียบเทียบ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีต รูปทรงลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่ม 28 วัน 165

รูปที่ 5.14 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้แรงอัด โดยตรงเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่ม 28 วัน 166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการรูปภาพที่ใช้ประกอบ

หน้า

รูปที่ 5.15 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 150 ksc. 167

รูปที่ 5.16 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 200 ksc. 168

รูปที่ 5.17 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 250 ksc. 169

รูปที่ 5.18 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 300 ksc. 170

รูปที่ 5.19 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 350 ksc. 171

รูปที่ 5.20 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 400 ksc. 172

รูปที่ 5.21 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 450 ksc. 173

รูปที่ 5.22 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 150 ksc. 174

รูปที่ 5.23 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 200 ksc. 175

รูปที่ 5.24 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 250 ksc. 176

รูปที่ 5.25 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 300 ksc. 177

รูปที่ 5.26 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 350 ksc. 178

รูปที่ 5.27 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 400 ksc. 179

รูปที่ 5.28 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 450 ksc. 180

รูปที่ 5.29 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 150 ksc. 181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการรูปภาพที่ใช้ประกอบ

หน้า

รูปที่ 5.30 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 200 ksc. 182

รูปที่ 5.31 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 250 ksc. 183

รูปที่ 5.32 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 300 ksc. 184

รูปที่ 5.33 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 350 ksc. 185

รูปที่ 5.34 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 400 ksc. 186

รูปที่ 5.35 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign 450 ksc. 187

รูปที่ 5.36 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 150 ksc. 188

รูปที่ 5.37 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 200 ksc. 189

รูปที่ 5.38 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 250 ksc. 190

รูปที่ 5.39 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 300 ksc. 191

รูปที่ 5.40 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 350 ksc. 192

รูปที่ 5.41 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 400 ksc. 193

รูปที่ 5.42 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรง mixdesign 450 ksc. 194

รูปที่ 5.43 แผนภูมิแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการทดสอบคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่ mixdesign และ อายุการบ่มต่างๆ 195

รูปที่ 5.44 แผนภูมิแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการทดสอบคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่ mixdesign และ อายุการบ่มต่างๆ 196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการรูปภาพที่ใช้ประกอบ

		หน้า
รูปที่ 5.45	แผนภูมิเปรียบเทียบความเร็วคลื่นอุลตราโซนิกที่เดินทางผ่านคอนกรีตเสริมเหล็กและไม่เสริมเหล็ก	197
รูปที่ 5.46	แผนภูมิเปรียบเทียบค่า Rebound Number ที่ทดสอบได้ ของคอนกรีตรูปทรงกระบอกและทรงลูกบาศก์	198
รูปที่ 1ก.	กราฟเปรียบเทียบความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นเสียงกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	201
รูปที่ 2ก.	การหารอยร้าวในเนื้อของโลหะด้วยคลื่น Ultrasonic มีหลักการเหมือนกับ เรดาห์ และโซน่าร์	203
รูปที่ 3ก.	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความเร็วเสียง	205
รูปที่ 4ก.	แสดงวิธีในการจัดตำแหน่งในการวัดความเร็วแบบต่างๆ	206
รูปที่ 5ก.	แสดงภาพด้านหน้าและด้านหลังของเครื่อง Pundit	210
รูปที่ 1ข.	แสดงส่วนประกอบของเครื่อง Schmidt Hammer	215
รูปที่ 2ข.	กราฟแสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (kso.) กับค่า Rebound Number	218
รูปที่ 2.1ข.	กราฟแสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (psi.) กับค่า Rebound Number	219
รูปที่ 2.2ข.	กราฟแสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (kso.) กับค่า Rebound Number	220
รูปที่ 2.3ข.	กราฟแสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (psi.) กับค่า Rebound Number	221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โดยทั่วไปในการก่อสร้าง กำลังของคอนกรีตเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อโครงสร้างเป็นอย่างมาก ถ้ากำลังของคอนกรีตไม่ตรงตามที่ออกแบบไว้จะก่อให้เกิดความเสียหายกับตัวโครงสร้างได้ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นภายหลัง จึงต้องมีการทดสอบของคอนกรีตที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง ดังนั้นการทดสอบหน่วยการรับแรงอัดของคอนกรีตจะเป็นส่วนที่บอกได้ว่าคอนกรีตนั้นสามารถรับแรงอัดได้เพียงพอกับความต้องการหรือไม่ โดยทั่วไปการทดสอบหน่วยรับแรงอัดของคอนกรีตมีหลายวิธี ดังนั้นจึงต้องมีการหาความสัมพันธ์ของการทดสอบแต่ละวิธีเทียบกับวิธีมาตรฐาน และหาความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. เพื่อศึกษาค่าความแตกต่างของวิธีการทดสอบหน่วยแรงอัดคอนกรีตด้วยวิธีต่างๆ
2. เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของผลการทดสอบหน่วยแรงอัดคอนกรีตด้วยวิธีต่างๆ คือ วิธีทดสอบโดยเครื่องมือ Schmidt Hammer และ เครื่องมือ Ultrasonic ชนิด Pundit เทียบกับวิธีทดสอบโดยให้แรงอัดโดยตรงซึ่งถือเป็นวิธีการทดสอบมาตรฐานสำหรับโครงงานนี้
3. เพื่อวิเคราะห์ว่าการทดสอบแบบใดให้ผลใกล้เคียงกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรงซึ่งเป็นวิธีการทดสอบมาตรฐาน

ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้

การทดสอบหน่วยแรงอัดคอนกรีตด้วยวิธีที่แตกต่างกัน วิธีการทดสอบและผลที่ได้จะคลาดเคลื่อนแตกต่างกันด้วย ในการใช้งานจริงจึงไม่สามารถทราบได้เลยว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบนั้นมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด ดังนั้นจึงต้องทอสอบหาความสัมพันธ์ของการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตแต่ละวิธีและวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับวิธีให้แรงอัดโดยตรงซึ่งถือเป็นวิธีมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

ทำการทดสอบวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดของคอนกรีตที่ทดสอบด้วยวิธีต่างๆ กัน

วิธีการทดสอบมีดังนี้

1. การทดสอบแบบไม่ทำลาย แบ่งเป็น
   1.1 แบบ Ultrasonic Test โดยเครื่องมือ Pundit
   1.2 แบบ Rebound Test โดยเครื่องมือ Schmidt Hammer
2. การทดสอบแบบทำลายคือ การทดสอบแบบ Compressive Strength Test โดยเครื่อง Universal Testing Machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

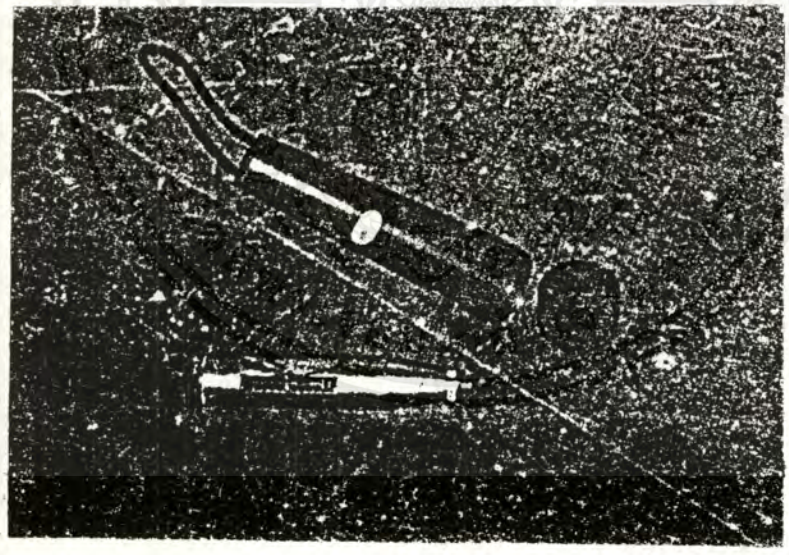
บทที่ 2

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีการต่าง ๆ

การทดสอบแบบไม่ทำให้โครงอาคารเสียหาย (Nondistructive Test)

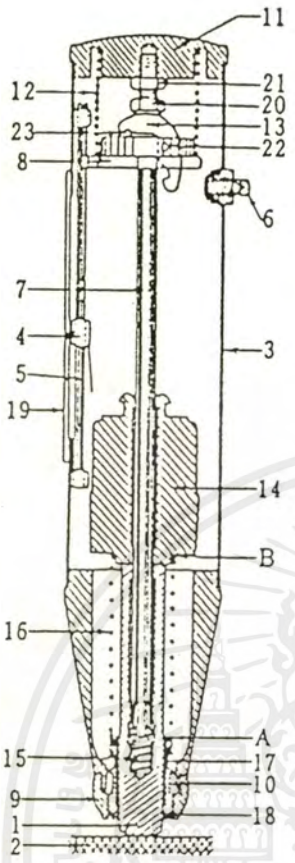
2.1 วิธีการนับจำนวนครั้งการสะท้อน (Rebound Hammer , Schmidt Hammer)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่ค่อนข้างใหม่ทันสมัย ถึงแม้จะไม่ได้ค่าที่แท้จริงของกำลังอัดของคอนกรีต แต่สามารถให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงในเกณฑ์ที่น่าพอใจ การทดสอบนี้กระทำโดยการใช้เครื่องมือซึ่งประกอบด้วยค้อนและตัวสปริง (Schmidt hammer) รับการสะท้อนของค้อนที่ยิงไปกระทบอาคารคอนกรีตที่ต้องการทดสอบ จากค่าหลาย ๆ ค่าในการทดสอบนี้ จะได้ระยะการสะท้อนกลับของลูกสูบที่ติดอยู่กับตัวค้อน ซึ่งสามารถนำระยะการสะท้อนกลับนี้ไปเปรียบเทียบเป็นค่ากำลังของคอนกรีตออกมา ค่าที่ได้นั้นจะผิดพลาดไปไม่เกิน 20% เครื่องมือนี้เป็นประโยชน์มากสำหรับใช้ตรวจสอบอาคารที่สร้างเสร็จแล้ว และการทดสอบนั้น ไม่ทำความเสียหายให้กับส่วนของอาคารที่ทดสอบแต่ประการใด



รูปที่ 2.1 Schmidt Hammer (แบบ N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อชิ้นส่วน

1. แท่งกด (Plunger)
2. ผิวคอนกรีต
3. เปลือหุ้ม
4. เข็มวัด
5. สเกล
6. ปุ่มกด
7. ตัวนำค้อน
8. จาน (Disk)
9. ฝา (Cap)
10. แหวน (Ring)
11. ฝาปิด (Cover)
12. สปริงดัน
13. ตัวยึดเฟือง
14. ค้อน
15. สปริงเล็ก
16. สปริงกระแทก
17. ปลอกนำ
18. Felt Washer
19. ตัวครอบสเกล
20. สกรูปรับ
21. นัทล้อค
22. สลัก
23. สปริงยึดเฟือง
A. รูยึดสปริงด้านปลอกนำ
B. รูยึดสปริงด้านค้อน

รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของค้อนแบบ N

รูปที่ 2.3 ค้อนแบบ NR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) หลักการ

ใช้ลูกเหล็กกลมเล็ก ๆ กระแทกผิวคอนกรีต แล้วนับจำนวนครั้งการสะท้อน (Rebound Number) ค่านี้เป็นอัตราส่วนกับโมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus) และโมดูลัสยืดหยุ่นนี้จะเป็นอัตราส่วนโดยประมาณกับกำลังต้านทานแรงอัด ดังนั้นกำลังต้านทานแรงอัดจึงสามารถคาดคะเนได้จากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการสะท้อนกับกำลังต้านทานแรงอัดที่เตรียมไว้ล่วงหน้า

2) วิธีการ

วิธีการทดสอบ กำหนดไว้ในคู่มือการวัดความแข็งแรงของคอนกรีตของสมาคมวิชาการสถาปัตย์แห่งประเทศญี่ปุ่น และคำอธิบายวิธีการวัดจำนวนครั้งการสะท้อน (Schmidt Hammer) ซึ่งมีหลายแบบด้วยกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างภายในของค้อนแบบ N

ชนิดอุปกรณ์	ประเภทของคอนกรีตที่ใช้วัด	พลังงานกระแทก (kgf.cm)	ขอบเขตการวัด (kgf/cm^2)	หมายเหตุ
แบบ N	คอนกรีตธรรมดา	0.225	150 ~ 160	แบบอ่านจำนวนครั้งการสะท้อนโดยตรง
แบบ NR	"	"	"	แบบบันทึกจำนวนครั้งการสะท้อนในตัว
แบบ L	คอนกรีตชนิดเบา	0.075	100 ~ 600	แบบจำนวนครั้งการสะท้อนโดยตรง
แบบ LR	"	"	"	บันทึกจำนวนครั้งการสะท้อนในตัว
แบบ P	คอนกรีตประเภทความแข็งแรงต่ำ	0.09	50 ~ 150	แบบลูกแกว่ง
แบบ M	แมสคอนกรีต (Mass Concrete)	3.00	600 ~ 1000	แบบอ่านจำนวนครั้งการสะท้อน

ตารางที่ 2.1 ชนิดของ Schmidt Hammer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การใช้งาน

ประมาณค่ากำลังต้านทานแรงอัดของสิ่งก่อสร้างทำด้วยคอนกรีต

4) ข้อควรระวัง

(1) จำนวนครั้งของการกระแทกต่อตำแหน่งที่วัด ค่ามาตรฐาน 20 ครั้ง

(2) วิธีการกระแทก : ใช้ระดับระนาบแนวนอนเป็นมาตรฐาน ในกรณีกระแทกแนวล่าง ปรับค่าบวก ในกรณีกระแทกแนวบน ปรับค่าลบ (ดูตารางที่ 2.1 ประกอบ.)

(3) อัตราส่วนของน้ำที่มีอยู่บนผิวคอนกรีต : แรงกระแทกของผิวคอนกรีตที่ชื้นจะลดน้อยลง 5% เมื่อเปรียบเทียบกับผิวคอนกรีตแห้ง

(4) อายุคอนกรีต : เมื่อเวลาผ่านไปนาน ความแข็งแรงเหมือนกัน แต่จำนวนครั้งการสะท้อนจะมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องปรับค่าให้ถูกต้อง (ตัวอย่างเช่น มีรายงานว่า ถ้าอายุคอนกรีตเกินกว่า 8 ปีขึ้นไป ให้ยกกำลัง 0.63 ของค่าความแข็งแรงที่ประมาณได้)

(5) ความเรียบมันของผิวกระแทก : จำนวนครั้งการสะท้อนจะลดน้อยลงเมื่อกระแทกบนผิวหยาบ

(6) ความหนาของคอนกรีต : ถ้าความหนาต่ำกว่า 10 ซม. จำนวนครั้งการสะท้อนจะลดน้อยลงเร็วมาก ถ้าความหนาเกิน 30 ซม. จะคงที่

(7) ความแข็งแรงของกำแพง เสา ตามแนวสูง : โดยทั่วไปบริเวณด้านบนจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าบริเวณตรงกลางและบริเวณล่าง และจำนวนครั้งการสะท้อนก็จะมีค่าน้อยลงเช่นกัน

(8) มุมของคอนกรีต : กระแทกห่างจากบริเวณที่เป็นมุม 3-6 ซม. ขึ้นไป

(9) การกระแทกที่เดียวกัน : ไม่ควรกระแทกซ้ำที่เดียวกัน

5) คุณสมบัติพิเศษ

จุดดี :

(1) วิธีการทดสอบทำได้ง่าย

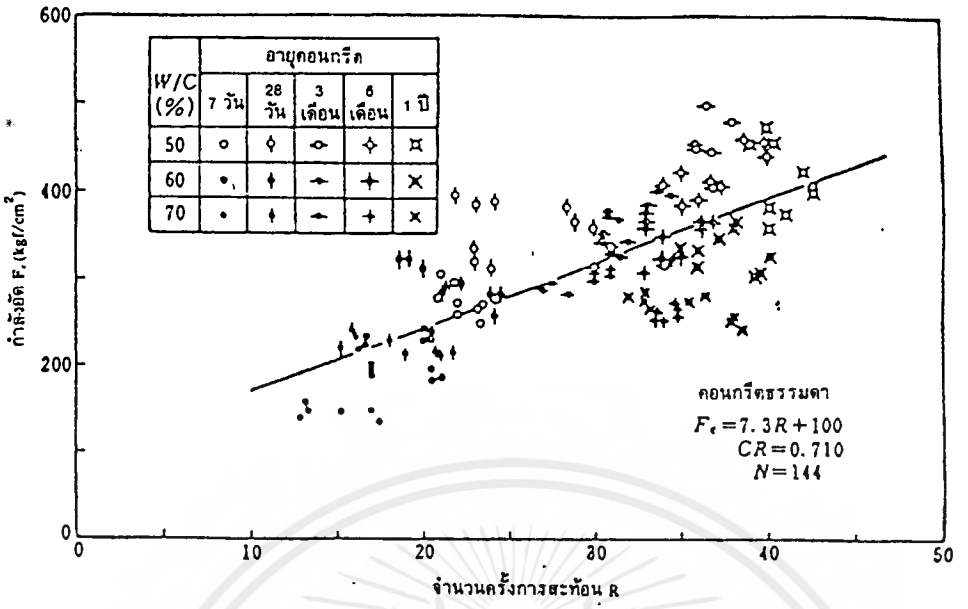
(2) เพิ่มจุดทดสอบได้ง่าย

(3) ไม่ต้องซ่อมแซมจุดที่ทดสอบ

(4) ค่าใช้จ่ายในการทดสอบน้อย

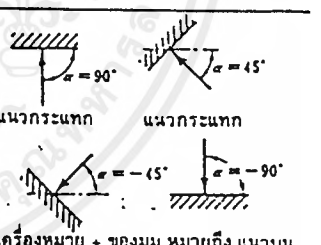
จุดเสีย : จำนวนครั้งการสะท้อนจะเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับจำนวนครั้งการสะท้อน

R_0 \ α	+ 90°	+ 45°	− 45°	− 90°	หมายเหตุ
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	+ 1.5	+ 2.2	
60	− 2.3	− 1.6	+ 1.3	+ 1.7	



เครื่องหมาย + ของมุม หมายถึง แนวบน
เครื่องหมาย - หมายถึง แนวล่าง

(ระวัง) การปรับค่าใช้สูตร

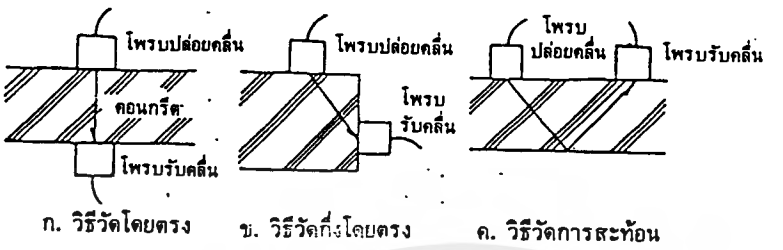
$$R = R_0 + \Delta R$$

R : ค่าปรับแสง , R_0 : ค่าที่วัดได้ , ΔR : ค่าปรับ

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมกระแทก α กับค่าปรับ ΔR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. วิธีใช้ความเร็วคลื่น Ultrasonic ที่เดินทางผ่านเนื้อคอนกรีต



รูปที่ 2.5 วิธีวัดความเร็วคลื่นเสียง

1) หลักการ

วัดความเร็วของคลื่นเสียงที่ผ่านคอนกรีต ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเสียงกับโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิก (Dynamic Elastic Modulus) สามารถเขียนเป็นฟังก์ชันได้ตามสมการ

$$E_D = \frac{V_p^{\,2} \cdot r(1+\vartheta_d) \cdot (1-\vartheta_d)}{g(1-\vartheta_d)} \qquad (2.1)$$

เมื่อ E_d : โมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิก (Dynamic Elastic Modulus)

V_p : ความเร็วเสียง (ซม. / วินาที^{2})

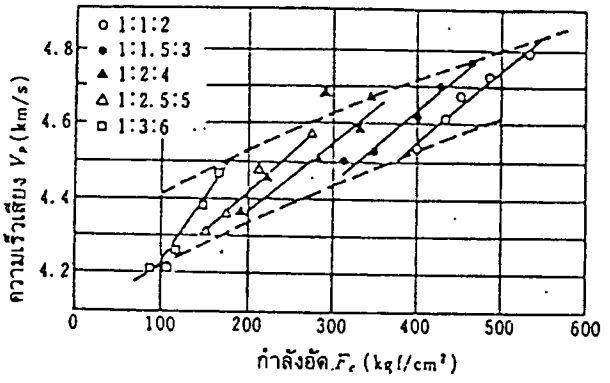
ϑ_d : อัตราส่วนปัวซองไดนามิก (Dynamic Poisson's Ratio)

p : ความหนาแน่น (กก. / ลบ. ซม.)

g : ความเร่งเกี่ยวกับแรงดึงดูดของโลก (980 ซม. / วินาที^{2})

กำลังต้านทานแรงอัดจึงสามารถประมาณได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเสียงกับกำลังต้านทานแรงอัด ซึ่งสร้างไว้ล่วงหน้า (ดูรูปที่ 2.6 ประกอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความเร็วเสียง

2) วิธีการ

ใช้ขั้ววัดหรือโพรบสัมผัสกับปลายข้างหนึ่งของคอนกรีต แล้วส่งสัญญาณเรื่องพัลส์อัลตราโซนิกผ่านเข้าไปในคอนกรีต จับเวลาในการเดินทางของเสียงและวัดระยะทางที่เครื่องพัลส์ใช้จากโพรบส่งคลื่นไปยังโพรบรับคลื่นซึ่งนำไปคำนวณหาความเร็วของเสียงได้ วิธีการที่คล้ายคลึงกันก็คือ วิธีการแบบการส่งผ่านคลื่น (Wave Motion) วิธีทำให้เกิดคลื่นปะทะด้วยการตีด้วยค้อน (วิธีวัดการส่งผ่านผิวคลื่น) แต่ก็ไม่เป็นที่นิยมใช้กัน

3) การใช้งาน

(1) ประมาณกำลังต้านทานแรงอัดของสิ่งก่อสร้างทำด้วยคอนกรีต

(2) วัดความลึกของรอยแตกร้าวในคอนกรีต รวมทั้งความหนาและมิติหรือขนาดของชิ้นวัสดุ

(3) ประมาณการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของวัสดุต่อเวลาที่เปลี่ยนไป

4) ข้อควรระวัง

(1) ชนิด ถ.พ. เนื้อหินของวัสดุโครงสร้าง : มีอิทธิพลต่อความเร็วเสียง

(2) การผสม : แม้ความเร็วเสียงจะคำนวนเท่ากันก็ตาม แต่ถ้าเป็นคอนกรีตผสมเข็มกำลังต้านทานแรงอัดจะมาก ถ้าเป็นคอนกรีตผสมอ่อน กำลังต้านทานแรงอัดจะน้อย

(3) อายุคอนกรีต : ถ้าคอนกรีตมีอายุมากกว่า 3 เดือนขึ้นไป อัตราการเพิ่มความเร็วของเสียงน้อยลง เมื่อเทียบกับความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น และถ้าความแข็งแรงไม่เพิ่มขึ้น ความเร็วเสียงก็จะลดน้อยลง

(4) อัตราส่วนของน้ำที่มี : เมื่อแห้ง ความเร็วเสียงจะลดน้อยลง เช่น อัตราส่วนของน้ำที่มีเมื่อลดลง 1% จะทำให้ความเร็วเสียงลดลง 50-90 เซนติเมตร / วินาที

(5) รอยแตกร้าว : ถ้าบริเวณระหว่างโพรบมีรอยแตกร้าว ความเร็วเสียงก็จะลดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) ผิวสัมผัสของโพรบ : ถ้าผิวสัมผัสของโพรบเป็นรอยนูนหรือรอยบุ๋ม มีฝุ่นหรือเม็ดทราย จะทำให้ความเร็วเสียงลดน้อยลง ดังนั้นจึงควรทาจาระบีบริเวณผิวสัมผัสเพื่อป้องกันการลดความเร็วเสียงเนื่องจากผิวสัมผัส

(7) เหล็กเสริม : ถ้าตำแหน่งการวัดความเร็วเสียงขนานกับเหล็กเสริมในคอนกรีต จะทำให้ความเร็วเสียงมากขึ้น

5) คุณสมบัติพิเศษ

ข้อดี :

(1) วิธีการวัด และการใช้จ่าย

(2) สามารถเพิ่มจุดตรวจวัดได้ง่าย

(3) ไม่จำเป็นต้องซ่อมแซมจุดที่ทำการตรวจวัด

ข้อเสีย :

(1) ความเร็วเสียงเปลี่ยนแปลงได้มากตามเงื่อนไขและชนิดของคอนกรีต

(2) เครื่องมือทดสอบมีราคาแพง

2.3 วิธีการแบบอุลตราโซนิกแบบเรโซแนนซ์ (Ultrasonic Resonance Method)

1) หลักการ

วางชิ้นวัสดุคอนกรีตบนแท่นสั่น ใช้อุปกรณ์ปรับความถี่ของการสั่นเพื่อหาความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิกได้ตามสมการที่ 2.2

$$E_D = C \cdot Wf^2 \qquad (2.2)$$

เมื่อ E_D : โมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิก (กก. / ซม.^{2})

C : สัมประสิทธิ์ของชนิดการสั่น ลักษณะและสัดส่วนของชิ้นวัสดุทดสอบ

W : น้ำหนักของชิ้นวัสดุทดสอบ (กก.)

f : ความถี่เรโซแนนซ์ปฐมภูมิตามชนิดการสั่น (วินาที)

การประมาณกำลังต้านทานแรงอัด สามารถหาได้จากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิกกับกำลังต้านทานแรงอัดที่สร้างไว้ล่วงหน้า

2) วิธีการ

วิธีการทดสอบกำหนดไว้ใน JIS A 1127 (วิธีการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิก (Dynamic Shearing Elastic Modulus) โมดูลัสแรงเฉือนยืดหยุ่นไดนามิก และอัตราส่วนปัวซองไดนามิก (Dynamic Poisson 's Ratio) ของคอนกรีตด้วยความถี่เรโซแนนซ์) อุปกรณ์การทดสอบ ประกอบด้วยวงจรส่งความถี่ (Oscillator) มาตรฐาน แท่นสั่น และวงจรตรวจ (Pick Up) ความถี่เรโซแนนซ์ของชิ้นวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การใช้งาน

(1) ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิกต่ออายุคอนกรีตที่มีลักษณะรูปร่างคงที่

(2) ใช้ประมาณค่าความเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากการแข็งและหลอมตัว

4) ข้อควรระวัง

หัวข้อที่ควรระวังเช่นเดียวกับวิธีการใช้ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity)

5) คุณสมบัติพิเศษ

ข้อดี :

(1) ผลการทดสอบมีค่าที่กระจัดกระจาย (Dispersion) น้อย

(2) สามารถวัดผลออกมาในรูปของโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิกของชิ้นวัสดุทดสอบเดียวกันแสดงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและความแข็งแรงต่อเวลาที่ผ่านไป

ข้อเสีย :

ไม่สามารถใช้วัสดุคอนกรีตของสิ่งก่อสร้าง

วิธีการทดสอบโดยการใช้เครื่องมือ PUNDIT

เครื่องมือที่มีใช้งานในปัจจุบันเป็นเครื่องมือชื่อ PUNDIT (make 4) (PUNDIT ; Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Testor) ผลิตโดยบริษัท C.N.S. Electronics Ltd , ประเทศอังกฤษ มีวิธีการทำงานโดยมีหัว Transducers 2 หัว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 50 ม.ม. สูงประมาณ 35 ม.ม. มีสายรับ-ส่งสัญญาณต่อจากหัวมายังเครื่องหัวละ 1 เส้น ยาวเส้นละ 4 ม. ทั้งสองหัวนี้สามารถใช้สลับกันได้โดยใช้ได้ทั้งเป็นหัวส่งและหัวรับคลื่นเสียง เมื่อเริ่มทำงานหัวส่งคลื่นเสียงความถี่ 54 กิโลเฮิรตซ์ ผ่านโครงสร้างคอนกรีตที่ถูกทดสอบที่เราทราบขนาดและระยะห่างระหว่างหัวส่งและหัวรับคลื่นเสียงไว้ล่วงหน้าแล้ว คลื่นเสียงดังกล่าวจะใช้เวลาเดินทางผ่าน ค.ส.ล. และเมื่อคลื่นแรกเดินทางไปถึงหัวรับตัวเครื่องมือจะแสดงเวลาเดินทางออกมาด้วยตัวเลขละเอียดถึง 3 ตำแหน่ง ตั้งแต่ 0.1 ถึง 999 วินาที X 10^{-6} โดยมีหน่วยเล็กที่สุดอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 วินาที X 10^{-6} (Microseconds หรือ μS) และเมื่อทราบเวลาตลอดจนระยะทางแล้ว เราก็สามารถคำนวณหาความเร็วของคลื่นเสียงที่เดินทางผ่านโครงสร้างดังกล่าวออกมาได้ว่าเป็นกี่พันเมตรต่อวินาที ตามปรกติความเร็วคลื่นเสียงประมาณ 4300 - 4400 ม. / วินาที จะแสดงว่าคอนกรีตนั้นมีความแข็งแรง (Strength) ประมาณ 280 - 300 กก. / ซม.^{2} และความเร็วเสียงประมาณ 3800 ม. / วินาที หรือต่ำกว่า แสดงว่าคอนกรีตนั้นมีความแข็งแรงต่ำมาก โดยมากอยู่ในช่วง 100 - 150 กก. / ซม.^{2} กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของคลื่นเสียงกับ Strength ของคอนกรีตได้แสดงไว้ในซึ่งผู้เขียนขอเน้นว่าเป็นกราฟที่ใช้เป็นเครื่องแสดงอย่างกรณีทั่วไปเท่านั้น ถ้าจะให้ได้ผลที่เชื่อได้มากกว่าแล้วควรทดสอบแท่งทดลองในห้องปฏิบัติการภายใต้สภาวะแวดล้อมและปัจจัยใกล้เคียงกับสถานที่ก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการวัดความเร็วของคลื่นเสียงและทดสอบหาค่า Strength แล้วพล๊อตเป็นกราฟไว้ใช้งานในกรณีนั้น ๆ (รูปที่ 2.7) มีวิธีการที่จะวางหัว Transducers กับตัวโครงสร้างที่จะทดสอบได้ 3 วิธีด้วยกัน ได้แก่ วิธีตรง (Direct Method) วิธีกึ่งตรง (Semi-direct Method) และวิธีไม่ตรง (Indirect Method) และรูปแสดงวิธีการดังกล่าวแสดงไว้แล้วในรูปที่ 2.8

วิธี Direct จะเป็นวิธีที่ดีที่สุดถ้าทำได้เพราะคลื่นเสียงจะเดินทางทะลุผ่านตัวโครงสร้างที่ถูกทดสอบโดยตลอด ถ้ามีโพรง รอยร้าว ฯลฯ โดยวิธีนี้ความผิดปรกติในเนื้อคอนกรีตใด ๆ จะถูกแสดงโดยเด่นชัด โดยที่คลื่นเสียงจะใช้เวลาเดินทางนานกว่าส่วนอื่น ๆ (ที่ดี) ส่วนวิธี Indirect นั้นเมื่อใช้ทำการวัดแบบ Direct ไม่ได้ และมักจะเป็นวิธีเดียวที่ใช้ทดสอบแผ่นพื้น ค.ส.ล. ชนิดที่หล่อบนดิน เช่น งานถนน ค.ส.ล. ห้องใต้ดิน อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียตรงที่เราไม่ทราบว่าคลื่นเสียงเดินทางผ่านเนื้อคอนกรีตลงไปลึกแค่ไหน ก่อนที่จะเดินทางมาถึงหัวรับ และพลังงานของคลื่นเสียงจะลดน้อยลงมากทำให้การวัดเป็นไปค่อนข้างลำบากเมื่อเทียบกับวิธี Direct แต่ถ้าผู้ทดสอบใช้ความระมัดระวังและใช้พิจารณญาณประกอบสามัญสำนึก วิธี Indirect นี้ได้ถูกใช้อย่างได้ผลดีมาแล้ว

การใช้เครื่อง PUNDIT ในการทดสอบคอนกรีต

เครื่อง PUNDIT นี้สามารถนำไปใช้ทดสอบหาข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(ก) หาความสม่ำเสมอของเนื้อคอนกรีตที่หล่อและแข็งตัวแล้วว่ามีส่วนใดเนื้อแน่นหรือแข็งแรง ส่วนใดเนื้อไม่แน่น เป็นโพรงหรือมีรอยร้าว หรือมีวัตถุแปลกปลอมแทรกตัวเข้าไปในเนื้อคอนกรีต เช่น ฟางข้าว กิ่งไม้ เป็นต้น

(ข) หารอยแตกร้าว รอยร้าวหรือรอยต่อในระหว่างการหล่อตลอดจนจำแนกบริเวณของโครงสร้างที่หล่อด้วยคอนกรีตที่มีความแข็งแรงต่างกัน เช่น ส่วนใดที่หล่อในขณะฝนตก เป็นต้น

(ค) หาความแตกต่างในคุณภาพของคอนกรีตที่เป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากคอนกรีตมีอายุมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของ Cement hydration ในระยะ 1- 28 วัน หรือเนื่องจากโครงสร้างโดนไฟไหม้ โดนสารเคมีกัดทำลาย เป็นต้น

(ง) ทดสอบหาคุณภาพของคอนกรีตในด้านต่าง ๆ ที่เป็นตัวแปรร่วมกับความแข็งแรงของคอนกรีต

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อผลของการทดสอบ

ความเร็วของคลื่นเสียงในคอนกรีตอาจถูกรบกวนหรือทำให้แปรปรวนไปได้บ้างจากปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ก) ระยะห่างสั้นสุ ดของการวัด (Path length)

ข) ระยะแคบสุดของแท่นตัวอย่างคอนกรีตที่จะใช้ PUNDIT ทดสอบ

ค) ตำแหน่งและจำนวนของเหล็กเสริมคอนกรีตในโครงสร้าง

ง) เปอร์เซ็นต์ความชื้นในคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่างสั้นสุดของการวัดไม่ควรน้อยกว่า 100 มม. เมื่อมวลรวมหยาบมีขนาดโตสุดไม่เกิน 20 มม. และไม่ควรน้อยกว่า 150 มม. เมื่อมวลรวมหยาบมีขนาดโตสุดไม่เกิน 40 มม. ทั้งนี้เพื่อลดอิทธิพลของมวลรวมหยาบ

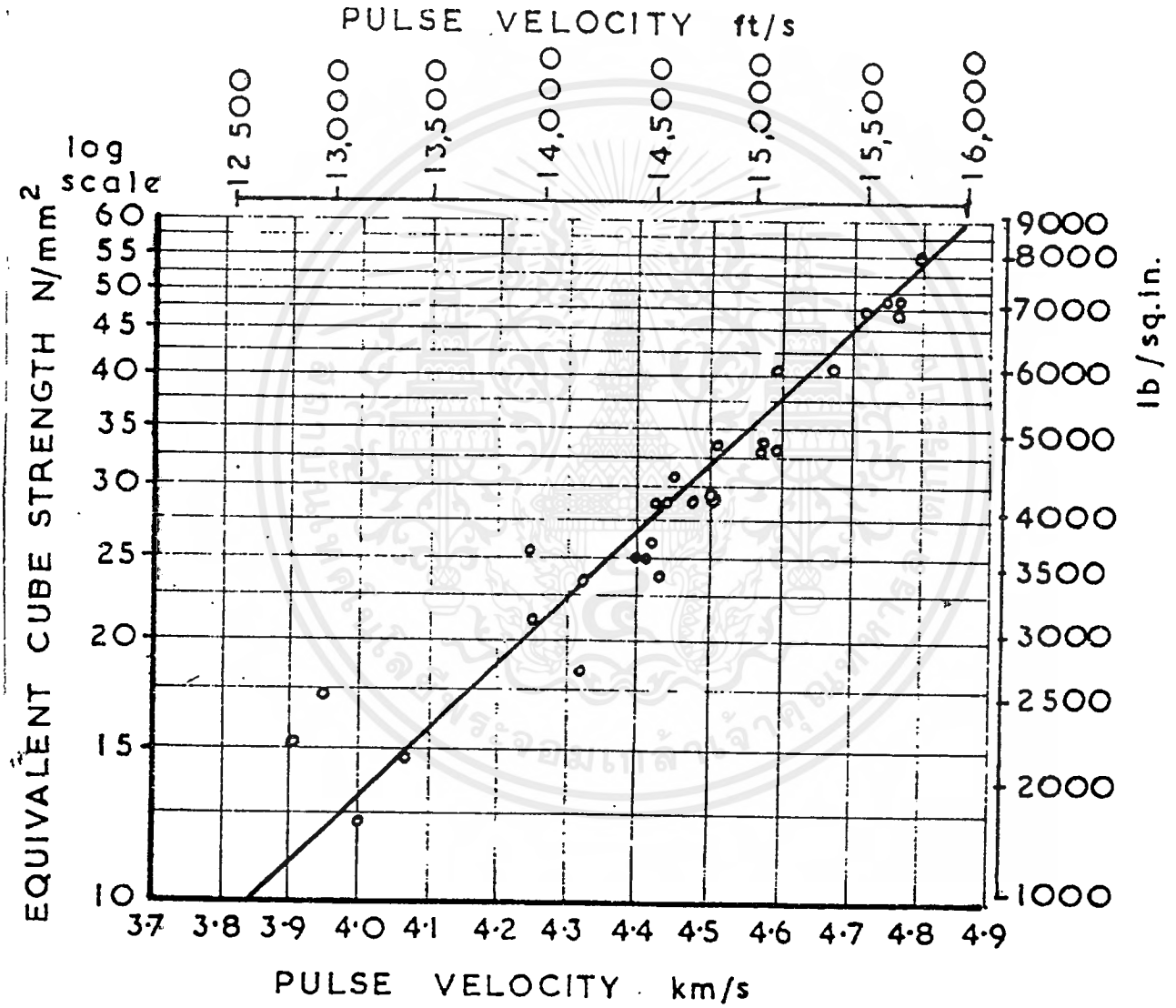
ความเร็วของคลื่นเสียงจะไม่แปรไปตามรูปร่างของแท่งตัวอย่างคอนกรีตแต่ทั้งนี้ผิวของแท่งตัวอย่างต้องเรียบและเหมาะต่อการวางหัววัด (Transducer) ในการทดสอบ และระยะสั้นสุดของแท่งทดสอบในทิศตั้งฉากกับการวัด (Pulse path) ต้องไม่น้อยกว่าความยาวของคลื่น (Wavelength) ของคลื่นเสียงในกรณีของหัว Transducers ที่ใช้ในงานทดสอบคอนกรีตซึ่งมีความถี่ในช่วง 50-54 kHz. ระยะที่ว่านี้ไม่ควรน้อยกว่า 80 มม. มิฉะนั้นแล้วความเร็วของคลื่นเสียงที่วัดได้อาจน้อยลงและข้อมูลที่ได้ จากการทดสอบอาจไม่แม่นยำแน่นอนเท่าที่ควร

ตามปกติความเร็วของคลื่นเสียงที่วิ่งผ่านแท่งเหล็กเสริมคอนกรีตย่อมสูงกว่าที่วิ่งผ่านคอนกรีต ดังนั้นการวัดหา Pulse Velocity ในโครงสร้าง ค.ส.ล. ที่มีเหล็กเสริมหนาแน่นจึงอาจมีค่าสูงกว่าที่วัดจากโครงสร้างที่หล่อด้วยคอนกรีตล้วน ดังนั้นในการแปรผลที่อ่านได้จึงควรต้องคำนึงถึงปัจจัยอันนี้ด้วย โดยทั่วไปเหล็กเสริมที่วิ่งผ่านตั้งฉากกับทิศทางของการวิ่งของคลื่นจะมีอิทธิพลต่อผลของการวัดน้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าจำนวนของเหล็กเสริมในทิศทางดังกล่าวมีอยู่น้อย เมื่อเทียบกับระยะห่างของการวัด (Path length) และในคู่มือการใช้เครื่อง PUNDIT จะมี Correction factor เผื่อไว้ให้ในกรณีที่ต้องการ อย่างไรก็ตามผู้เขียนขอแนะนำว่าในการเลือกตำแหน่งที่จะวัด Pulse Velocity ผู้ทำการทดสอบควรหลีกเลี่ยงตำแหน่งของการวางหัว Transducers ที่อาจจะขนานไปกับตำแหน่งของหน้าตัดของเหล็กเสริมของโครงสร้างเท่าที่จะทำได้ การตีเส้นกริดที่สมมาตรกับจุดกึ่งกลางของโครงสร้างก็เป็นการช่วยเฉลี่ยอิทธิพลของเหล็กเสริมได้

เปอร์เซ็นต์ของความชื้นในโครงสร้างก็มีอิทธิพลต่อความเร็วของคลื่นเสียงอยู่บ้าง โดยทั่วไปคลื่นเสียงจะวิ่งผ่านคอนกรีตที่มีความชื้นสูง (Saturated) ด้วยความเร็วมากกว่าวิ่งผ่านคอนกรีตที่แห้ง (Dry) ประมาณ 2% โดยที่คอนกรีตดังกล่าวมีส่วนผสมและคุณภาพอย่างเดียวกัน ความเร็วที่เพิ่มขึ้นนี้จะมากขึ้นในกรณีของคอนกรีตที่มีความแข็งแรงต่ำ ๆ และลดน้อยลงในกรณีของคอนกรีตที่มีความแข็งแรงสูง ๆ ดังนั้นผู้ทำการทดสอบจึงควรรักษาปัจจัยด้านนี้ให้คงที่ในการทดสอบเท่าที่จะทำได้ และถ้าเป็นไปได้ควรทำการทดสอบในสภาพที่ชื้นมากกว่าแห้ง เพราะอย่างน้อยก็เป็นการช่วยให้ผู้ทำการก่อสร้างเอาใจใส่ต่อการบ่มคอนกรีตเพิ่มขึ้น

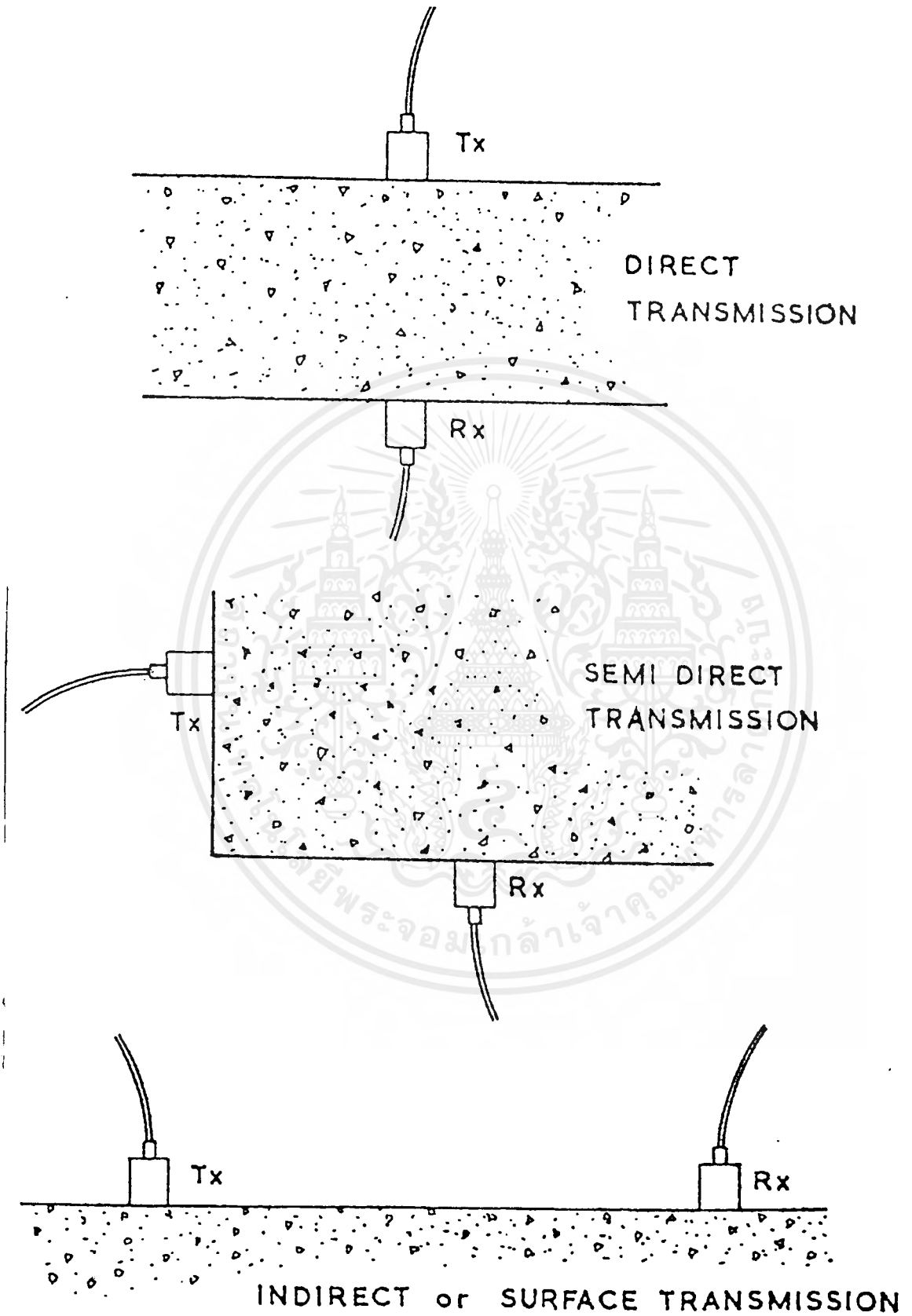
อุณหภูมิของคอนกรีตระหว่าง 5 ถึง 30 เซลเซียสจะไม่มีผลต่อ Pulse Velocity การให้ร่มเงาที่ตำแหน่งของการทดสอบและการปรับเครื่องทดสอบด้วย Standard Bar ที่มากับเครื่องอยู่บ่อย ๆ จะช่วยขจัดปัญหาของการใช้เครื่อง PUNDIT ในวันที่ร้อนจัดของบ้านเราได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 TYPICAL Strength-Velocity Correlation for Concrete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 Methods of propagating ultrasonic pulses

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแบบวัดความต้านทานการทะลุทะลวง (Penetration Resistance Method)

1) หลักการ

ทุบสลักทำด้วยเหล็กพิเศษเข้าไปในเนื้อคอนกรีต ใช้ผงระเบิดช่วย แล้ววัดความลึกของสลักที่ฝังเข้าไปในคอนกรีต (โดยปกติจะวัดความยาวสลักส่วนที่ไม่ถูกฝังกับกำลังต้านทานแรงอัดที่สร้างไว้ ลงหน้า า

2) วิธีการ

วิธีการทดสอบกำหนดไว้ใน ASTMC 803 มาตรฐานวิธีการทดสอบความต้านทานการทะลุทะลวงของคอนกรีตแข็ง (Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete) ปรกติใช้วิธีการทดสอบแบบวินเซอร์ (Winzer) อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยสลักทุบ ปืนยิงผงระเบิด อุปกรณ์วัดความยาวของสลักส่วนที่ฝัง เป็นต้น

3) การใช้งาน

ตรวจสอบความสัมพันธ์ของความแข็งแรงสัมพัทธ์ของสิ่งก่อสร้างคอนกรีต และประมาณความแข็งแรงของอายุคอนกรีตที่หล่อจากแบบในช่วงเริ่มต้น

4) ข้อควรระวัง

(1) ชนิด เนื้อหิน สัดส่วนของวัสดุโครง : มีอิทธิพลต่อความลึกทะลุทะลวง

(2) การผสม : ถ้าปริมาณสัมบูรณ์ของวัสดุโครงที่หยาบมีมาก ความลึกทะลุทะลวงจะน้อยลงมาก

5) คุณสมบัติพิเศษ

ข้อดี : เพิ่มจำนวนชุดการทดสอบได้ง่าย

ข้อเสีย :

(1) เนื่องจากใช้ผงระเบิดช่วย ควรระวังการใช้ปืนยิง

(2) ผู้ทำการทดสอบต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญ

(3) การประมาณค่าความแข็งแรงของคอนกรีตที่มีอายุยาวนานแล้วทำได้ยาก

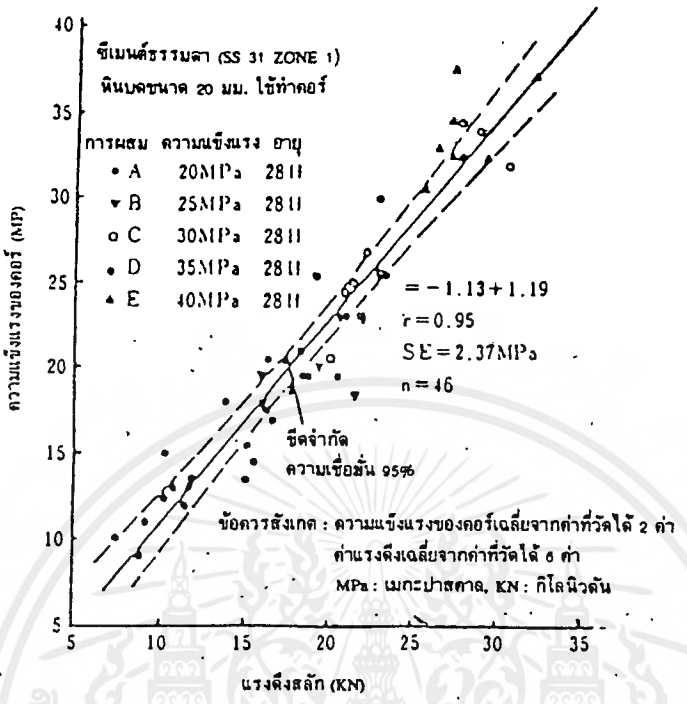
(4) สลักที่ทุบเข้าไปแล้วจะต้องตัดโดยใช้ก๊าซและดึงออก และต้องซ่อมแซมบริเวณชำรุด

วิธีการทดสอบโดยการดึงสลัก (Pullout Test)

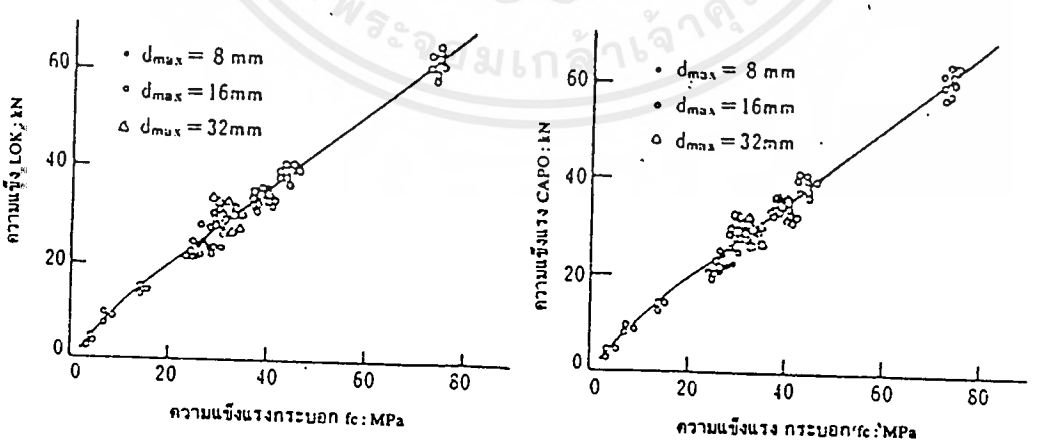
1) หลักการ

วัดแรงดึงสลักทำด้วยเหล็กพิเศษที่ฝังในคอนกรีต แรงดึงนี้มีความสัมพันธ์กับกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear Strength) กำลังต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และกำลังต้านทานแรงอัด (Compressive Strength) จากรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับกำลังต้านทานแรงอัดที่ได้สร้างไว้ล่วงหน้า ก็สามารถประมาณหากำลังต้านทานแรงอัดได้โดยง่าย ดังรูปที่ 2.9 และ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสลักกับความแข็งแรงของคอร์



(ก) การทดสอบ LOK

(ข) การทดสอบ CAPO

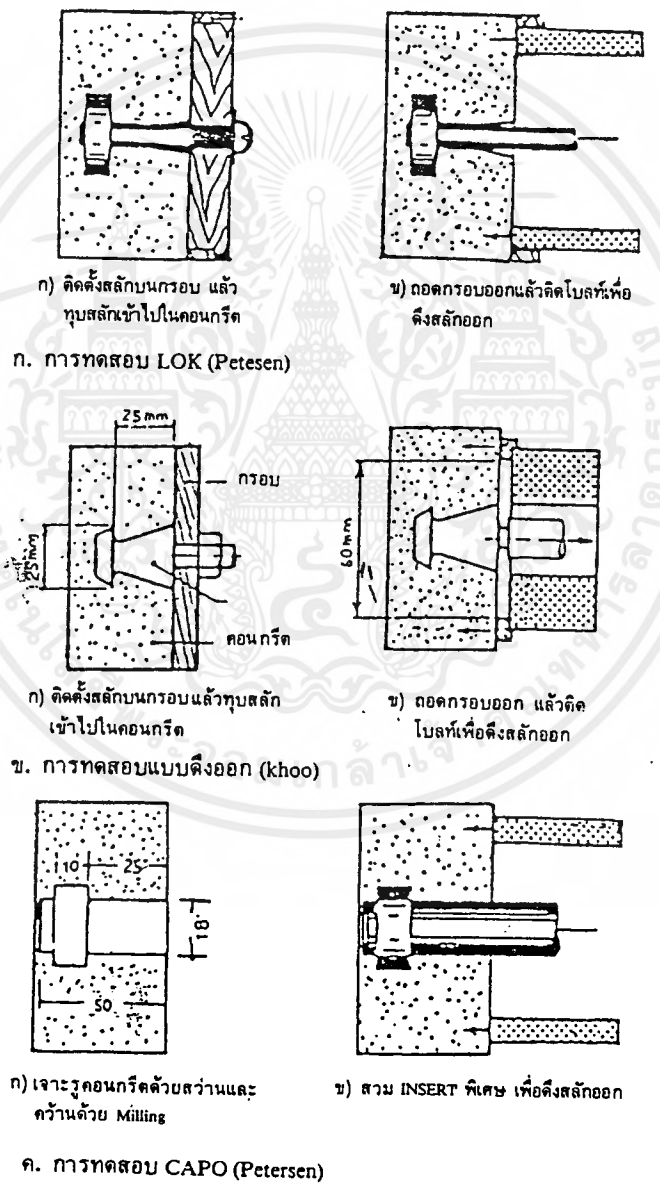
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความแข็งแรงทดสอบมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วิธีการ

วิธีการทดสอบกำหนดไว้ใน ASTMC 900 มาตรฐานวิธีการทดสอบกำลังในการดึงสลักในคอนกรีตแข็ง (Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete)

(i) ในกรณีที่ติดตั้งสลักทำด้วยเหล็กพิเศษไว้ในกรอบคอนกรีต : เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ใช้แม่แรงดึงและวัดแรง (ดูรูป 2.11 (i) , (ii) ประกอบ)



รูปที่ 2.11 การทดสอบโดยวิธีดึงสลักแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ii) ในกรณีที่ไม่ได้ฝังสลักไว้ก่อน : มีวิธีการ [illegible] ดังนี้

(1) การทดสอบคาโป (CAPO - Test) : เจาะรูด้วยสว่าน แล้วคว้านปลายรูด้วยเครื่องกด (Milling) ทำให้ได้เส้นผ่าศูนย์กลางของรูที่แน่นอน จากนั้นสวม CAPO INSERT จากด้านนอกและสอดสลักซึ่งมีแหวนขยายตัวติดอยู่ จากนั้นจึงดึงสลักและหาแรงดึงที่ใช้ในสลัก (ดูรูปที่ 2.11 (iii) ประกอบ)

(2) วิธีทำให้สลักติดอยู่กับที่ด้วยอีพอกซี เรซิน

(3) วิธีทำให้สลักติดอยู่กับที่ด้วยลิ่มผ่า (Split Wedge)

3) การใช้งาน

ใช้ประมาณความแข็งแรงของคอนกรีตที่มีอายุน้อยของสิ่งก่อสร้างคอนกรีต โดยเฉพาะคอนกรีตหล่อจากแบบ

4) ข้อควรระวัง

(1) ลักษณะและสัดส่วนของสลัก มีผลต่อแรงดึงออก

(2) เหมาะสำหรับคอนกรีตที่มีอายุน้อย

5) คุณสมบัติพิเศษ

ข้อดี : สามารถกำหนดจุดทดสอบได้อย่างมีแบบแผน

ข้อเสีย :

(1) ต้องติดตั้งสลักบนกรอบก่อนเสมอ (CAPO Test จะขจัดปัญหาเรื่องนี้ไปได้)

(2) ต้องซ่อมแซมบริเวณดึงสลัก

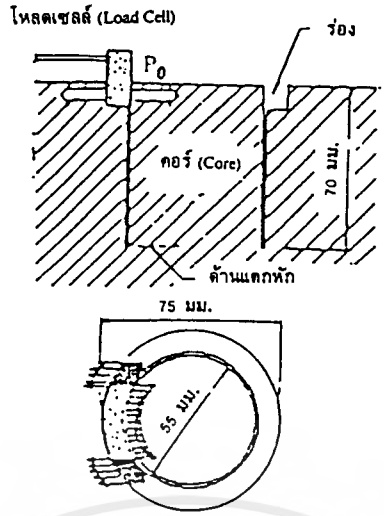
(3) ลักษณะสัดส่วนของสลักไม่มีมาตรฐานแน่นอน

การทดสอบโดยวิธีการหักคอร์ (Break-off Test)

1) หลักการ

จากผิวของคอนกรีต ทำเป็นร่องลึกรอบ ๆ พอสมควร เกิดเป็นคอร์ขึ้น ใช้แรงในแนวระนาบดันคอร์ให้หักตามผิวของคอร์ แรงนี้จะสามารถนำไปคำนวณหาความเค้นในการหักงอสูงสุด ส่วนการประมาณกำลังต้านทานแรงอัด สามารถหาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงหักงอกับกำลังต้านทานแรงอัดที่สร้างไว้ล่วงหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ
038454



รูปที่ 2.12

2) วิธีการ

ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.12 ฝังแบบรูปกระบอกลมทำด้วยพลาสติก คอนกรีตประเภทใช้ฉาบหรือเทพื้นเพื่อทำให้เกิดเส้นผ่าศูนย์กลาง 55 มม. ความยาว 70 มม. เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงแกะแบบออกมา จากนั้นใช้แรงกระทำบนผิวคอร์ด้วยอุปกรณ์ไฮดรอลิก เพื่อทำให้คอร์หัก แรงหักงอสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.3 ดังนี้

$$f_b = \frac{M}{Z} = \frac{P_o \times h}{\frac{\pi d^3}{32}} = \frac{P_o \times 7}{\frac{\pi (55)^3}{32}} \qquad (2.3)$$

ในที่นี้ f_b = แรงที่ใช้ในการหักงอ

P_o = แรงกระทำต่อคอร์ที่วัดได้จากโหลดเซล

3) การใช้งาน

(1) เสา หรือกำแพงไม่สามารถฝังแบบไว้ล่วงหน้าได้ ดังนั้นหลังจากที่แข็งตัวจึงทดสอบด้วยวิธีขุดคอร์

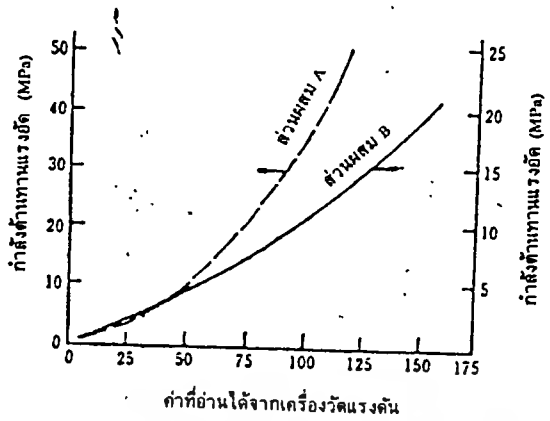
(2) ใช้ประมาณค่ากำลังต้านทานแรงอัดของสิ่งก่อสร้างคอนกรีต ตัดสินระยะเวลาของการถอดแบบ และควบคุมดูแลการบ่มคอนกรีตในระยะแรก

4) ข้อควรระวัง

(1) ชิ้นวัสดุทดสอบ : เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของชิ้นวัสดุทดสอบน้อย ถ้าเม็ดขนาดของวัสดุโครงสร้างใหญ่จะทำให้ได้ค่าที่มีการกระจัดกระจายง่าย

(2) คอนกรีตที่มีความแข็งแรงมากค่าผิดพลาดจะมากขึ้น (ดูรูปที่ 2.13 ประกอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 เครื่องวัดแรงดันและกำลังต้านทานแรงอัด (Break-off Test)

5) คุณสมบัติพิเศษ

ข้อดี :

(1) เนื่องจากเป็นของทดสอบความแข็งแรงภายในคอนกรีต ดังนั้นจึงไม่มีอิทธิพลของความชื้นแห้งบริเวณผิว

(2) สามารถเพิ่มจุดทดสอบได้อย่างมีแบบแผน

ข้อเสีย : หลังจากการทดสอบแล้วต้องดึงคอร์ออกและซ่อมแต่งด้วยปูน

การทดสอบโดยใช้วิธีดึงคอร์ให้หัก (Pull-off Test)

1) หลักการ

สร้างคอร์ให้ลึกพอสมควรบนคอนกรีต ให้แรงดึงขึ้นจากจุดแกนของคอร์ตามแนวแกนคอร์จนกระทั่งคอร์หัก หากำลังต้านทานแรงดึง โดยหารแรงดึงด้วยพื้นที่หน้าตัด จากกราฟความสัมพันธ์ของกำลังต้านทานแรงดึงของคอร์กับกำลังต้านทานแรงอัดที่สร้างไว้ล่วงหน้า ก็จะสามารถหากำลังต้านทานแรงอัดได้

2) วิธีการ

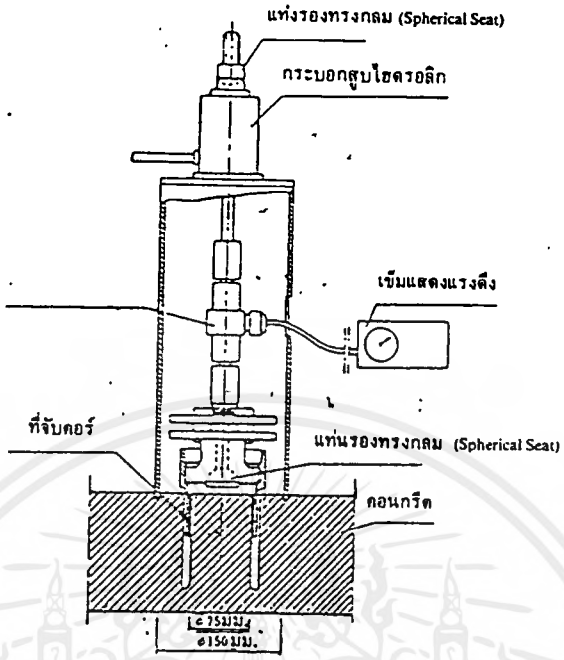
การสร้างคอร์ก็ทำวิธีเดียวกับหัวข้อที่แล้ว ส่วนวิธีการดึงคอร์นั้นกระทำได้โดยใช้อุปกรณ์ที่มีแหวนดึงพิเศษ หรือสามารถดึงด้วยวิธีการใช้อีพอกซี เรซิน เป็นการยึดให้คอร์และแผ่นเหล็กกลมติดกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.14

3) การใช้งาน เช่นเดียวกับหัวข้อการทดสอบโดยวิธีการหักคอร์

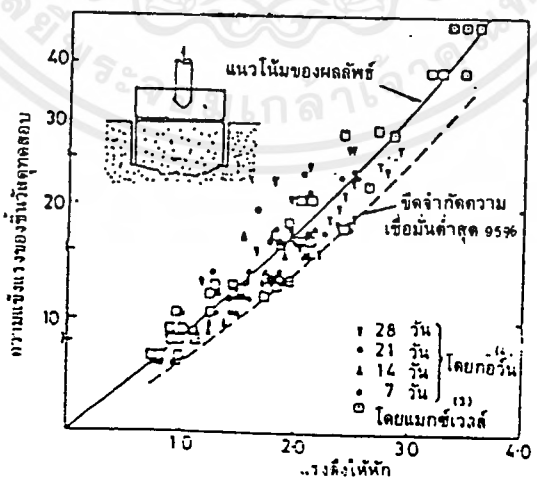
4) ข้อควรระวัง เช่นเดียวกับหัวข้อการทดสอบโดยวิธีหักคอร์

5) คุณสมบัติพิเศษ เช่นเดียวกับหัวข้อการทดสอบโดยวิธีการหักคอร์ บริเวณที่แตกหักของคอนกรีตอาจจะใช้แรงยึดคอนกรีตกับปูนเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 อุปกรณ์ทดสอบการดึงคอร์ให้หัก



รูปที่ 2.15 แรงดึงให้หักของคอร์กับแรงกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

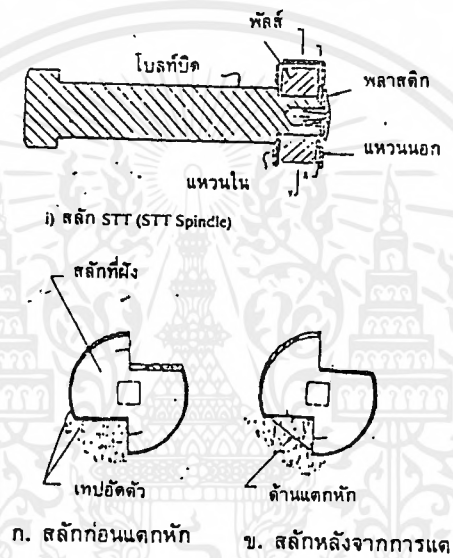
การทดสอบโดยวิธีใช้แรงบิด (Stool Torque Test : STT)

1) หลักการ

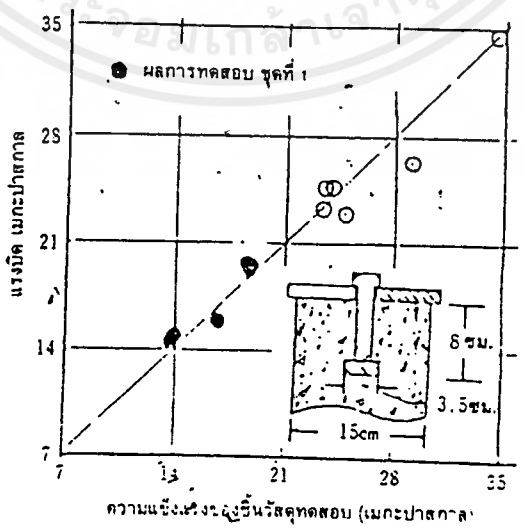
ใช้สลักพิเศษฝังเข้าไปในคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงใช้แรงจากภายนอกบิดสลัก แล้วหาแรงบิดดังกล่าว จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกำลังต้านทานแรงอัดที่สร้างไว้ล่วงหน้า จึงสามารถประมาณหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดได้

2) วิธีการ

ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.15 ฝังสลัก (Spindel) ไว้ในคอนกรีต ใช้มือหมุนที่จับจากภายนอกบิดให้สลักหักแล้วจึงหาค่าแรงบิด รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างการทดสอบ



รูปที่ 2.16 การทดสอบการบิดให้แตกหัก



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความแข็งแรงของชิ้นวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การใช้งาน

ประมาณความแข็งแรงของคอนกรีตสิ่งก่อสร้าง

4) ข้อควรระวัง

เนื่องจากขณะนี้มีเอกสารทางวิชาการเกี่ยวกับเรื่องนี้น้อย ข้อควรระวังเป็นพิเศษจึงไม่แน่ชัด

5) คุณสมบัติพิเศษ

(1) ทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตภายใน

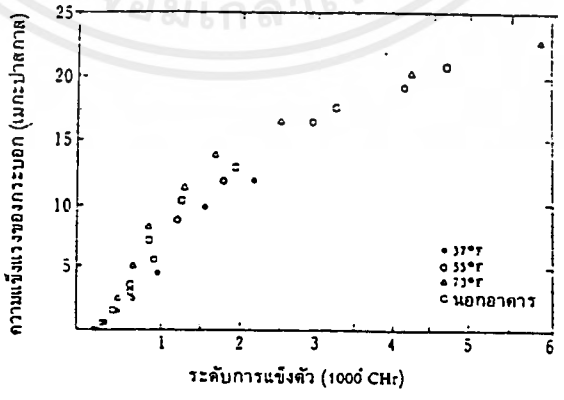
(2) การแตกหักเกิดขึ้นภายใน

(3) เมื่อดึงโบลท์บิดออกมาแล้ว ต้องซ่อมแซมที่ทดสอบ

การประมาณความแข็งแรงจากระดับที่แข็งตัว (Strength Estimation by Maturity)

1) หลักการ

ความแข็งแรงของคอนกรีตซึ่งทำด้วยส่วนผสมของน้ำกับซีเมนต์ที่ถูกต้อง จะสามารถหาได้เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิการแข็งตัวกับเวลา หลังจากที่เทคอนกรีตวัดอุณหภูมิของคอนกรีตและเวลาที่ผ่านไปแล้วคำนวณหาระดับการแข็งตัวก็จะสามารถประมาณความแข็งแรงของคอนกรีตได้ ดูรูปที่ 2.18 ได้



รูปที่ 2.18 ระดับการแข็งตัว (Maturity) กับความแข็งแรงของทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วิธีการ

ฝังเทอร์โมคัพเปิ้ล (Thermo Couple) ไว้ตามจุดต่าง ๆ ของคอนกรีตสิ่งก่อสร้าง บันทึกอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป การหาระดับการแข็งตัวด้วยวิธีนี้ก็มีการพัฒนาถึงระดับใช้คำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือเครื่องวัดแบบง่าย ๆ อย่างเช่นปรอทเพื่อคำนวณหาระดับการแข็งตัว

ระดับการแข็งตัวสามารถคำนวณได้จาก สมการ 2.4 - 2.6

(i) แบบง่ายที่สุด (เหมาะสำหรับหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตประเภทแข็งตัวแล้วให้ไอร้อน)

$$M = \sum_{0}^{T} t\ t\ \Delta T = {}^{0}\overline{t}\ .\ T \qquad (2.4)$$

เมื่อ M : ระดับการแข็งตัว (^{0}C ชั่วโมง)

$^{0}\overline{t}$: อุณหภูมิแข็งตัว (^{0}C)

$^{0}\overline{t}$: อุณหภูมิแข็งตัวโดยเฉลี่ย (^{0}C)

T : เวลาที่ใช้ในการแข็งตัว (ชั่วโมง)

(ii) แบบ ^{0}DD (เหมาะสำหรับหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตในช่วงฤดูหนาว)

$$M = \sum_{0}^{D} {}^{0}D\ .\ \Delta D = {}^{0}(\overline{t} + 10)\ .\ T \qquad (2.5)$$

เมื่อ M : ระดับการแข็งตัว (^{0}C ชั่วโมง)

$^{0}\overline{t}$: อุณหภูมิแข็งตัวโดยเฉลี่ย (^{0}C)

D : จำนวนวันที่ใช้ในการแข็งตัว (วัน)

(iii) แบบ T0T (เหมาะสำหรับหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตระยะเริ่มแรก)

$$M = \sum_{0}^{T} {}^{0}T\ .\ \Delta T = {}^{0}(\overline{t} + \alpha)\ .\ T \qquad (2.6)$$

เมื่อ M : ระดับการแข็งตัว (^{0}C ชั่วโมง)

T : ชั่วโมงที่ใช้ในการแข็งตัว (ชั่วโมง)

^{0}T : อุณหภูมิทางทฤษฎีที่ใช้ในการแข็งตัว

$= \overline{t} + \alpha$: คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการแข็งตัวโดยเฉลี่ย , α คือ จุดเริ่มต้นทางทฤษฎีที่ใช้ในการแข็งตัว ซึ่งขึ้นกับอุณภูมิที่ใช้ในการแข็งตัว , $\alpha = \left| t - 20 \right| / m$ โดยมีเงื่อนไขที่ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

การดำเนินการทดลองหาผลการเปรียบเทียบการรับกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีการทดสอบต่างๆ

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Mix design)

ข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบ

ปูนซีเมนต์

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราช้าง

หิน

- วัสดุผสมหยาบขนาดโตสุด	40	มม.
- ค่าความชื้น	3.19	%
- หน่วยน้ำหนักแห้ง	1597.7	kg. / m^3
- ความถ่วงจำเพาะ	2.68	
- อัตราการดูดซึม	1.42	%

ทราย

- ค่าความชื้น	6.01	%
- ค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.)	2.887	
- อัตราการดูดซึม	4.33	%
- ความถ่วงจำเพาะ	2.62	

ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังรับแรงเฉลี่ย 150 ksc

ขั้นตอน 1 : เลือกใช้ค่าการยุบตัว 8 - 10 cm.

ขั้นตอน 2 : มวลรวมคละมีขนาดโตสุด 40 mm.

ขั้นดอน 3 : จากตารางที่ ภาคผนวก จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตให้มีค่าการยุบตัว 8-10 cm. และขนาดมวลรวมคละโตสุด 40 mm. เท่ากับ 175 ลิตร

ขั้นตอน 4 : หาค่า WCR สำหรับใช้กับคอนกรีต 150 ksc. จากตารางที่ ภาคผนวก ได้เท่ากับ 0.80

ขั้นตอน 5 : นำค่าที่ได้จากขั้นตอน 3 และ 4 มาหาปริมาณซีเมนต์จะได้ = 175 / 0.80 = 218.78 kg. / m^3

ขั้นตอน 6 : หาปริมาณมวลรวมหยาบได้จากตารางที่ ภาคผนวก เมื่อมวลรวมละเอียด มีค่า F.M. 2.887 และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 mm. จะได้เท่ากับ 0.71 ลบ.ม.

ฉะนั้นน้ำหนักมวลรวมหยาบเท่ากับ 0.71 x 1597.7 = 1134.37 kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียด (ทราย) คำนวณได้ดังนี้

จากตารางที่ ภาคผนวก น้ำหนักของคอนกรีต 1 ลบ.ม. ซึ่งมีมวลรวมหยาบขนาดโตสุด 40 mm. มีค่าเท่ากับ 2420 กก. และ

น้ำหนักน้ำ (สุทธิ)	175	กก.
น้ำหนักปูนซีเมนต์	218.75	กก.
น้ำหนักมวลรวมหยาบ	1134.37	กก.
น้ำหนักรวม	1528.12	กก.

ฉะนั้น น้ำหนักของทรายเท่ากับ 2420 - 1528.12 = 891.88 kg.

ขั้นตอน 8 : ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ทรายมีความชื้น	6 %
หินมีความชื้น	3.2 %

ฉะนั้น น้ำหนักแท้จริงของมวลรวมที่ต้องผสม คือ

มวลรวมหยาบ (ชื้น)	1134.37 x 1.032 = 1170.67 kg.
มวลรวมละเอียด (ชื้น)	891.88 x 1.06 = 945.40 kg.

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมหยาบ = 3.2 - 1.42 = 1.78 %

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมละเอียด = 6 - 4.33 = 1.67 %

ปรับปริมาณน้ำ 175-1134.37(1.78 / 100)-891.88 (1.67/100)= 139.91 kg.

สรุปน้ำหนักของส่วนผสม / คอนกรีต 1 ลบ.ม.

น้ำ	= 139.91	กก.
ปูนซีเมนต์	= 218.78	กก.
มวลรวมหยาบ	= 1170.67	กก.
มวลรวมละเอียด	= 945.40	กก.

ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังรับแรงเฉลี่ย 200 ksc.

ขั้นตอน 1 : เลือกใช้ค่าการยุบตัว 8 - 10 cm.

ขั้นตอน 2 : มวลรวมคละที่ขนาดโตสุด 40 mm.

ขั้นตอน 3 : จากตารางที่ ภาคผนวก จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตให้มีค่าการยุบตัว 8 - 10 cm. และ ขนาดของมวลรวมคละโตสุด 40 mm. เท่ากับ 175 ลิตร

ขั้นตอน 4 : หาค่า WCR สำหรับใช้กับคอนกรีต 200 ksc จากตารางที่ ภาคผนวก ได้เท่ากับ 0.70

ขั้นตอน 5 :นำค่าที่ได้จากขั้นตอน 3 และ 4 มาหาปริมาณซีเมนต์จะได้ = 175/ 0.70 = 250 kg/ m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน 6 : หาปริมาณมวลรวมหยาบที่ได้จากตารางที่ ภาคผนวก เมื่อมวลรวมละเอียดมีค่า F.M. = 2.887 และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 mm. จะได้ค่าเท่ากับ 0.71 ฉะนั้น น้ำหนักของมวลรวมหยาบ เท่ากับ 0.71 x 1597.7 = 1134.37 hg.

ขั้นตอน 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียด (ทราย) คำนวณได้ดังนี้

จากตารางที่ ภาคผนวก น้ำหนักของคอนกรีต 1 ลบ.ม. ซึ่งมีมวลรวมหยาบขนาดโตสุด 40 mm. มีค่าเท่ากับ 2420 kg. และ

น้ำหนักน้ำ (สุทธิ)	175	kg.
น้ำหนักปูนซีเมนต์	250	kg.
น้ำหนักมวลรวมหยาบ	1134.37	kg.
น้ำหนักรวม	1559.37	kg.

ฉะนั้นน้ำหนักของทรายเท่ากับ 2420 - 1559.37 = 860.63 kg.

ขั้นตอน 8 : ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ทรายมีความชื้น 6 %

หินมีความชื้น 3.2 %

ฉะนั้นน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมที่ต้องผสมคือ

มวลรวมหยาบ (ชื้น) 1134.37 x 1.032 = 1170.67 kg.

มวลรวมละเอียด (ชื้น) 860.63 x 1.06 = 913.27 kg.

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมหยาบ = 3.2 - 1.42 = 1.78 %

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมละเอียด = 6 - 4.33 = 1.67 %

ปรับปริมาณน้ำ 175 - 1134.37 (1.78 / 100) - 860.63 (1.67 / 100) = 140.44 kg.

สรุปน้ำหนักส่วนผสม / คอนกรีต 1 ลบ.ม.

น้ำ	=	140.44	kg.
ปูนซีเมนต์	=	250	kg.
มวลรวมหยาบ	=	1170.67	kg.
มวลรวมละเอียด	=	913.27	kg.

ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังรับแรงเฉลี่ย 250 ksc

ขั้นตอน 1 : เลือกใช้ค่าการยุบตัว 8 - 10 cm.

ขั้นตอน 2 : มวลรวมคละมีขนาดโตสุด 40 mm.

ขั้นตอน 3 : จากตารางที่ ภาคผนวก จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตให้มีค่าการยุบตัว 8 - 10 cm. และขนาดของมวลรวมคละโตสุด 40 mm. เท่ากับ 175 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน 4 : หาค่า WCR สำหรับใช้กับคอนกรีต 250 ksc จากตารางที่ ภาคผนวก ได้เท่ากับ 0.62

ขั้นตอน 5 : นำค่าที่ได้จากขั้นตอน 3 และ 4 มาหาปริมาณซีเมนต์จะได้ = 175 / 0.62 = 282.26 kg/m^3

ขั้นตอน 6 : หาปริมาณมวลรวมหยาบที่ได้จากตารางที่ ภาคผนวก เมื่อมวลรวมละเอียดมีค่า F.M. = 2.887 และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 mm. จะได้ค่าเท่ากับ 0.71

ฉะนั้นน้ำหนักของมวลรวมหยาบเท่ากับ 0.71 x 1597.7 = 1134.37 kg.

ขั้นตอน 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียด (ทราย) คำนวณได้ดังนี้

จากตารางที่ ภาคผนวก น้ำหนักของคอนกรีต 1 ลบ.ม. ซึ่งมีมวลรวมหยาบขนาดโตสุด 40 mm. มีค่าเท่ากับ 2420 kg. และ

น้ำหนักน้ำ (สุทธิ)	175	kg.
น้ำหนักปูนซีเมนต์	282.26	kg.
น้ำหนักมวลรวมหยาบ	1134.37	kg.
น้ำหนักรวม	1591.63	kg.

ฉะนั้นน้ำหนักของทรายเท่ากับ 2420 - 1591.63 = 828.37 kg.

ขั้นตอน 8 : ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ทรายมีความชื้น 6 %

หินมีความชื้น 3.2 %

ฉะนั้นน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมที่ต้องผสมคือ

มวลรวมหยาบ (ชื้น) 1134.37 x 1.032 = 1170.67 kg.

มวลรวมหยาบ (ชื้น) 828.37 x 1.06 = 878.07 kg.

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมหยาบ = 3.2 - 1.42 = 1.78 %

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมละเอียด = 6 - 4.33 = 1.67 %

ปรับปริมาณน้ำ 175 - 1134.37 (1.78 / 100) - 828.37 (1.67 / 100) = 140.97 kg.

สรุปน้ำหนักส่วนผสม / คอนกรีต 1 ลบ.ม.

น้ำ	=	140.97 kg.
ปูนซีเมนต์	=	282.26 kg.
มวลรวมหยาบ	=	1170.67 kg.
มวลรวมละเอียด	=	878.07 kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังรับแรงเฉลี่ย 300 ksc

ขั้นตอน 1 : เลือกใช้ค่าการยุบตัว 8 - 10 cm.

ขั้นตอน 2 : มวลรวมคละมีขนาดโตสุด 40 mm.

ขั้นตอน 3 : จากตารางที่ ภาคผนวก จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตให้มีค่าการยุบตัว 8 - 10 cm. และขนาดของมวลรวมคละโตสุด 40 mm. เท่ากับ 175 ลิตร

ขั้นตอน 4 : หาค่า WCR สำหรับใช้กับคอนกรีต 300 ksc จากตารางที่ ภาคผนวก ได้เท่ากับ 0.55

ขั้นตอน 5 : นำค่าที่ได้จากขั้นตอน 3 และ 4 มาหาปริมาณซีเมนต์จะได้ = 175 / 0.55 = 318.18 kg / m^3

ขั้นตอน 6 : หาปริมาณมวลรวมหยาบที่ได้จากตารางที่ ภาคผนวก เมื่อมวลรวมละเอียดมีค่า F.M. = 2.887 และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 mm. จะได้ค่าเท่ากับ 0.71 ฉะนั้น น้ำหนักของมวลรวมหยาบเท่ากับ 0.71 x 1597.7 = 1134.37 kg.

ขั้นตอน 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียด (ทราย) คำนวณได้ดังนี้

ตารางที่ ภาคผนวก น้ำหนักของคอนกรีต 1 ลบ.ม. ซึ่งมีมวลรวมหยาบขนาดโตสุด 40 mm. มีค่าเท่ากับ 2420 kg. และ

น้ำหนักน้ำ (สุทธิ)	175	kg.
น้ำหนักปูนซีเมนต์	318.18	kg.
น้ำหนักมวลรวมหยาบ	1134.37	kg.
น้ำหนักรวม	1627.55	kg.

ฉะนั้น น้ำหนักของทรายเท่ากับ 2420 - 1627.55 = 792.45 kg.

ขั้นตอน 8 : ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ทรายมีความชื้น 6 %

หินมีความชื้น 3.2 %

ฉะนั้นน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมที่ต้องผสมคือ

มวลรวมหยาบ (ชื้น) 1134.37 x 1.032 = 1170.67 kg.

มวลรวมละเอียด (ชื้น) 792.45 x 1.06 = 839.997 kg.

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมหยาบ = 3.2 - 1.42 = 1.78 %

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมละเอียด = 6 - 4.33 = 1.67 %

ปรับปริมาณน้ำ 175 - 1134.37 (1.78 / 100) - 792.45 (1.67 / 100) = 141.57 kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปน้ำหนักส่วนผสม / คอนกรีต 1 ลบ.ม.

น้ำ	=	141.57	kg.
ปูนซีเมนต์	=	318.18	kg.
มวลรวมหยาบ	=	1170.67	kg.
มวลรวมละเอียด	=	839.997	kg.

ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังรับแรงเฉลี่ย 350 ksc

ขั้นตอน 1 : เลือกใช้ค่าการยุบตัว 8 - 10 cm.

ขั้นตอน 2 : มวลรวมคละมีขนาดโตสุด 40 mm.

ขั้นตอน 3 : จากตารางที่ ภาคผนวก จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตให้มีค่าการยุบตัว 8-10 cm. และขนาดของมวลรวมคละโตสุด 40 mm. เท่ากับ 175 ลิตร

ขั้นตอน 4 : หาค่า WCR สำหรับใช้กับคอนกรีต 350 ksc จากตารางที่ ภาคผนวก ได้เท่ากับ 0.48

ขั้นตอน 5 : นำค่าที่ได้จากขั้นตอน 3 และ 4 มาหาปริมาณซีเมนต์จะได้ = 175 / 0.48 = 364.58 kg. / m^3

ขั้นตอน 6 : หาปริมาณมวลรวมหยาบที่ได้จากตารางที่ ภาคผนวก เมื่อมวลรวมละเอียดมีค่า F.M. = 2.887 และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 mm. จะได้ค่าเท่ากับ 0.71

ฉะนั้น น้ำหนักของมวลรวมหยาบเท่ากับ 0.71 x 1597.7 = 1134.37 kg.

ขั้นตอน 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียด (ทราย) คำนวณได้ดังนี้

จากตารางที่ ภาคผนวก น้ำหนักของคอนกรีต 1 ลบ.ม. ซึ่งมีมวลรวมหยาบขนาดโตสุด 40 mm. มีค่าเท่ากับ 2420 kg. และ

น้ำหนักน้ำ (สุทธิ)	175	kg.
น้ำหนักปูนซีเมนต์	364.58	kg.
น้ำหนักมวลรวมหยาบ	1134.37	kg.
น้ำหนักรวม	1673.95	kg.

ฉะนั้นน้ำหนักของทรายเท่ากับ 2420 - 1673.95 = 746.05 kg.

ขั้นตอน 8 : ปริมาณส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ทรายมีความชื้น	6 %
หินมีความชื้น	3.2 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้นน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมที่ต้องผสมคือ

มวลรวมหยาบ (ชื้น) 1134.37 x 1.032 = 1170.67 kg.

มวลรวมละเอียด (ชื้น) 746.05 x 1.06 = 790.81 kg.

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมหยาบ = 3.2 - 1.42 = 1.78 %

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมละเอียด = 6 - 4.33 = 1.67 %

ปรับปริมาณน้ำ 175 - 1134.37 (1.78 / 100) - 746.05 (1.67 / 100) = 142.35 kg.

สรุปน้ำหนักส่วนผสม / คอนกรีต 1 ลบ.ม.

น้ำ = 142.35 kg.

ปูนซีเมนต์ = 364.58 kg.

มวลรวมหยาบ = 1170.67 kg.

มวลรวมละเอียด = 790.81 kg.

ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังรับแรงเฉลี่ย 400 ksc

ขั้นตอน 1 : เลือกใช้ค่าการยุบตัว 8 - 10 cm.

ขั้นตอน 2 : มวลรวมคละมีขนาดโตสุด 40 mm.

ขั้นตอน 3 : จากตารางที่ ภาคผนวก จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตให้มีค่าการยุบตัว 8 - 10 cm. และขนาดของมวลรวมคละโตสุด 40 mm. เท่ากับ 175 ลิตร

ขั้นตอน 4 : หาค่า WCR สำหรับใช้กับคอนกรีต 400 ksc จากตารางที่ ภาคผนวก ได้เท่ากับ 0.43

ขั้นตอน 5 : นำค่าที่ได้จากขั้นตอน 3 และ 4 มาหาปริมาณซีเมนต์จะได้ = 175 / 0.43 = 406.97 kg. / m^3

ขั้นตอน 6 : หาปริมาณมวลรวมหยาบที่ได้จากตารางที่ ภาคผนวก เมื่อมวลรวมละเอียดมีค่า F.M. = 2.887 และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 mm. จะได้ค่าเท่ากับ 0.71

ฉะนั้น น้ำหนักของมวลรวมหยาบเท่ากับ 0.71 x 1597.7 = 1134.37 kg.

ขั้นตอน 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียด (ทราย) คำนวณได้ดังนี้

จากตารางที่ ภาคผนวก น้ำหนักของคอนกรีต 1 ลบ.ม. ซึ่งมีมวลรวมหยาบขนาดโตสุด 40 mm. มีค่าเท่ากับ 2420 kg. และ

น้ำหนักน้ำ (สุทธิ) 175 kg.

น้ำหนักปูนซีเมนต์ 406.97 kg.

น้ำหนักมวลรวมหยาบ 1134.37 kg.

น้ำหนักรวม 1716.34 kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้นน้ำหนักของทรายเท่ากับ 2420 - 1716.34 = 703.66 kg.

ขั้นตอน 8 : ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ทรายมีความชื้น 6 %

หินมีความชื้น 3.2 %

ฉะนั้นน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมที่ต้องผสมคือ

มวลรวมหยาบ (ชื้น) 1134.37 x 1.032 = 1170.67 kg.

มวลรวมละเอียด (ชื้น) 703.66 x 1.06 = 745.88 kg.

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมหยาบ = 3.2 - 1.42 = 1.78 %

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมละเอียด = 6 - 4.33 = 1.67 %

ปรับปริมาณน้ำ 175 - 1134.37 (1.78/100) - 703.66 (1.67/100) = 143.05 kg.

สรุปน้ำหนักส่วนผสม / คอนกรีต 1 ลบ.ม.

น้ำ	=	143.05 kg.
ปูนซีเมนต์	=	406.97 kg.
มวลรวมหยาบ	=	1170.67 kg.
มวลรวมละเอียด	=	745.88 kg.

ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังรับแรงเฉลี่ย 450 ksc

ขั้นตอน 1 : เลือกใช้ค่าการยุบตัว 8 - 10 cm.

ขั้นตอน 2 : มวลรวมคละมีขนาดโตสุด 40 mm.

ขั้นตอน 3 : จากตารางที่ ภาคผนวก จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตให้มีค่าการยุบตัว 8 - 10 cm. และขนาดของมวลรวมคละโตสุด 40 mm. เท่ากับ 175 ลิตร

ขั้นตอน 4 : หาค่า WCR สำหรับใช้กับคอนกรีต 450 ksc จากตารางที่ ภาคผนวกได้เท่ากับ 0.38

ขั้นตอน 5 : นำค่าที่ได้จากขั้นตอน 3 และ 4 มาหาปริมาณซีเมนต์จะได้ = 175 / 0.38 = 460.52 kg. / m^3

ขั้นตอน 6 : หาปริมาณมวลรวมหยาบที่ได้จากตารางที่ ภาคผนวก เมื่อมวลรวมละเอียดมีค่า F.M. = 2.887 และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 mm. จะได้ค่าเท่ากับ 0.71

ฉะนั้นน้ำหนักของมวลรวมหยาบเท่ากับ 0.71 x 1597.7 = 1134.37 kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียด (ทราย) คำนวณได้ดังนี้

จากตารางที่ ภาคผนวก น้ำหนักของคอนกรีต 1 ลบ.ม. ซึ่งมีมวลรวมหยาบขนาดโตสุด 40 mm. มีค่าเท่ากับ 2420 kg. และ

น้ำหนักน้ำ (สุทธิ) 175 kg.

น้ำหนักปูนซีเมนต์ 460.52 kg.

น้ำหนักมวลรวมหยาบ. 1134.37 kg.

น้ำหนักรวม 1769.89 kg.

ฉะนั้นน้ำหนักของทรายเท่ากับ 2420 - 1769.89 = 650.11 kg.

ขั้นตอน 8 : ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ทรายมีความชื้น 6 %

หินมีความชื้น 3.2 %

ฉะนั้นน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมที่ต้องผสมคือ

มวลรวมหยาบ (ชื้น) 1134.37 x 1.032 = 1170.67 kg.

มวลรวมละเอียด (ชื้น) 650.11 x 1.06 = 689.11 kg.

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมหยาบ = 3.2 - 1.42 = 1.78 %

ปริมาณความชื้นที่เคลือบผิวมวลรวมละเอียด = 6 - 4.33 = 1.67 %

ปรับปริมาณน้ำ 175 - 1134.37 (1.78 / 100) - 650.11 (1.67 / 100) = 143.95 kg.

สรุปน้ำหนักส่วนผสม / คอนกรีต 1 ลบ.ม.

น้ำ = 143.95 kg.

ปูนซีเมนต์ = 460.52 kg.

มวลรวมหยาบ = 1170.67 kg.

มวลรวมละเอียด = 689.11 kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I ตราช้าง

2. ทรายที่ใช้เป็นทรายหยาบ ซึ่งนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคละและโมดูลัสความละเอียดตามมาตรฐาน ASTM : C 136 - 80 พบว่าปริมาณคละเป็นไปตามที่กำหนดของ ASTM : C 33 - 80 มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.887 มีความความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.62 และมีค่าความชื้นเท่ากับ 6.007 เปอร์เซนต์

3. หินที่ใช้เป็นหินที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.68

4. น้ำที่ใช้เป็นน้ำประปา

5. โม่ผสมคอนกรีตที่ใช้เป็นโม่ผสมชนิด Tilting Drum Mixer มีถังเป็นรูปกรวยจะหมุนในลักษณะเอียง เทคอนกรีตได้เป็นกลุ่มก้อน ใบพายในโปมดมีรูปร่างคล้ายพัดทำให้กระทบวัสดุได้ทั่วถึง ซึ่งมีความจุประมาณ 7 ลูกบาศก์ฟุต ความเร็วของถังหมุน 25 รอบ / นาที

6. เหล็กเสริมคอนกรีต ซึ่งเสริมในคอนกรีตรูปลูกบาศก์ เหล็กตั้งที่ใช้จะใช้เหล็กข้ออ้อย 12 มม. เหล็กปลอกใช้เหล็กเส้นกลม 6 มม.

7. แบบหล่อชิ้นตัวอย่างที่ใช้เป็นแบบหล่อมาตรฐาน ASTM : C - 192 เป็นแบบหล่อรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. และแบบหล่อรูปลูกบาศก์ ซึ่งมีความยาวด้านละ 15 ซม.

8. น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในการทาแบบเพื่อความสะดวกและง่ายในการถอดแบบ

9. เหล็กกระทุ้งปลายกลมมน

การผสมและการหล่อแบบตัวอย่างคอนกรีต

การเตรียมเหล็กเสริมคอนกรีตรูปลูกบาศก์

1. ตัดเหล็กทำเป็นเหล็กตั้ง ซึ่งใช้เหล็กข้ออ้อยขนาด 12 มม. โดยเหล็กตั้งมีความยาว 15 ซม. และทำเหล็กปลอก ซึ่งใช้เหล็กขนาด 6 มม. แล้วดัดใช้งอเป็นปลอก

2. ทำการผูกเหล็กตั้งเข้ากับเหล็กปลอก ประกอบเป็นเหล็กเสริมคอนกรีตรูปลูกบาศก์ขนาดความกว้าง 15 ซม.

การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบหล่อไม่ให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ และทาน้ำมันหล่อลื่นที่ผิวด้านในให้ทั่ว

2. ตรวจสอบสกรูรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ แล้วประกอบแบบและขันหรือรัดให้แน่น ป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยก หรือแบบหล่อหลุดขณะเทคอนกรีต หรือขณะใช้เหล็กกระทุ้ง

รูปร่างของแท่งคอนกรีตที่ใช้ทดสอบแบ่งเป็น 2 ลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก ซึ่งแบ่งตามค่า MIXED DESIGN ได้แก่ 150 , 200 , 250 , 300 , 350 , 400 , 450 ksc.

2. ตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ ซึ่งแบ่งตามค่า MIXED DISIGN เช่นเดียวกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก และมีการเสริมเหล็กในแท่งคอนกรีต โดยมีระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก 3 ซม.

การเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีต

1. คอนกรีตที่ใช้โม่ผสม เลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตรงกลางที่เทออกจากโม่ผสมใหม่

2. เทคอนกรีตลงในแบบรูปทรงกระบอกส่วนหนึ่งโดยให้ได้ความสูงประมาณ 1 ใน 3 ของแบบ แล้วใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง โดยทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้ว จึงปาดผิวหน้าให้เรียบ

3. ในกรณีของการเทคอนกรีตลงในแบบหล่อรูปลูกบาศก์ ขณะทำการกระทุ้งควรใช้มือจับเหล็กเสริม อย่าให้เคลื่อนไปด้านใดด้านหนึ่ง และมืออีกข้างถือเหล็กที่กระทุ้ง โดยกระทุ้งให้คอนกรีตไม่เกิดช่องว่างอากาศหรือโพรง

4. วางแบบที่บรรจุคอนกรีตจนเต็ม ตั้งไว้ในที่ร่มประมาณ 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก

5. นำแท่งคอนกรีตไปบ่มในน้ำสะอาด บ่มจนถึงอายุตามที่ต้องการ

การบ่มคอนกรีต

หลังจากถอดแบบหล่อออกจากคอนกรีตแล้ว นำแท่งคอนกรีตไปบ่มในน้ำสะอาด จนกระทั่งครบตามเวลาที่กำหนด จากนั้นนำขึ้นมาผึ่งให้แห้ง ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม. แล้วจึงนำไปทดสอบต่อไป

การดำเนินการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต

นำตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการบ่อมตามเวลาที่กำหนด 7 วัน , 14 วัน และ 28 วัน มาทำการทดสอบกำลังอัด โดยวิธีการทดสอบต่างกัน และเปรียบเทียบผลการทดลองที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน

วิธีการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต มี 3 วิธี

1. วิธี Ultrasonic Test

2. วิธี Schmidt Hammer Test

3. วิธีการทดสอบโดยตรง โดยเครื่องมือ Universal Testing Machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นตอนในการทดสอบ

1. การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตโดยวิธี Ultrasonic Test

ASTM : C 597 - 83

Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete

วิธีมาตรฐานในการทดสอบคนอกรีตโดยใช้เครื่อง Ultrasonic

วัตถุประสงค์ขอบเขต

1. วิธีการทดสอบนี้เป็นการวัดความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปในคอนกรีต โดยใช้คลื่น Ultrasonic ผ่านเข้าไปในคอนกรีต

2. ความเร็วของคลื่นจะไม่ขึ้นกับขนาดของวัสดุที่ทดสอบ และการสะท้อนของบริเวณขอบเขตการหาค่าความเร็วจะวัดค่าเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านไปโดยตรง

3. ความเร็วของคลื่น V จะมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัตถุของแข็งที่นำมาทดสอบเป็นสมการ

$$V^2 = KE / \rho \qquad (3.1)$$

เมื่อ K = ค่าคงที่

E = ค่ายังโมดูลัส

ρ = ค่าความหนาแน่น

ซึ่งความเร็วคลื่นจะไม่ขึ้นกับความถี่ของคลื่น

อุปกรณ์การทดสอบ

1. Pulse Generator and Transmitting Transducer ตัวกำเนิดคลื่นและตัวส่ง Pulse generator จะมีส่วนประกอบที่ควบคุมความแน่นอนในการผลิต Pulse และ Voltage ทรานดิวเซอร์ จะเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้านี้เป็นการสั่นทางกล ซึ่งมีความถี่ได้ในช่วง 10 ถึง 150 kHz. Pulse generator จะผลิต Pulse ออกมาซ้ำ ๆ ในอัตราไม่น้อยกว่า 10 Pulse ต่อวินาทีหรือมากกว่า 150 Pulse ต่อวินาที

โครงสร้างของพวกทรานดิวเซอร์เป็นพวก Piezoelectric magnetrostrictive หรือพวกวัสดุ Voltage - Sensitive มีสแตนเลสหุ้มอยู่ภายนอกป้องกันการกระแทก ทรานดิวเซอร์จะมีส่วนที่เป็น coupling medium อยู่ด้านหน้าเพื่อการยึดติดกับคอนกรีต

การใช้สายเคเบิลยาวเกินไป สำหรับทรานดิวเซอร์จะทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณไปมากกว่า 0.50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ที่ระหว่างตัวทรานดิวเซอร์กับคอนกรีตควรที่จะมีแผ่นไดอะแฟรมใช้เมื่อผิวสัมผัสค่อนข้างลื่น หรือถ้าเป็นยางหรือน้ำมันนั้นจะช่วยในกรณีที่ผิวคอนกรีตมีลักษณะไม่เรียบขรุขระ ซึ่งปกติจะใช้จาระบีทาที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างโพรงกับคอนกรีตเพื่อป้องกันการลดความเร็วเสียงเนื่องจากผิวสัมผัส

2. Reccing Transducer and Amplifier คือ ตัวทรานดิวเซอร์ที่เป็นตัวรับและภาคขยายสัญญาณ ตัวทรานดิวเซอร์ในภาครับจะมีลักษณะเหมือนกับตัวทรานดิวเซอร์ในภาคส่ง

3. Time Measuring circuit คือวงจรหาค่าเวลา

4. Display Unit คือหน่วยแสดงผล

5. Calibration Device

การเลือกตำแหน่งทดสอบ

การที่จะได้ผลของการวัดออกมาดีที่สุดตำแหน่งของทรานดิวเซอร์ทั้งสอง ควรจะอยู่ในแนวเส้นตรงและอยู่คนละด้านตรงข้ามกัน บางครั้งอาจจะวางทรานดิวเซอร์ทั้งสองที่มุมตรงกันของเส้นทะแยงมุมของโครงสร้าง แต่จะมีสัญญาณบางส่วนที่สูญหายไปจึงทำให้ค่าของการวัดไม่แน่นอนและความไวของระบบวัดไม่ดี ในการวัดที่ทรานดิวเซอร์อยู่บนด้านเดียวกันไม่ควรเลือกใช้ถ้าไม่จำเป็น การวัดที่อยู่ใกล้โลหะ และมีการวางตัวของโลหะขนาไปกับทิศของคลื่นควรหลีกเลี่ยง

โดยปกติความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปในเหล็กจะมีค่าเป็น 2 เท่า ในคอนกรีต นั่นคือ ความเร็วของคลื่นในคอนกรีตที่เสริมเหล็ก Rein - forçing จะมีค่าสูงกว่า Nonrein -forces คอนกรีต เมื่อส่วนประกอบของคอนกรีตเหมือนกัน

การรายงานผล

1. ตำแหน่งในการทดสอบตัวอย่าง ซึ่งเป็นวิธีการวัดโดยตรง รูปแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก ตำแหน่งที่ใช้โพรบสัมผัสคือ จุดกึ่งกลางของหน้าตัดทั้งสองด้านของรูปทรงกระบอก กรณีแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์เสริมเหล็กตำแหน่งที่ใช้โพรบสัมผัสคือ จุกกึ่งกลางของแท่งคอนกรีตด้านเหล็กเสริมทางตั้งซึ่งอยู่ตรงข้ามกันและตำแหน่งด้านข้างบริเวณขอบของคอนกรีตด้านเหล็กเสริมทางตั้งโดยใช้โพรบสัมผัสระหว่างด้านตรงข้ามทั้งสอง

2. ระยะทางระหว่างตัวทรานดิวเซอร์หรือโพรบทั้งสอง ซึ่งต้องทำการวัดโดยละเอียด ค่าความละเอียดในการวัดเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.50 % ของระยะทาง

3. เวลา (Transit Time)

4. Effective time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ค่าความเร็วของ Pulse

สรุปขั้นตอนการทดสอบ

1. นำตัวอย่างคอนกรีตที่บ่มไว้ครบตามกำหนด นำขึ้นมาตากให้แห้ง

2. วัดหาความสูงเฉลี่ยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก กรณีรูปลูกบาศก์วัดหาค่าเฉลี่ยความกว้างของด้านที่ตั้งฉากกับเหล็กยืน ซึ่งคือระยะความยาวระหว่างตัวทรานดิวเซอร์ทั้งสอง

3. ตรวจสอบการปรับเทียบมาตรฐานให้ถูกต้อง (Determination of Calibration Correction) โดยตรวจเช็คความแน่นอนในการวัด Transit time โดยใช้ Calibration device ถ้ามีความแตกต่างก็ให้ทำการแก้ไข

4. ทำการแก้ไขค่า zero (Determine of Zero Correction) โดยค่าในการแก้ไขจะเท่ากับค่าที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของคลื่นจากทรานดิวเซอร์ทั้งสอง ในกรณีที่ไม่มีคอนกรีตมาวางกั้น โดยติดตัวทรานดิวเซอร์ทั้งสองเข้าด้วยกัน โดยใช้สาร Coupling agent แล้วทดสอบวัด Transit time หรือในบางครั้งอาจจะใช้ Reference bar เป็นตัวปรับ Zero adjust ซึ่งเป็นการทราบค่า Transit time ที่แน่นอน

5. วัดโดยวิธีโดยตรง

การวัดค่าเวลา (Determine of Transit time) โดยติดตัวทรานดิวเซอร์ทั้งสองสัมผัสกับตำแหน่งของคอนกรีตที่ต้องการทดสอบซึ่งอยู่ตรงข้ามกันทั้งสองด้าน ควรใช้จาระบีทาติดที่โพรบทั้งสอง เพื่อให้ผิวสัมผัสเรียบ ไม่เป็นรอยนูนหรือรอยบุ๋ม ป้องกันการลดความเร็วเสียงเนื่องจากผิวสัมผัส และควรกดตัวทรานดิวเซอร์ให้ติดแน่น เพื่อป้องกันการเกิดช่องว่างอากาศ เมื่อดีแล้วทำการวัดค่า Transit time โดยทำการทดลองซ้ำอีก ณ. ตำแหน่งเดียวกันเพื่อลดค่าผิดพลาดจากการที่ผิวทั้งสองไม่ประกบกันดี

6. ค่าเบี่ยงเบนและความแม่นยำ

ค่าที่ทำการวัดคือ ค่า Transit time ของคลื่นที่ถูกอัดเข้าไปในคอนกรีต ดังนั้นค่าความเร็วที่หาได้จะถูกต้องแม่นยำ ขึ้นกันเวลาและระยะทางที่ทำการวัดจากเครื่องและจากผู้ทำการทดลอง

ในการทดสอบโดยทดสอบซ้ำ ที่จุดและด้านเดียวกัน ปรากฏว่าผลการทดสอบเบี่ยงเบนอยู่ในช่วง 2 % ในกรณีที่ระยะทางการทดสอบสั้นลง ค่า Transit time ที่วัดได้จะน้อยลง ผลในการคำนวณความเร็วปรากฏว่าได้ค่าความแม่นยำเหมือนกัน

7. การคำนวณ

การคำนวณความเร็ว Pulse ใช้สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V = L / T \qquad (3.2)$$

เมื่อ V = ความเร็วของ Pulse (m/s , ft/sec)

L = ระยะทางระหว่างตัวทรานดิวเซอร์ทั้งสอง

T = เวลาที่ใช้ sec (Transit time)

ถ้ามีการแก้ไขให้นำค่าเวลาที่ได้ไปลบจากเวลาที่ทำ Zero Time Correction

การนำผลการทดสอบไปใช้งาน

1. วิธีการทดสอบนี้เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงคุณภาพของคอนกรีต และเป็นเนื้อเดียวกัน (Uniform) โดยทางอ้อมซึ่งตรวจสอบจากการมีอยู่ของ Void รอยแตกร้าวหรือการหาขนาดความลึกของรอยแตกร้าวสิ่งเหล่านี้จะเป็นดัชนีที่บอกให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีต นอกจากนี้ยังใช้ตรวจสอบโครงสร้างเพื่อประมาณค่าความเสื่อมหรือรอยร้าวที่เกิดขึ้นได้

2. ผลการทดสอบสามารถวิเคราะห์หาค่ากำลังการรับแรงอัดของคอนกรีต และค่ายังโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต

3. สามารถทำการทดสอบได้ทั้งในห้องทดลองหรือในภาคสนาม ขนาดและรูปร่างของตัวอย่างที่ทดสอบจะมีข้อจำกัดในการใช้ตัวต้นกำเนิดคลื่น

หมายเหตุ

1. ความชื้นที่มีอยู่ในคอนกรีตจะมีผลต่อความเร็วของสัญญาณพัลส์ (Pulse)

2. ในการทดสอบตัวอย่างควรมีขนาด 50 มม. หรือ 2 นิ้ว เป็นอย่างน้อยที่สุด และยาวมากที่สุดไม่เกิน 15 เมตร (50 ฟุต) ซึ่งค่าขีดจำกัดนี้ขึ้นอยู่กับความถี่และความแรงของสัญญาณที่ถูกส่งออกไปจากตัวกำเนิดคลื่น ค่าขีดจำกัดบนของ Path length นี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของสภาพผิวของค่อนกรีตและสภาพภายในเนื้อคอนกรีตที่กำลังศึกษา ถ้าใช้ทรานดิวเซอร์ ขนาด 10 ถึง 20 kHz. กับสภาพคอนกรีตนี้จะทำให้สัญญาณลดทอนน้อยลง เมื่อคลื่นผ่านคอนกรีต สำหรับ Path length ที่สั้นไม่จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงความสูญเสียของสัญญาณลดทอน ถ้าเลือกใช้คลื่นที่มีความถี่ 50 kHz. หรือสูงกว่านี้ จะทำให้ค่าในการวัด Transit time เวลามีความแม่นยำและความไวในระบบการวัดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตโดยเครื่องมือ Schmidt Hammer

ASTM : C 805 - 85

Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete

อุปกรณ์

1. เครื่องมือ Schmidt hammer ชนิด N
2. หินสำหรับขัดผิวหน้าคอนกรีต
3. สีเขียนคอนกรีต
4. ไม้บรรทัด

วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างแท่งคอนกรีตที่บ่มในน้ำสะอาดครบตามกำหนด นำมาตากให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. นำแท่งคอนกรีตที่ตากแห้งเรียบร้อยแล้วไปวางบนพื้นผิวที่เรียบสม่ำเสมอ
3. ทำการขัดผิวหน้าของแท่งคอนกรีตให้เรียบไม่ขรุขระ
4. แท่งคอนกรีตทดสอบรูปร่างทรงกระบอก
   4.1 ทำการวัดหาค่าเฉลี่ยความสูง ของรูปทรงกระบอก
   4.2 ทำการกำหนดจุดที่จะใช้ทดสอบ 12 จุด โดยทำเป็นช่วงและทำเครื่องหมายด้านหน้าตัดของรูปทรงกระบอก
5. แท่งคอนกรีตทดสอบรูปลูกบาศก์
   5.1 ทำการวัดหาค่าเฉลี่ยขนาดความกว้างของด้านทั้งสี่ของลูกบาศก์
   5.2 ทำการกำหนดจุดที่จะใช้ทดสอบ 12 จุด โดยทำเป็นช่วงและทำเครื่องหมายด้านข้างของลูกบาศก์ (ด้านที่ขนานกับเหล็กยืน)
6. ทำการ Calibrate เครื่อง โดยการยิงเครื่องยิงไปที่แท่ง Calibrate เพื่อทำการหาค่า factor
7. กดเครื่อง Schmidt hammer ลงหลังจากนั้นก็ดึงเครื่องมือขึ้นมาโดยไม่ต้องกดปุ่มล็อค การทำเช่นนี้เป็นการเซตค่า Rebound number ให้เริ่มต้นที่ศูนย์
8. ทำการกดเครื่อง Schmidt hammer ลงบนจุดที่ต้องการจะทดสอบ ก่อนที่จะทำการดึงเครื่องมือขึ้นให้กดปุ่มล็อคเพื่อทำการล็อคค่า Rebound number ของคอนกรีตที่ทำการทดสอบในจุดนั้น
9. อ่านค่า Rebound number ที่ได้จากเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ทำการทดสอบซ้ำ ข้อ 7 - 9 จนครบ 12 จุด

11. นำค่า Rebound number ที่ได้ทั้ง 12 จุด มาหาค่าเฉลี่ย และนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่า Rebound number ที่ได้ในตอนแรก ถ้าค่าทั้งสองมีความแตกต่างกัน 5 หน่วยขึ้นไป ทั้งในทางบวกและทางลบ ให้ทำการตัดค่า Rebound number ค่านั้นทิ้งไป แล้วนำค่าที่เหลือมาหาค่าเฉลี่ยใหม่อีกครั้ง

12. นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาปรับค่าซึ่งค่าเฉลี่ยใหม่มีค่าเท่ากับ ค่าเฉลี่ยเดิมคูณ factor

13. นำค่า Rebound number ที่เฉลี่ยได้ใหม่ไปเปิดกราฟเพื่อหาค่ากำลังอัดที่คอนกรีตนั้น ๆ รับได้ต่อไป

3. การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตโดยเครื่องมือ Universal Testing Machine

อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบแรงกดมาตรฐานแบบไฮดรอลิก
2. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Caliper) อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มม.
3. เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียดถึง 1 กรัม

รูปร่างตัวอย่างแท่งคอนกรีตที่ใช้ทดสอบมี 2 ลักษณะ

1. แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก
2. แท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์

วิธีการทดสอบ

1. วัดขนาดของแท่งคอนกรีต โดยวัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก ในกรณีของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ วัดความสูงของด้านข้างและความกว้างของหน้าตัด จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของแท่งคอนกรีต ซึ่งจะกระทำก่อนเคลือบผิวหน้าด้วยกำมะถัน

2. การเคลือบผิวหน้าแท่งคอนกรีต

ในกรณีผิวหน้าแท่งคอนกรีตไม่เรียบให้เคลือบผิวหน้าแท่งคอนกรีตด้วยกำมะถัน ในการเคลือบนั้นอุปกรณ์จะต้องตั้งอยู่ในแนวแกนของแท่งทดสอบ และผิวหน้าด้านที่จะใช้ต้องเคลือบกำมะถันให้มีผิวเรียบ และมีมุมที่ถูกต้อง กรณีของคอนกรีตรูปลูกบาศก์ให้เคลือบหน้าตัดด้านที่ตั้งฉากกับเหล็กเสริมทางตั้ง

3. ทำความสะอาดแท่งคอนกรีตและผิวแท่นธาร (Bearing Faces) ทั้งบนและล่างของเครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วางแท่งทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกด แล้วเลื่อนหรือหมุนผิวแท่นธารให้สัมผัสกับแท่งทดสอบสนิท กรณีคอนกรีตรูปลูกบาศก์จะวางเพื่อกดในแนวเหล็กเสริมทางตั้ง

5. เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่อยู่ในเกณฑ์ช่วง 14 - 34 นิวตันต่อตารางมิลิเมตร ต่อนาที ในระยะช่วงครึ่งแรกของน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบจะรับได้นั้นอาจใช้อัตราการกดสูงกว่าที่กำหนดได้

ในการควบคุมเครื่องทดสอบขณะที่แท่งทดสอบถึงจุดคลาก (yielding) อย่างรวดเร็วทันทีก่อนเกิดถึงจุดประลัย (Ultimate) นั้นห้ามปรับอัตราการกดหรือส่วนใดของเครื่องทดสอบ

6. ให้กดจนกระทั่งแท่งทดสอบถึงจุดประลัย

7. บันทึกค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบสามารถรับได้

8. คำนวณหาความต้านทานแรงอัดของแท่งทดสอบ จากสูตร

$$f = \frac{P_u}{A} \qquad (3.3)$$

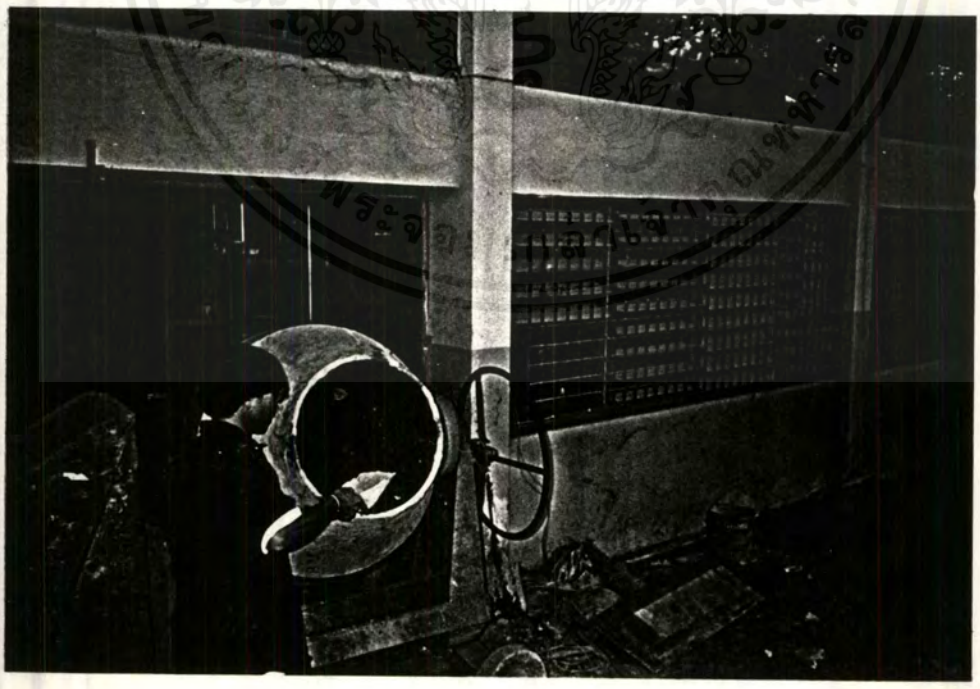
โดย f = ความต้านทานแรงอัดของแท่งทดสอบ (kg/cm^2)

P_u = น้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบรับได้ (kg)

A = พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของแท่งทดสอบ (cm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แบบหล่อคอนกรีตรูปลูกบาศก์



รูปที่ 3.2 การผสมคอนกรีตในโม่ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 การตรวจสอบ Slump คอนกรีต

รูปที่ 3.4 การกระทุ้งคอนกรีต

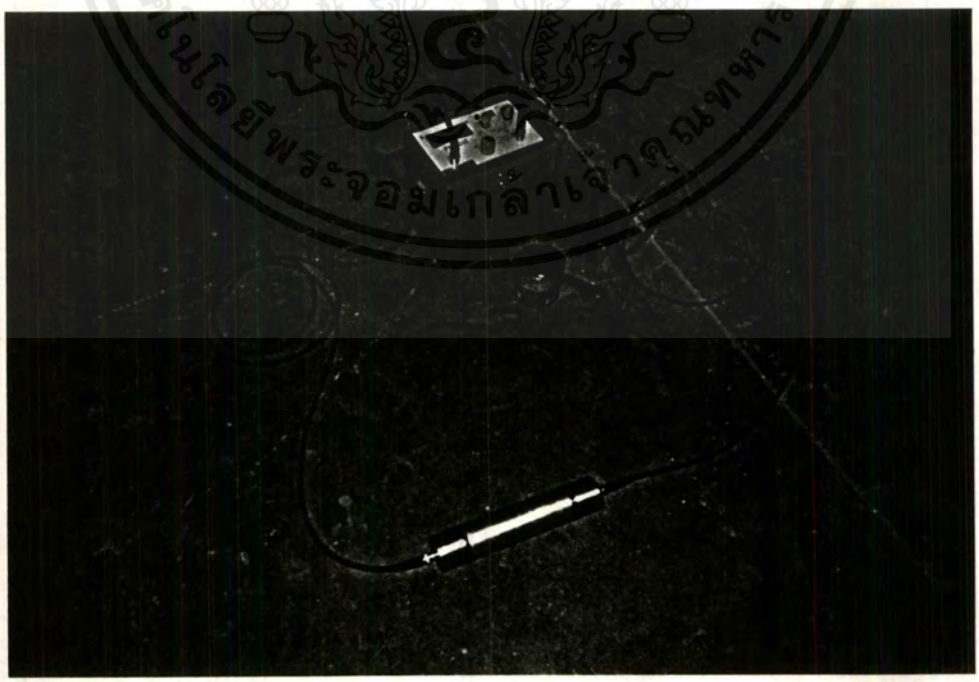
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 การบ่มคอนกรีต

รูปที่ 3.6 การวัดขนาดของแท่งคอนกรีต

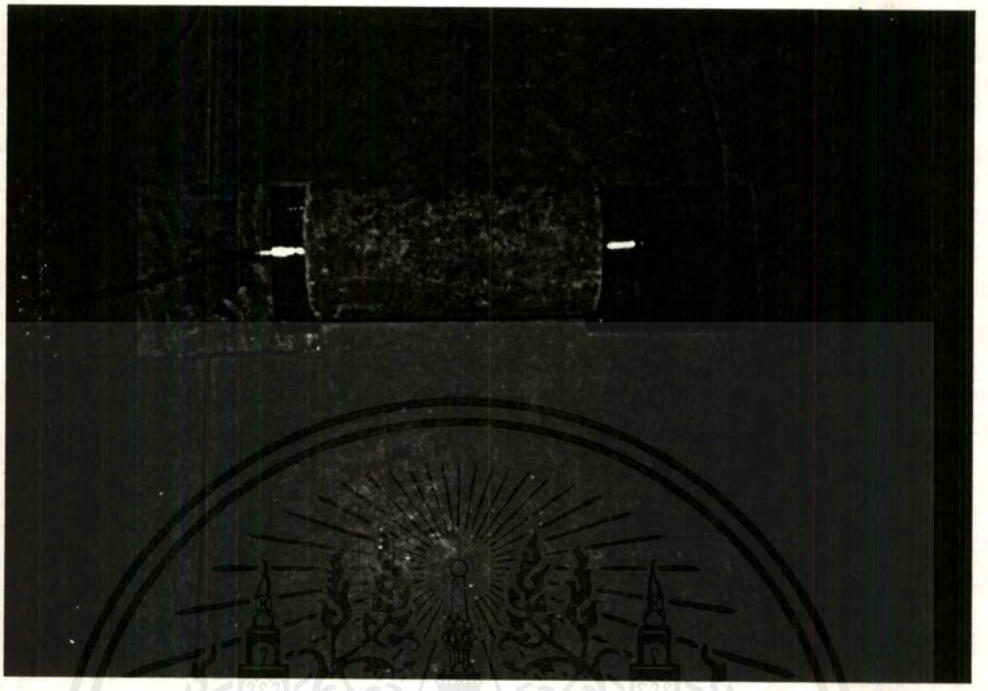
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 เครื่องUltrasonic ชนิด Pundit



รูปที่ 3.8 การ Calibrate เครื่อง Pundit

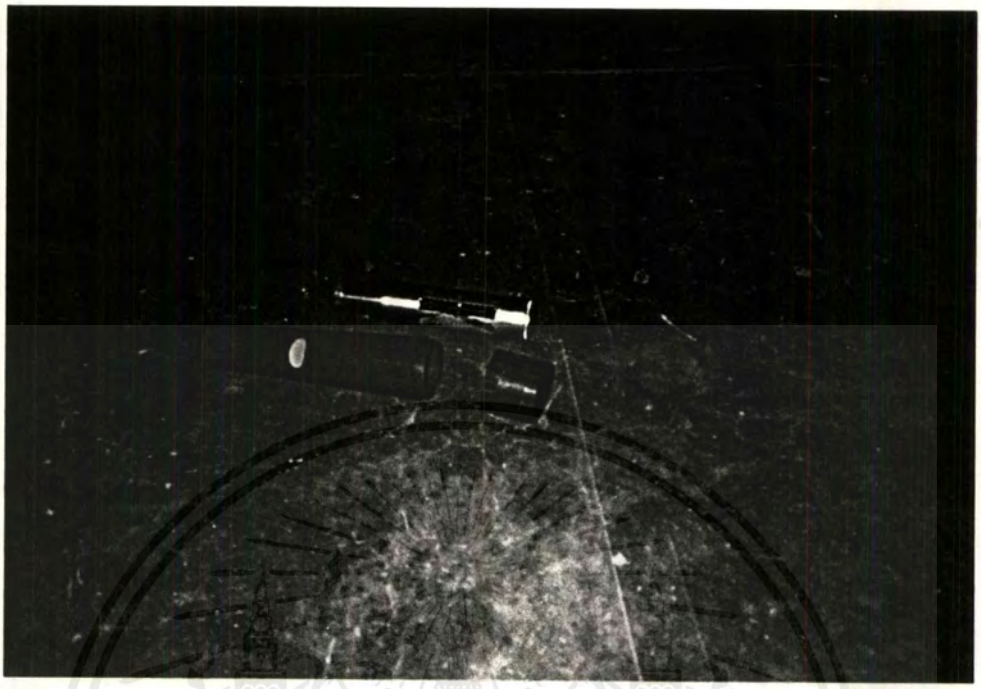
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การใช้เครื่อง Pundit วัดเวลาที่คลื่นเดินทางผ่านคอนกรีตรูปทรงกระบอก

รูปที่ 3.10 การใช้เครื่อง Pundit วัดเวลาที่คลื่นเดินทางผ่านคอนกรีตรูปลูกบาศก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 เครื่องมือทดสอบคอนกรีต Schmidt Hammer ชนิด N

รูปที่ 3.12 การทดสอบหาค่า Rebound Number ของคอนกรีตรูปทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 การทดสอบหาค่า Rebound Number ของคอนกรีตรูปลูกบาศก์

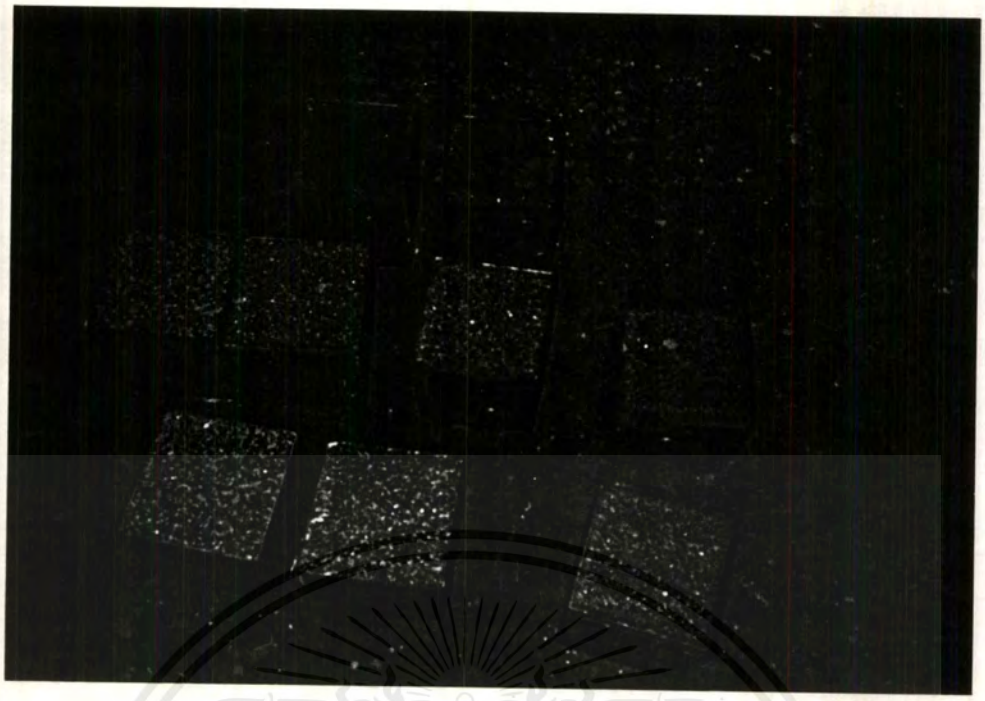
รูปที่ 3.14 การเคลือบหัวคอนกรีตรูปทรงกระบอกด้วยกำมะถัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

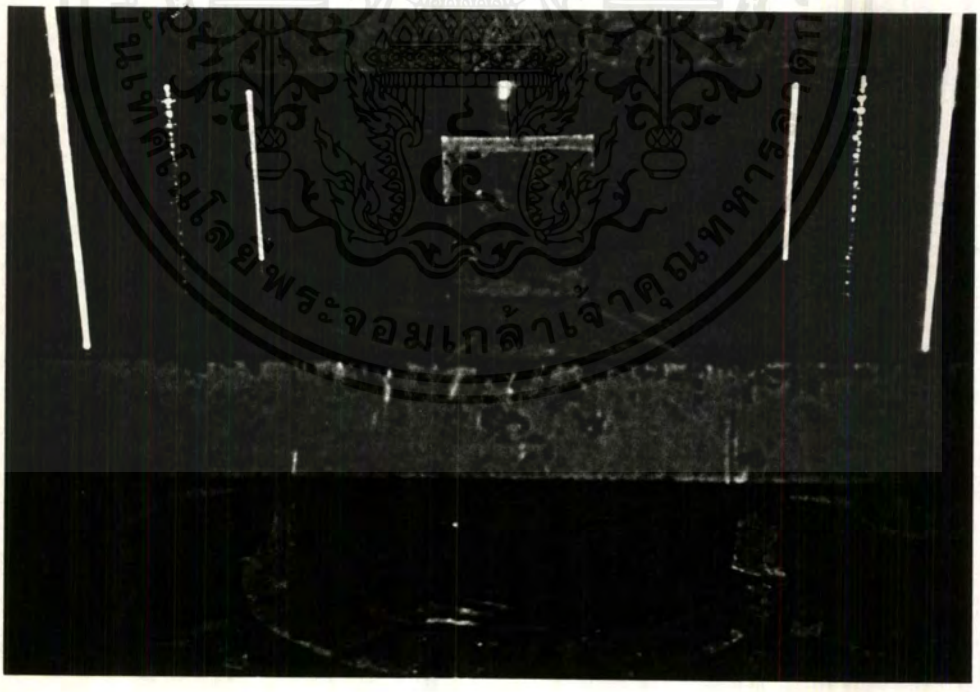
รูปที่ 3.15 การทดสอบหาหน่วยแรงอัดคอนกรีตรูปทรงกระบอกด้วยเครื่อง UTM

รูปที่ 3.16 ลูกคอนกรีตที่ถูกอัดจนถึงจุด Ultimate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 การเคลือบหัวคอนกรีตรูปลูกบาศก์ด้วยกำมะถัน



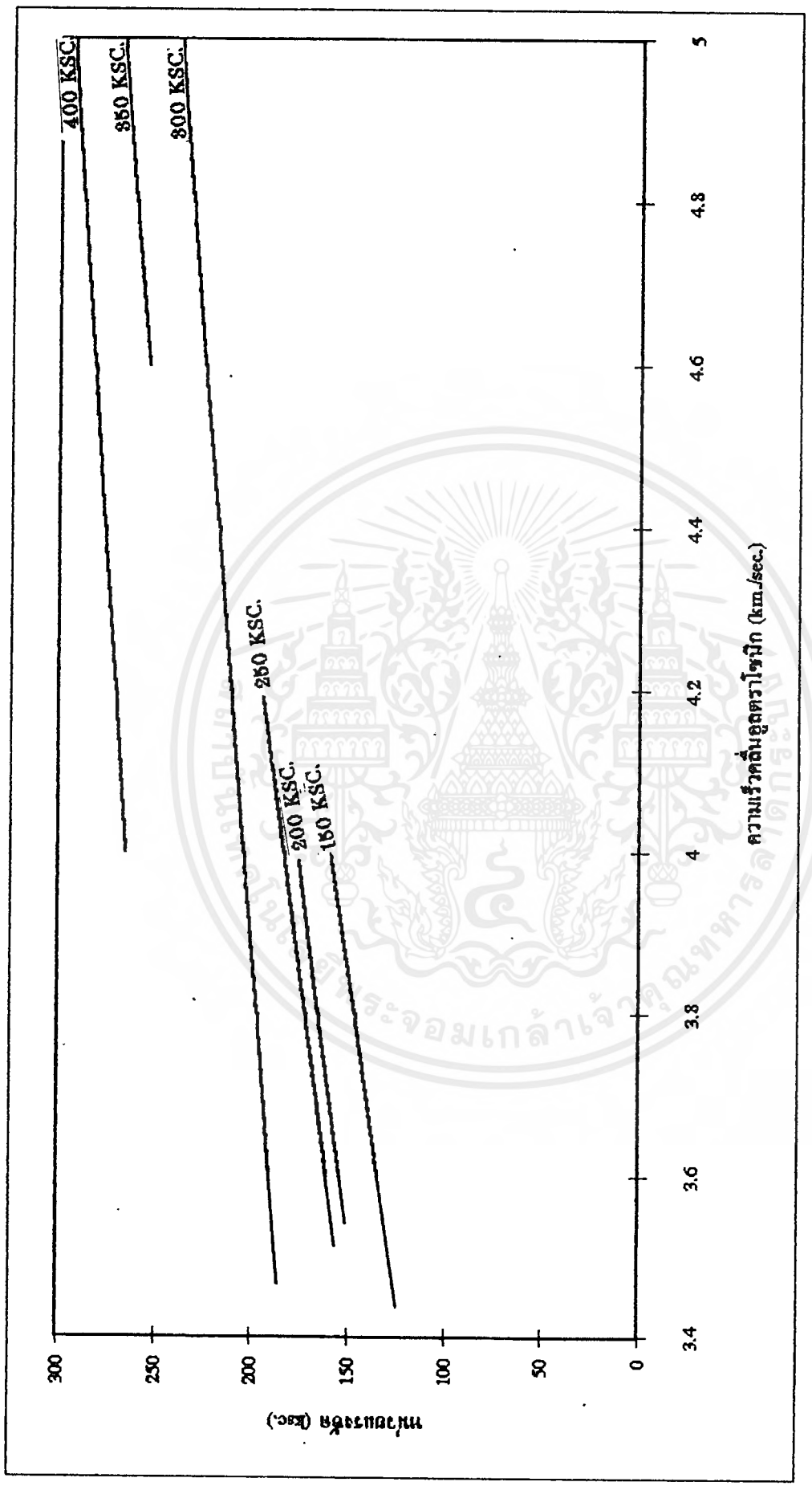
รูปที่ 3.18 การทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีตรูปลูกบาศก์ด้วยเครื่อง UTM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

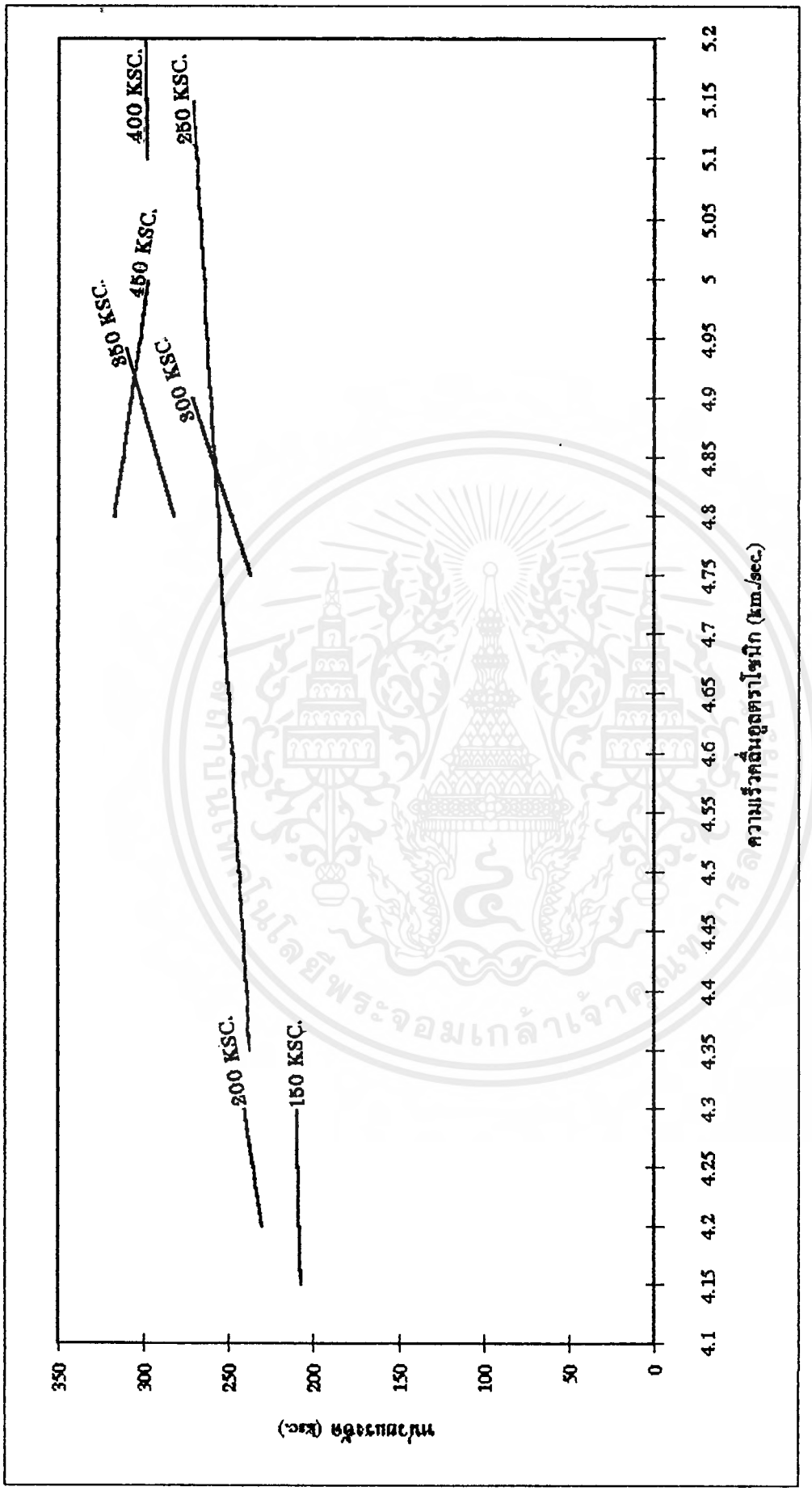
ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



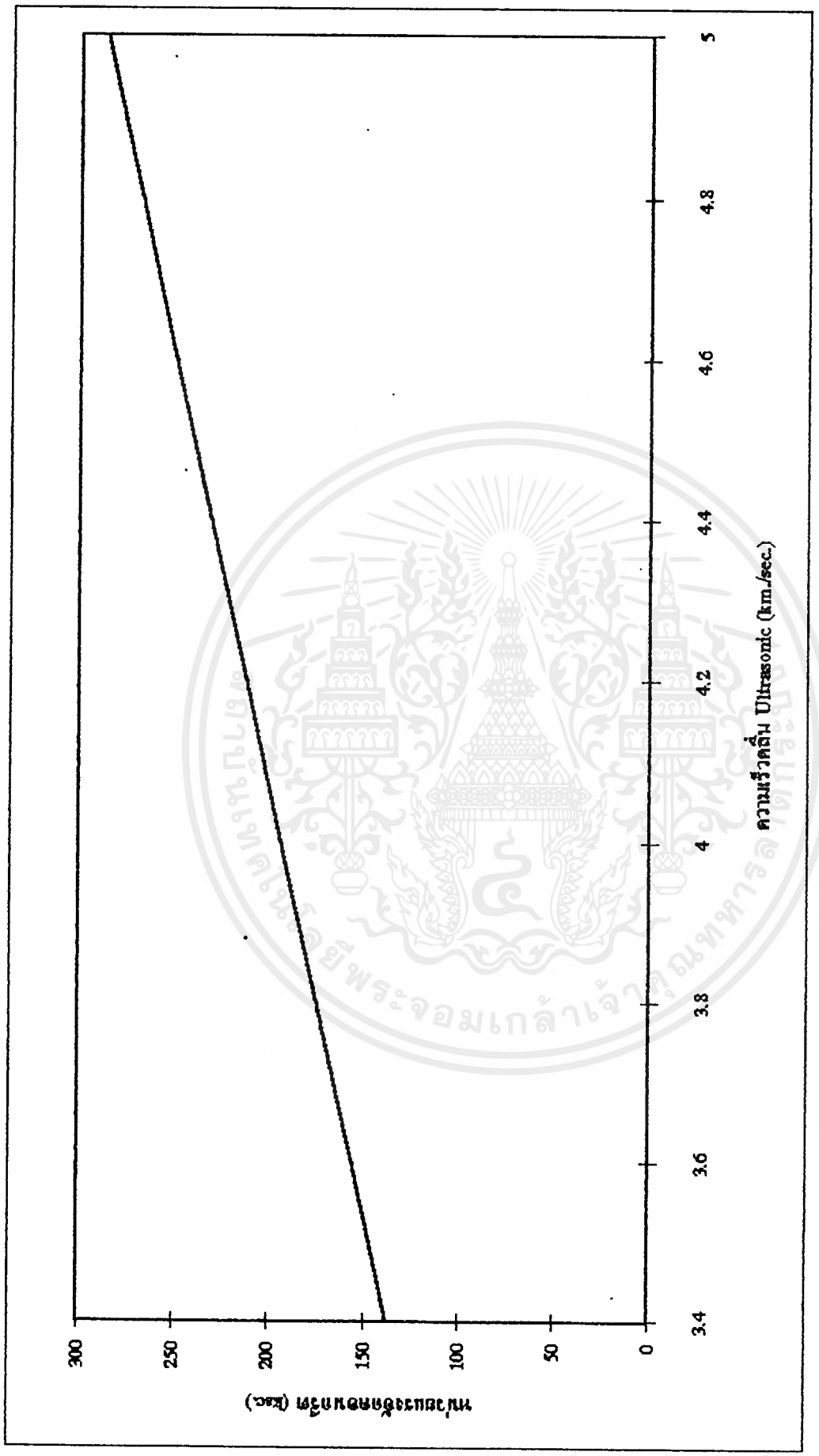
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ความเร็วคลื่น Ultrasonic กับหน่วยแรงอัดที่ทดสอบด้วย UTM ของคอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



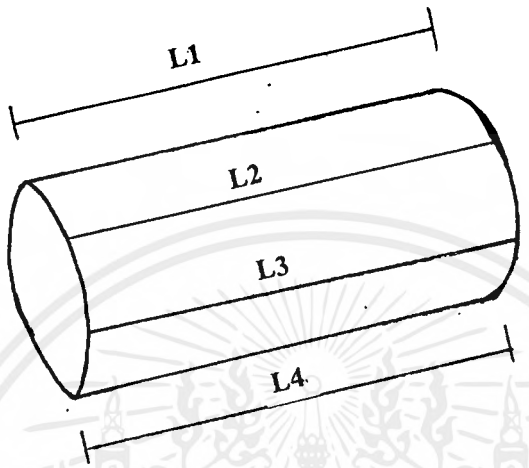
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ความเร็วคลื่น Ultrasonic กับหน่วยแรงอัดที่ทดสอบด้วย UTM ของคอนกรีตทรงลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

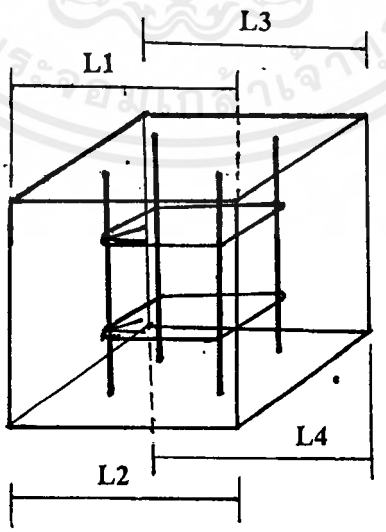


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ความเร็วคลื่น Ultrasonic กับ หน่วยแรงอัดคอนกรีต ของคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 รูปคอนกรีตรูปทรงกระบอก



รูปที่ 4.5 รูปคอนกรีตรูปลูกบาศก์ เสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 150 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.30	30.10	30.40	30.40	30.30	15.16	15.14	15.15	180.34	12.77
	2	30.20	30.20	30.10	30.20	30.18	15.00	15.13	15.07	178.32	12.71
	3	30.50	30.40	30.40	30.20	30.38	15.02	15.03	15.03	177.38	12.64
	4	30.00	30.10	30.20	30.10	30.10	15.17	15.11	15.14	180.10	12.89
	5	30.00	30.20	30.10	30.20	30.13	15.21	15.25	15.23	182.25	13.01
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.01	15.10	15.12	15.08	15.08	-	-	-	-	9.27
	2	15.21	15.18	15.15	15.10	15.16	-	-	-	-	9.35
	3	15.11	15.08	15.07	15.10	15.09	-	-	-	-	8.92
	4	15.02	15.05	15.01	15.00	15.02	-	-	-	-	9.21
	5	15.15	15.21	15.24	15.30	15.23	-	-	-	-	8.79

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 150 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	87.30	88.20	-	-	87.75	3.45				21480.00	119.11	
รูปทรงกระบอก	2	85.80	89.60	-	-	87.70	3.44				23220.00	130.21	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	87.70	90.10	-	-	88.90	3.42	3.43	126.00	141.00	21900.00	123.47	124.29
	4	86.40	87.30	-	-	86.85	3.47				21600.00	119.93	
	5	90.40	88.60	-	-	89.50	3.37				23460.00	128.73	
ลูกคอนกรีต	1	40.40	39.20	41.70	41.60	40.73	3.70				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	42.30	41.70	39.90	40.70	41.15	3.68				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	41.40	43.20	40.10	40.60	41.33	3.65	3.70	-	-	-	-	-
	4	44.00	42.20	39.70	39.60	41.38	3.63				-	-	-
	5	40.60	39.80	39.60	38.80	39.70	3.84				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 150 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	16.5	18.0	18.0	20.5	17.3	19.6	16.0	17.0	17.5	18.0	19.4	21.0	ค่าเฉลี่ย	18.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.7	-0.2	-0.2	2.3	-0.9	1.4	-2.2	-1.2	-0.7	-0.2	1.2	2.8			
	ค่าที่ใช้จริง	16.5	18.0	18.0	20.5	17.3	19.6	16.0	17.0	17.5	18.0	19.4	21.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	20.9	111.0
2	ค่า rebound	16.0	18.5	18.0	19.0	19.5	20.0	18.0	18.5	17.0	16.5	17.5	17.4	ค่าเฉลี่ย	18.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.0	0.5	0.0	1.0	1.5	2.0	0.0	0.5	-1.0	-1.5	-0.5	-0.6			
	ค่าที่ใช้จริง	16.0	18.5	18.0	19.0	19.5	20.0	18.0	18.5	17.0	16.5	17.5	17.4	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	20.7	108.0
3	ค่า rebound	15.0	18.0	17.0	16.5	17.5	17.5	18.2	20.0	19.6	15.5	17.5	16.0	ค่าเฉลี่ย	17.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.4	0.6	-0.4	-0.9	0.1	0.1	0.8	2.6	2.2	-1.9	0.1	-1.4			
	ค่าที่ใช้จริง	15.0	18.0	17.0	16.5	17.5	17.5	18.2	20.0	19.6	15.5	17.5	16.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	20.1	105.0
4	ค่า rebound	20.1	19.5	19.5	18.0	19.0	18.5	18.5	16.4	17.5	16.0	17.0	17.0	ค่าเฉลี่ย	18.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	2.0	1.4	1.4	-0.1	0.9	0.4	0.4	-1.7	-0.6	-2.1	-1.1	-1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	20.1	19.5	19.5	18.0	19.0	18.5	18.5	16.4	17.5	16.0	17.0	17.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	20.8	108.0
5	ค่า rebound	17.0	20.0	20.0	18.0	17.0	16.0	16.0	17.0	18.4	18.0	17.5	17.0	ค่าเฉลี่ย	17.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.7	2.3	2.3	0.3	-0.7	-1.7	-1.7	-0.7	0.7	0.3	-0.2	-0.7			
	ค่าที่ใช้จริง	17.0	20.0	20.0	18.0	17.0	16.0	16.0	17.0	18.4	18.0	17.5	17.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	20.4	107.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		107.8

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 150 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	15.0	15.0	16.5	14.3	15.0	15.5	16.0	14.5	15.5	16.0	16.0	17.0	ค่าเฉลี่ย	15.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.5	-0.5	1.0	-1.2	-0.5	0.0	0.5	-1.0	0.0	0.5	0.5	1.5			
	ค่าที่ใช้จริง	15.0	15.0	16.5	14.3	15.0	15.5	16.0	14.5	15.5	16.0	16.0	17.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	18.6	118.0
2	ค่า rebound	18.0	16.5	17.0	15.0	15.0	14.5	16.0	16.0	17.0	15.5	15.0	15.0	ค่าเฉลี่ย	15.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	2.1	0.6	1.1	-0.9	-0.9	-1.4	0.1	0.1	1.1	-0.4	-0.9	-0.9			
	ค่าที่ใช้จริง	18.0	16.5	17.0	15.0	15.0	14.5	16.0	16.0	17.0	15.5	15.0	15.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	19.0	119.0
3	ค่า rebound	14.0	14.5	15.0	14.0	14.0	17.5	16.0	15.0	15.0	18.0	15.5	16.0	ค่าเฉลี่ย	15.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.4	-0.9	-0.4	-1.4	-1.4	2.1	0.6	-0.4	-0.4	2.6	0.1	0.6			
	ค่าที่ใช้จริง	14.0	14.5	15.0	14.0	14.0	17.5	16.0	15.0	15.0	18.0	15.5	16.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	18.5	116.0
4	ค่า rebound	14.5	13.0	14.0	16.0	15.5	16.0	16.0	17.0	15.5	16.0	18.5	14.0	ค่าเฉลี่ย	15.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.0	-2.5	-1.5	0.5	0.0	0.5	0.5	1.5	0.0	0.5	3.0	-1.5			
	ค่าที่ใช้จริง	14.5	13.0	14.0	16.0	15.5	16.0	16.0	17.0	15.5	16.0	18.5	14.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	18.6	117.0
5	ค่า rebound	17.5	15.0	16.0	14.5	14.0	15.0	15.0	15.0	17.0	17.0	18.0	16.0	ค่าเฉลี่ย	15.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.7	-0.8	0.2	-1.3	-1.8	-0.8	-0.8	-0.8	1.2	1.2	2.2	0.2			
	ค่าที่ใช้จริง	17.5	15.0	16.0	14.5	14.0	15.0	15.0	15.0	17.0	17.0	18.0	16.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	18.9	119.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		117.8

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 150 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.20	30.00	30.30	30.10	30.15	15.14	15.10	15.12	179.63	12.89
	2	30.20	30.00	30.10	30.10	30.10	15.12	15.00	15.06	178.20	12.79
	3	30.20	30.20	30.10	30.00	30.13	15.03	15.01	15.02	177.26	12.72
	4	30.00	30.20	30.20	30.00	30.10	15.17	15.03	15.10	179.15	12.70
	5	30.30	30.20	30.40	30.20	30.28	15.20	15.37	15.29	183.57	13.03
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.01	15.10	15.12	15.08	15.08	-	-	-	-	9.27
	2	15.21	15.18	15.15	15.10	15.16	-	-	-	-	9.35
	3	15.11	15.08	15.07	15.10	15.09	-	-	-	-	8.92
	4	15.02	15.05	15.01	15.00	15.02	-	-	-	-	9.21
	5	15.15	15.21	15.24	15.30	15.23	-	-	-	-	8.79

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 150 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	81.30	80.80	-	-	81.05	3.72				24960.00	138.96	
รูปทรงกระบอก	2	81.60	82.80	-	-	82.20	3.66				23880.00	134.00	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	80.70	79.80	-	-	80.25	3.75	3.70	144.00	163.00	25320.00	142.84	137.39
	4	78.70	81.40	-	-	80.05	3.76				23340.00	130.28	
	5	83.40	83.70.	-	-	83.55	3.62				25860.00	140.87	
ลูกคอนกรีต	1	38.30	39.40	36.80	36.30	37.70	4.00				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	38.30	39.80	38.90	38.70	39.18	3.87				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	39.80	40.20	38.30	38.40	39.18	3.85	3.90	-	-	-	-	-
	4	39.60	39.40	39.80	38.70	39.38	3.81				-	-	-
	5	39.30	38.60	37.70	38.70	38.58	3.95				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 150 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ลูกคอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	19.9	18.5	22.0	19.2	21.5	22.3	20.0	22.0	22.3	23.1	22.4	25.0	ค่าเฉลี่ย	21.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.6	-3.1	0.5	-2.3	0.0	0.8	-1.5	0.5	0.8	1.6	0.9	3.5			
	ค่าที่ใช้จริง	19.9	18.5	22.0	19.2	21.5	22.3	20.0	22.0	22.3	23.1	22.4	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	20.9	138.0
2	ค่า rebound	18.0	20.0	21.0	22.0	21.2	23.5	22.8	22.0	20.2	22.0	24.0	21.0	ค่าเฉลี่ย	21.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-3.5	-1.5	-0.5	0.5	-0.3	2.0	1.3	0.5	-1.3	0.5	2.5	-0.5			
	ค่าที่ใช้จริง	18.0	20.0	21.0	22.0	21.2	23.5	22.8	22.0	20.2	22.0	24.0	21.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	20.8	137.0
3	ค่า rebound	20.4	19.0	21.8	20.0	22.3	22.2	22.5	22.0	18.0	20.2	22.0	22.0	ค่าเฉลี่ย	21.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.6	-2.0	0.8	-1.0	1.3	1.2	1.5	1.0	-3.0	-0.8	1.0	1.0			
	ค่าที่ใช้จริง	20.4	19.0	21.8	20.0	22.3	22.2	22.5	22.0	18.0	20.2	22.0	22.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	20.4	138.0
4	ค่า rebound	23.5	24.0	20.0	20.0	21.0	24.0	22.0	20.0	20.0	20.0	23.2	23.0	ค่าเฉลี่ย	21.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.8	2.3	-1.7	-1.7	-0.7	2.3	0.3	-1.7	-1.7	-1.7	1.5	1.3			
	ค่าที่ใช้จริง	23.5	24.0	20.0	20.0	21.0	24.0	22.0	20.0	20.0	20.0	23.2	23.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	21.1	139.0
5	ค่า rebound	24.0	22.2	23.4	21.0	23.0	19.8	23.0	23.0	20.6	24.0	21.0	20.0	ค่าเฉลี่ย	22.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.9	0.1	1.3	-1.1	0.9	-2.3	0.9	0.9	-1.5	1.9	-1.1	-2.1			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	22.2	23.4	21.0	23.0	19.8	23.0	23.0	20.6	24.0	21.0	20.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	21.4	142.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		137.8

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 150 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

ลูกคอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	19.0	19.0	18.0	18.5	17.8	16.0	17.5	17.5	17.0	16.5	17.0	18.0	ค่าเฉลี่ย	17.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.4	1.4	0.3	0.8	0.1	-1.7	-0.2	-0.2	-0.7	-1.2	-0.7	0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	19.0	19.0	18.0	18.5	17.8	16.0	17.5	17.5	17.0	16.5	17.0	18.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	17.1	109.0
2	ค่า rebound	16.0	17.0	16.0	16.0	17.0	19.0	18.0	18.0	17.5	18.0	19.0	18.0	ค่าเฉลี่ย	17.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.5	-0.5	-1.5	-1.5	-0.5	1.5	0.5	0.5	0.0	0.5	1.5	0.5			
	ค่าที่ใช้จริง	16.0	17.0	16.0	16.0	17.0	19.0	18.0	18.0	17.5	18.0	19.0	18.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	16.9	106.0
3	ค่า rebound	17.0	16.5	18.0	18.4	19.5	19.0	18.3	20.0	18.4	17.0	17.8	17.0	ค่าเฉลี่ย	18.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.1	-1.6	-0.1	0.3	1.4	0.9	0.2	1.9	0.3	-1.1	-0.3	-1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	17.0	16.5	18.0	18.4	19.5	19.0	18.3	20.0	18.4	17.0	17.8	17.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	17.5	116.0
4	ค่า rebound	17.0	20.0	18.5	20.0	20.0	20.0	17.5	19.0	18.0	19.0	18.0	17.0	ค่าเฉลี่ย	18.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.7	1.3	-0.2	1.3	1.3	1.3	-1.2	0.3	-0.7	0.3	-0.7	-1.7			
	ค่าที่ใช้จริง	17.0	20.0	18.5	20.0	20.0	20.0	17.5	19.0	18.0	19.0	18.0	17.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	18.1	122.0
5	ค่า rebound	19.5	18.0	19.0	18.0	16.2	19.0	18.4	17.2	16.0	16.0	17.0	18.4	ค่าเฉลี่ย	17.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.8	0.3	1.3	0.3	-1.5	1.3	0.7	-0.5	-1.7	-1.7	-0.7	0.7			
	ค่าที่ใช้จริง	19.5	18.0	19.0	18.0	16.2	19.0	18.4	17.2	16.0	16.0	17.0	18.4	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	17.2	111.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		112.8

ทดสอบลูกศอนกรีตขนาด 150 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.40	30.40	30.30	30.00	30.28	15.05	15.02	15.04	177.61	12.96
	2	30.50	30.40	30.40	30.30	30.40	15.06	15.06	15.06	178.20	13.14
	3	30.10	30.10	30.10	30.00	30.08	15.01	15.00	15.01	176.90	12.84
	4	30.30	30.40	30.20	30.00	30.23	15.02	15.00	15.01	177.02	12.98
	5	30.40	30.40	30.40	30.50	30.43	15.05	15.04	15.05	177.85	13.09
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.01	15.10	15.12	15.08	15.08	-	-	-	226.99	9.27
	2	15.21	15.18	15.15	15.10	15.16	-	-	-	228.76	9.35
	3	15.11	15.08	15.07	15.10	15.09	-	-	-	228.05	8.92
	4	15.02	15.05	15.01	15.00	15.02	-	-	-	226.01	9.21
	5	15.15	15.21	15.24	15.30	15.23	-	-	-	229.29	8.79

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 150 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	74.40	78.70	-	-	76.55	3.95				25848.60	145.53	
รูปทรงกระบอก	2	81.70	76.30	-	-	79.00	3.85				28201.20	158.25	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	78.20	78.70	-	-	78.45	3.83	3.93	154.00	184.00	27744.00	156.83	158.74
	4	72.30	81.70	-	-	77.00	3.93				30478.20	172.17	
	5	75.10	73.20	-	-	74.15	4.10				28620.00	160.92	
ลูกคอนกรีต	1	35.90	35.00	36.40	36.40	35.93	4.20				48900.00	186.88	-
รูปลูกบาศก์	2	36.90	33.80	36.70	34.30	35.43	4.28				47100.00	175.96	-
(เสริมเหล็ก)	3	35.70	35.30	36.50	34.60	35.53	4.25	4.19	200.00	-	54000.00	212.84	200.56
	4	37.20	36.50	36.50	36.40	36.65	4.10				52200.00	205.24	-
	5	36.80	37.20	37.40	35.70	36.78	4.14				55950.00	221.88	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 150 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	29.0	26.0	22.0	20.0	26.0	24.0	22.0	22.0	23.0	24.0	22.0	21.0	ค่าเฉลี่ย	23.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	5.6	2.6	-1.4	-3.4	2.6	0.6	-1.4	-1.4	-0.4	0.6	-1.4	-2.4			
	ค่าที่ใช้จริง	-	26.0	22.0	20.0	26.0	24.0	22.0	22.0	23.0	24.0	22.0	21.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	22.2	146.0
2	ค่า rebound	22.0	28.0	25.0	20.0	22.0	22.0	22.0	21.0	25.0	23.0	26.0	22.0	ค่าเฉลี่ย	23.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.2	4.8	1.8	-3.2	-1.2	-1.2	-1.2	-2.2	1.8	-0.2	2.8	-1.2			
	ค่าที่ใช้จริง	22.0	28.0	25.0	20.0	22.0	22.0	22.0	21.0	25.0	23.0	26.0	22.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	22.5	148.0
3	ค่า rebound	21.0	21.0	20.0	26.0	23.0	22.0	22.0	22.0	21.0	22.0	25.0	22.0	ค่าเฉลี่ย	22.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.3	-1.3	-2.3	3.8	0.8	-0.3	-0.3	-0.3	-1.3	-0.3	2.8	-0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	21.0	21.0	20.0	26.0	23.0	22.0	22.0	22.0	21.0	22.0	25.0	22.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	21.6	140.0
4	ค่า rebound	21.0	20.0	25.0	22.0	20.0	22.0	23.0	22.0	23.0	24.0	23.0	21.0	ค่าเฉลี่ย	22.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.2	-2.2	2.8	-0.2	-2.2	-0.2	0.8	-0.2	0.8	1.8	0.8	-1.2			
	ค่าที่ใช้จริง	21.0	20.0	25.0	22.0	20.0	22.0	23.0	22.0	23.0	24.0	23.0	21.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	21.5	139.0
5	ค่า rebound	21.0	21.0	21.0	22.0	20.0	20.0	21.0	20.0	21.0	21.0	22.0	20.0	ค่าเฉลี่ย	20.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.2	0.2	0.2	1.2	-0.8	-0.8	0.2	-0.8	0.2	0.2	1.2	-0.8			
	ค่าที่ใช้จริง	21.0	21.0	21.0	22.0	20.0	20.0	21.0	20.0	21.0	21.0	22.0	20.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	20.2	115.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		137.6

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 150 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

ก้อนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	26.0	26.0	28.0	24.0	26.0	26.0	23.0	26.0	25.0	26.0	28.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	25.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.2	0.2	2.2	-1.8	0.2	0.2	-2.8	0.2	-0.8	0.2	2.2	0.2			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	26.0	28.0	24.0	26.0	26.0	23.0	26.0	25.0	26.0	28.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.1	217.0
2	ค่า rebound	25.0	28.0	24.0	24.0	22.0	24.0	26.0	28.0	24.0	25.0	25.0	25.0	ค่าเฉลี่ย	25.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.0	3.0	-1.0	-1.0	-3.0	-1.0	1.0	3.0	-1.0	0.0	0.0	0.0			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	28.0	24.0	24.0	22.0	24.0	26.0	28.0	24.0	25.0	25.0	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	24.3	208.0
3	ค่า rebound	28.0	23.0	26.0	24.0	24.0	25.0	25.0	28.0	24.0	22.0	25.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	25.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	2.7	-2.3	0.7	-1.3	-1.3	-0.3	-0.3	2.7	-1.3	-3.3	-0.3	4.7			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	23.0	26.0	24.0	24.0	25.0	25.0	28.0	24.0	22.0	25.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	24.6	205.0
4	ค่า rebound	25.0	25.0	26.0	26.0	26.0	27.0	23.0	28.0	27.0	30.0	25.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	26.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.3	-1.3	-0.3	-0.3	-0.3	0.7	-3.3	1.7	0.7	3.7	-1.3	1.7			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	25.0	26.0	26.0	26.0	27.0	23.0	28.0	27.0	30.0	25.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.5	220.0
5	ค่า rebound	26.0	24.0	25.0	24.0	24.0	26.0	25.0	26.0	26.0	24.0	27.0	23.0	ค่าเฉลี่ย	25.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.0	-1.0	0.0	-1.0	-1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	-1.0	2.0	-2.0			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	24.0	25.0	24.0	24.0	26.0	25.0	26.0	26.0	24.0	27.0	23.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	24.8	208.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		209.6

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 200 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.50	30.20	30.10	30.30	30.28	15.13	15.09	15.11	179.39	12.76
	2	30.20	30.10	30.20	30.00	30.13	15.20	15.00	15.10	179.15	12.86
	3	30.00	30.30	30.00	30.10	30.10	15.00	15.24	15.12	179.63	12.86
	4	30.40	30.70	30.40	30.60	30.53	15.00	14.98	14.99	176.55	12.92
	5	30.20	30.30	30.20	30.00	30.18	15.14	15.08	15.11	179.39	12.99
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.40	15.35	15.41	15.42	15.40	-	-	-	-	9.46
	2	15.35	15.27	15.30	15.25	15.29	-	-	-	-	9.56
	3	15.00	15.02	15.01	15.00	15.01	-	-	-	-	8.81
	4	15.20	15.19	15.21	15.22	15.21	-	-	-	-	9.67
	5	15.22	15.16	15.23	15.20	15.20	-	-	-	-	9.50

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 200 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	89.50	80.60	-	-	85.05	3.56				28674.00	159.84	
รูปทรงกระบอก	2	78.60	78.80	-	-	78.70	3.64				28404.00	158.55	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	79.30	78.80	-	-	79.05	3.66	3.77	161.00	174.00	27600.00	153.65	156.04
	4	81.40	79.00	-	-	80.20	3.53				27240.00	154.29	
	5	75.30	80.80	-	-	78.05	3.42				27600.00	153.86	
ลูกคอนกรีต	1	41.30	41.60	43.80	41.80	42.13	3.65				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	37.70	38.20	39.30	36.30	37.88	4.04				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	41.30	42.60	40.30	39.90	41.03	3.66	3.79	-	-	-	-	-
	4	40.80	41.40	40.20	41.70	41.03	3.71				-	-	-
	5	38.60	39.60	39.40	38.60	39.05	3.89				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกกอนกรีดขนาด 200 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีดลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	19.0	21.5	25.0	26.0	26.0	23.8	26.0	24.0	24.0	24.3	24.0	22.8	ค่าเฉลี่ย	23.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-4.9	-2.4	1.1	2.1	2.1	-0.1	2.1	0.1	0.1	0.4	0.1	-1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	19.0	21.5	25.0	26.0	26.0	23.8	26.0	24.0	24.0	24.3	24.0	22.8	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.5	160.0
2	ค่า rebound	21.0	19.5	23.0	25.0	24.0	24.5	25.0	25.0	26.0	26.0	25.0	24.0	ค่าเฉลี่ย	24.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-3.0	-4.5	-1.0	1.0	0.0	0.5	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	0.0			
	ค่าที่ใช้จริง	21.0	19.5	23.0	25.0	24.0	24.5	25.0	25.0	26.0	26.0	25.0	24.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.6	161.0
3	ค่า rebound	24.0	25.0	23.0	24.0	24.0	23.0	25.0	25.8	23.0	24.0	24.0	23.0	ค่าเฉลี่ย	24.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	-1.0	1.0	1.8	-1.0	0.0	0.0	-1.0			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	25.0	23.0	24.0	24.0	23.0	25.0	25.8	23.0	24.0	24.0	23.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.6	161.0
4	ค่า rebound	23.0	24.0	22.0	22.0	23.0	23.0	23.5	25.5	26.0	22.0	25.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	23.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.8	0.3	-1.8	-1.8	-0.8	-0.8	-0.3	1.8	2.3	-1.8	1.3	2.3			
	ค่าที่ใช้จริง	23.0	24.0	22.0	22.0	23.0	23.0	23.5	25.5	26.0	22.0	25.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.3	158.0
5	ค่า rebound	24.0	26.0	24.0	23.0	26.0	26.0	26.0	26.0	23.0	24.0	23.0	24.0	ค่าเฉลี่ย	24.6	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.6	1.4	-0.6	-1.6	1.4	1.4	1.4	1.4	-1.6	-0.6	-1.6	-0.6			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	26.0	24.0	23.0	26.0	26.0	26.0	26.0	23.0	24.0	23.0	24.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.1	167.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		161.4

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 200 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	20.7	24.0	24.4	22.0	22.0	25.0	22.0	19.0	20.0	19.4	22.0	18.2	ค่าเฉลี่ย	21.6	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.9	2.4	2.8	0.4	0.4	3.4	0.4	-2.6	-1.6	-2.2	0.4	-3.4			
	ค่าที่ใช้จริง	20.7	24.0	24.4	22.0	22.0	25.0	22.0	19.0	20.0	19.4	22.0	18.2	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	24.9	158.0
2	ค่า rebound	23.0	25.0	26.0	24.2	22.0	24.0	22.2	22.1	22.3	21.0	19.0	22.0	ค่าเฉลี่ย	22.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.3	2.3	3.3	1.5	-0.7	1.3	-0.5	-0.6	-0.4	-1.7	-3.7	-0.7			
	ค่าที่ใช้จริง	23.0	25.0	26.0	24.2	22.0	24.0	22.2	22.1	22.3	21.0	19.0	22.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.1	175.0
3	ค่า rebound	19.0	22.0	22.0	20.2	23.0	21.0	19.0	22.0	21.0	18.5	20.0	21.0	ค่าเฉลี่ย	20.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.7	1.3	1.3	-0.5	2.3	0.3	-1.7	1.3	0.3	-2.2	-0.7	0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	19.0	22.0	22.0	20.2	23.0	21.0	19.0	22.0	21.0	18.5	20.0	21.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	24.1	147.0
4	ค่า rebound	23.0	21.0	24.0	22.5	22.2	20.0	20.3	22.0	24.0	21.0	23.0	20.0	ค่าเฉลี่ย	21.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.1	-0.9	2.1	0.6	0.3	-1.9	-1.6	0.1	2.1	-0.9	1.1	-1.9			
	ค่าที่ใช้จริง	23.0	21.0	24.0	22.5	22.2	20.0	20.3	22.0	24.0	21.0	23.0	20.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.3	160.0
5	ค่า rebound	22.0	21.0	21.5	20.0	22.0	20.0	21.8	23.0	24.0	20.0	25.0	22.0	ค่าเฉลี่ย	21.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.1	-0.9	-0.4	-1.9	0.1	-1.9	-0.1	1.1	2.1	-1.9	3.1	0.1			
	ค่าที่ใช้จริง	22.0	21.0	21.5	20.0	22.0	20.0	21.8	23.0	24.0	20.0	25.0	22.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.2	158.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		159.6

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 200 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.30	30.40	30.20	30.40	30.33	15.06	15.04	15.05	177.97	12.98
	2	30.50	30.40	30.30	30.30	30.38	15.03	15.02	15.03	177.38	12.90
	3	30.40	30.30	30.30	30.30	30.33	15.04	15.03	15.04	177.61	12.94
	4	30.40	30.20	30.10	30.10	30.20	15.02	15.03	15.03	177.38	13.06
	5	30.40	30.30	30.50	30.30	30.38	15.03	15.03	15.03	177.49	12.97
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.40	15.35	15.41	15.42	15.40	-	-	-	-	9.46
	2	15.35	15.27	15.30	15.25	15.29	-	-	-	-	9.56
	3	15.00	15.02	15.01	15.00	15.01	-	-	-	-	8.81
	4	15.20	15.19	15.21	15.22	15.21	-	-	-	-	9.67
	5	15.22	15.16	15.23	15.20	15.20	-	-	-	-	9.50

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 200 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	75.60	77.20	-	-	76.40	3.97				26592.00	149.42	
รูปทรงกระบอก	2	77.40	78.30	-	-	77.85	3.90				24768.00	139.64	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	78.40	73.70	-	-	76.05	3.99	3.94	174.00	188.00	29760.00	167.56	156.63
	4	77.20	74.10	-	-	75.65	3.99				27840.00	156.96	
	5	77.30	79.60	-	-	78.45	3.87				30096.00	169.56	
ลูกคอนกรีต	1	35.20	36.40	37.00	35.10	35.93	4.29				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	36.50	37.20	36.10	35.40	36.30	4.21				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	36.60	36.80	36.90	34.40	36.18	4.15	4.19	-	-	-	-	-
	4	36.50	36.80	35.90	37.10	36.58	4.16				-	-	-
	5	36.00	37.10	38.20	34.90	36.55	4.16				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 200 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	24.0	23.0	23.0	23.0	25.0	25.0	26.0	26.0	23.0	22.0	23.0	22.0	ค่าเฉลี่ย	23.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.3	-0.8	-0.8	-0.8	1.3	1.3	2.3	2.3	-0.8	-1.8	-0.8	-1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	23.0	23.0	23.0	25.0	25.0	26.0	26.0	23.0	22.0	23.0	22.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	23.0	158.0
2	ค่า rebound	23.0	24.0	28.0	24.0	27.0	24.0	27.0	20.0	23.0	22.0	23.0	22.0	ค่าเฉลี่ย	23.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.9	0.1	4.1	0.1	3.1	0.1	3.1	-3.9	-0.9	-1.9	-0.9	-1.9			
	ค่าที่ใช้จริง	23.0	24.0	28.0	24.0	27.0	24.0	27.0	20.0	23.0	22.0	23.0	22.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	23.2	160.0
3	ค่า rebound	23.0	24.0	24.0	18.0	28.0	25.0	23.0	24.0	22.0	21.0	22.0	22.0	ค่าเฉลี่ย	23.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.0	1.0	1.0	-5.0	5.0	2.0	0.0	1.0	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0			
	ค่าที่ใช้จริง	23.0	24.0	24.0	-	-	25.0	23.0	24.0	22.0	21.0	22.0	22.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	22.8	150.0
4	ค่า rebound	24.0	25.0	30.0	25.0	28.0	23.0	25.0	28.0	25.0	20.0	20.0	23.0	ค่าเฉลี่ย	24.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.7	0.3	5.3	0.3	3.3	-1.7	0.3	3.3	0.3	-4.7	-4.7	-1.7			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	25.0	-	25.0	28.0	23.0	25.0	28.0	25.0	20.0	20.0	23.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	23.5	162.0
5	ค่า rebound	24.0	28.0	29.0	19.0	29.0	23.0	26.0	24.0	23.0	25.0	18.0	20.0	ค่าเฉลี่ย	24.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.0	4.0	5.0	-5.0	5.0	-1.0	2.0	0.0	-1.0	1.0	-6.0	-4.0			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	28.0	-	-	-	23.0	26.0	24.0	23.0	25.0	-	20.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	23.4	161.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		158.2

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีดขนาด 200 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

ลูกคอนกรีดลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	20.0	21.0	22.0	22.0	15.0	18.0	18.0	19.0	20.0	19.0	26.0	20.0	ค่าเฉลี่ย	20.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.0	1.0	2.0	2.0	-5.0	-2.0	-2.0	-1.0	0.0	-1.0	6.0	0.0			
	ค่าที่ใช้จริง	20.0	21.0	22.0	22.0	-	18.0	18.0	19.0	20.0	19.0	-	20.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	19.3	137.0
2	ค่า rebound	17.0	18.0	19.0	20.0	20.0	23.0	21.0	19.0	20.0	21.0	22.0	20.0	ค่าเฉลี่ย	20.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	0.0	3.0	1.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	0.0			
	ค่าที่ใช้จริง	17.0	18.0	19.0	20.0	20.0	23.0	21.0	19.0	20.0	21.0	22.0	20.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	19.4	139.0
3	ค่า rebound	20.0	21.0	16.0	21.0	21.0	21.0	22.0	26.0	27.0	20.0	18.0	15.0	ค่าเฉลี่ย	20.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.7	0.3	-4.7	0.3	0.3	0.3	1.3	5.3	6.3	-0.7	-2.7	-5.7			
	ค่าที่ใช้จริง	20.0	21.0	16.0	21.0	21.0	21.0	22.0	-	-	20.0	18.0	-	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	19.4	139.0
4	ค่า rebound	21.0	20.0	21.0	22.0	23.0	18.0	21.0	21.0	24.0	25.0	21.0	17.0	ค่าเฉลี่ย	21.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.2	-1.2	-0.2	0.8	1.8	-3.2	-0.2	-0.2	2.8	3.8	-0.2	-4.2			
	ค่าที่ใช้จริง	21.0	20.0	21.0	22.0	23.0	18.0	21.0	21.0	24.0	25.0	21.0	17.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	20.5	150.0
5	ค่า rebound	20.0	21.0	15.0	21.0	20.0	20.0	28.0	22.0	22.0	21.0	20.0	15.0	ค่าเฉลี่ย	20.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.4	0.6	-5.4	0.6	-0.4	-0.4	7.6	1.6	1.6	0.6	-0.4	-5.4			
	ค่าที่ใช้จริง	20.0	21.0	-	21.0	20.0	20.0	-	22.0	22.0	21.0	20.0	-	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	20.2	148.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		142.6

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 200 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.50	30.30	30.40	30.10	30.33	15.13	15.19	15.16	180.58	12.67
	2	30.20	30.10	30.10	30.00	30.10	15.20	15.00	15.10	179.15	12.68
	3	30.00	30.30	30.20	30.30	30.20	15.00	15.24	15.12	179.63	12.98
	4	30.40	30.50	30.60	30.50	30.50	15.00	15.20	15.10	179.15	13.05
	5	30.20	30.00	30.10	30.30	30.15	15.15	15.10	15.13	179.74	13.09
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.40	15.35	15.41	15.42	15.40	-	-	-	231.77	9.46
	2	15.35	15.27	15.30	15.25	15.29	-	-	-	230.78	9.56
	3	15.00	15.02	15.01	15.00	15.01	-	-	-	226.80	8.81
	4	15.20	15.19	15.21	15.22	15.21	-	-	-	228.80	9.67
	5	15.22	15.16	15.23	15.20	15.20	-	-	-	228.95	9.50

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 200 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	69.60	70.20	-	-	69.90	4.34				34782.00	192.62	
รูปทรงกระบอก	2	73.60	71.70	-	-	72.65	4.14				35445.00	197.85	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	72.20	74.40	-	-	73.30	4.12	4.16	185.00	208.00	34980.00	194.74	197.62
	4	73.70	74.20	-	-	73.95	4.12				37848.00	211.26	
	5	75.40	72.20	-	-	73.80	4.09				34444.80	191.63	
ลูกคอนกรีต	1	36.20	36.00	36.10	36.50	36.20	4.25				55350.00	216.34	
รูปลูกบาศก์	2	36.10	35.00	35.50	36.40	35.75	4.28				58200.00	232.11	
(เสริมเหล็ก)	3	35.40	35.40	35.80	35.70	35.58	4.22	4.24	230.00	-	52800.00	207.69	235.25
	4	36.20	35.10	35.70	36.50	35.88	4.24				67500.00	282.95	
	5	35.40	35.10	36.40	36.80	35.93	4.23				58800.00	237.15	

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 200 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	24.0	24.0	26.0	27.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	27.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	26.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.0	-2.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	24.0	26.0	27.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	27.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.2	183.0
2	ค่า rebound	28.0	27.0	30.0	28.0	29.0	27.0	27.0	28.0	29.0	29.0	27.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	28.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.1	-1.1	1.9	-0.1	0.9	-1.1	-1.1	-0.1	0.9	0.9	-1.1	-0.1			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	27.0	30.0	28.0	29.0	27.0	27.0	28.0	29.0	29.0	27.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.2	217.0
3	ค่า rebound	28.0	29.0	29.0	28.0	32.0	32.0	31.0	28.0	32.0	28.0	28.0	25.0	ค่าเฉลี่ย	29.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.2	-0.2	-0.2	-1.2	2.8	2.8	1.8	-1.2	2.8	-1.2	-1.2	-4.2			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	29.0	29.0	28.0	32.0	32.0	31.0	28.0	32.0	28.0	28.0	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.8	226.0
4	ค่า rebound	28.0	28.0	25.0	32.0	29.0	27.0	25.0	25.0	31.0	25.0	26.0	27.0	ค่าเฉลี่ย	27.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.7	0.7	-2.3	4.7	1.7	-0.3	-2.3	-2.3	3.7	-2.3	-1.3	-0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	28.0	25.0	32.0	29.0	27.0	25.0	25.0	31.0	25.0	26.0	27.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.5	200.0
5	ค่า rebound	29.0	28.0	32.0	30.0	31.0	30.0	31.0	28.0	30.0	27.0	32.0	29.0	ค่าเฉลี่ย	29.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.8	-1.8	2.3	0.3	1.3	0.3	1.3	-1.8	0.3	-2.8	2.3	-0.8			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	28.0	32.0	30.0	31.0	30.0	31.0	28.0	30.0	27.0	32.0	29.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.9	231.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		211.4

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 200 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	23.0	24.0	24.0	24.0	26.0	24.0	26.0	24.0	28.0	25.0	24.0	23.0	ค่าเฉลี่ย	24.6	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.6	-0.6	-0.6	-0.6	1.4	-0.6	1.4	-0.6	3.4	0.4	-0.6	-1.6			
	ค่าที่ใช้จริง	23.0	24.0	24.0	24.0	26.0	24.0	26.0	24.0	28.0	25.0	24.0	23.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	23.8	197.0
2	ค่า rebound	24.0	23.0	24.0	23.0	30.0	25.0	28.0	25.0	26.0	26.0	27.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	25.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.9	-2.9	-1.9	-2.9	4.1	-0.9	2.1	-0.9	0.1	0.1	1.1	4.1			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	23.0	24.0	23.0	30.0	25.0	28.0	25.0	26.0	26.0	27.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.1	218.0
3	ค่า rebound	22.0	24.0	24.0	22.0	23.0	24.0	25.0	25.0	24.0	24.0	26.0	23.0	ค่าเฉลี่ย	23.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.8	0.2	0.2	-1.8	-0.8	0.2	1.2	1.2	0.2	0.2	2.2	-0.8			
	ค่าที่ใช้จริง	22.0	24.0	24.0	22.0	23.0	24.0	25.0	25.0	24.0	24.0	26.0	23.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	23.1	188.0
4	ค่า rebound	26.0	26.0	24.0	24.0	23.0	25.0	24.0	24.0	24.0	24.0	25.0	23.0	ค่าเฉลี่ย	24.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.7	1.7	-0.3	-0.3	-1.3	0.7	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	0.7	-1.3			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	26.0	24.0	24.0	23.0	25.0	24.0	24.0	24.0	24.0	25.0	23.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	23.6	192.0
5	ค่า rebound	23.0	25.0	24.0	23.0	25.0	28.0	27.0	24.0	23.0	24.0	26.0	24.0	ค่าเฉลี่ย	24.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.7	0.3	-0.7	-1.7	0.3	3.3	2.3	-0.7	-1.7	-0.7	1.3	-0.7			
	ค่าที่ใช้จริง	23.0	25.0	24.0	23.0	25.0	28.0	27.0	24.0	23.0	24.0	26.0	24.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	23.9	196.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		198.2

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 250 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.20	30.30	30.10	30.40	30.25	15.04	15.03	15.04	177.61	12.98
	2	30.30	30.30	30.20	30.40	30.30	15.03	15.02	15.03	177.38	12.99
	3	30.20	30.10	30.10	30.30	30.18	15.01	15.02	15.02	177.14	13.01
	4	30.40	30.40	30.50	30.40	30.43	15.03	15.01	15.02	177.26	13.01
	5	30.30	30.30	30.30	30.20	30.28	15.10	15.12	15.11	179.39	13.01
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.27	15.30	15.30	15.27	15.29	-	-	-	-	9.23
	2	15.47	15.50	15.46	15.39	15.46	-	-	-	-	9.15
	3	15.04	15.17	15.00	15.10	15.08	-	-	-	-	8.94
	4	15.42	15.45	15.47	15.50	15.46	-	-	-	-	9.03
	5	15.24	15.21	15.21	15.22	15.22	-	-	-	-	8.98

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 250 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	85.10	88.60	-	-	86.85	3.48				28980.00	163.16	
รูปทรงกระบอก	2	76.80	74.20	-	-	75.50	4.01				29973.60	168.98	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	88.70	87.60	-	-	88.15	3.42	3.76	171.00	175.00	29491.20	166.49	166.73
	4	77.10	80.20	-	-	78.65	3.87				28020.00	158.08	
	5	75.30	75.20	-	-	75.25	4.02				31737.60	176.92	
ลูกคอนกรีต	1	37.40	38.30	36.20	37.10	37.25	4.10				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	35.70	36.20	37.20	33.30	35.60	4.34				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	39.70	39.10	38.40	40.10	39.33	3.83	4.14	-	-	-	-	-
	4	37.80	37.20	39.30	35.70	37.50	4.12				-	-	-
	5	36.20	34.80	35.30	36.10	35.60	4.28				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 250 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	26.0	25.0	27.0	27.0	27.0	25.0	26.0	25.0	22.0	28.0	29.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	26.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.1	-1.1	0.9	0.9	0.9	-1.1	-0.1	-1.1	-4.1	1.9	2.9	-0.1			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	25.0	27.0	27.0	27.0	25.0	26.0	25.0	22.0	28.0	29.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.5	185.0
2	ค่า rebound	25.0	26.0	26.0	26.0	25.0	25.0	25.0	25.0	24.0	23.0	27.0	25.0	ค่าเฉลี่ย	25.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.2	0.8	0.8	0.8	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-1.2	-2.2	1.8	-0.2			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	26.0	26.0	26.0	25.0	25.0	25.0	25.0	24.0	23.0	27.0	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.6	176.0
3	ค่า rebound	25.0	25.0	25.0	25.0	26.0	26.0	27.0	26.0	25.0	24.0	25.0	24.0	ค่าเฉลี่ย	25.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	0.8	0.8	1.8	0.8	-0.3	-1.3	-0.3	-1.3			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	25.0	25.0	25.0	26.0	26.0	27.0	26.0	25.0	24.0	25.0	24.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.6	177.0
4	ค่า rebound	26.0	26.0	25.0	26.0	28.0	25.0	25.0	25.0	24.0	26.0	26.0	22.0	ค่าเฉลี่ย	25.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.7	0.7	-0.3	0.7	2.7	-0.3	-0.3	-0.3	-1.3	0.7	0.7	-3.3			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	26.0	25.0	26.0	28.0	25.0	25.0	25.0	24.0	26.0	26.0	22.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.8	179.0
5	ค่า rebound	27.0	27.0	25.0	27.0	26.0	25.0	26.0	26.0	28.0	24.0	27.0	25.0	ค่าเฉลี่ย	26.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.9	0.9	-1.1	0.9	-0.1	-1.1	-0.1	-0.1	1.9	-2.1	0.9	-1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	27.0	25.0	27.0	26.0	25.0	26.0	26.0	28.0	24.0	27.0	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.5	185.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		180.4

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 250 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	19.0	20.0	20.0	19.0	22.0	21.0	23.0	19.0	18.0	17.0	23.0	19.0	ค่าเฉลี่ย	20.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.0	0.0	0.0	-1.0	2.0	1.0	3.0	-1.0	-2.0	-3.0	3.0	-1.0			
	ค่าที่ใช้จริง	19.0	20.0	20.0	19.0	22.0	21.0	23.0	19.0	18.0	17.0	23.0	19.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	23.4	136.0
2	ค่า rebound	25.0	23.0	22.0	26.0	23.0	24.0	25.0	24.0	24.0	23.0	25.0	22.0	ค่าเฉลี่ย	23.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.2	-0.8	-1.8	2.2	-0.8	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.8	1.2	-1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	23.0	22.0	26.0	23.0	24.0	25.0	24.0	24.0	23.0	25.0	22.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.1	187.0
3	ค่า rebound	24.0	22.0	24.0	23.0	25.0	21.0	22.0	20.0	21.0	25.0	25.0	20.0	ค่าเฉลี่ย	22.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.3	-0.7	1.3	0.3	2.3	-1.7	-0.7	-2.7	-1.7	2.3	2.3	-2.7			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	22.0	24.0	23.0	25.0	21.0	22.0	20.0	21.0	25.0	25.0	20.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.0	172.0
4	ค่า rebound	24.0	22.0	21.0	23.0	24.0	22.0	25.0	24.0	23.0	22.0	23.0	20.0	ค่าเฉลี่ย	22.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.3	-0.8	-1.8	0.3	1.3	-0.8	2.3	1.3	0.3	-0.8	0.3	-2.8			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	22.0	21.0	23.0	24.0	22.0	25.0	24.0	23.0	22.0	23.0	20.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.1	178.0
5	ค่า rebound	24.0	22.0	24.0	23.0	28.0	24.0	27.0	25.0	23.0	23.0	23.0	21.0	ค่าเฉลี่ย	23.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.1	-1.9	0.1	-0.9	4.1	0.1	3.1	1.1	-0.9	-0.9	-0.9	-2.9			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	22.0	24.0	23.0	28.0	24.0	27.0	25.0	23.0	23.0	23.0	21.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.2	189.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		171.4

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 250 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.40	30.20	30.30	30.40	30.33	15.08	15.06	15.07	178.44	12.98
	2	30.30	30.30	30.40	30.50	30.38	15.09	15.10	15.10	179.03	12.91
	3	30.20	30.30	30.30	30.20	30.25	15.06	15.04	15.05	177.97	12.92
	4	30.40	30.20	30.30	30.50	30.35	15.02	15.04	15.03	177.49	13.06
	5	30.30	30.20	30.30	30.30	30.28	15.02	15.03	15.03	177.38	12.87
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.27	15.30	15.30	15.27	15.29	-	-	-	-	9.23
	2	15.47	15.50	15.46	15.39	15.46	-	-	-	-	9.15
	3	15.04	15.17	15.00	15.10	15.08	-	-	-	-	8.94
	4	15.42	15.45	15.47	15.50	15.46	-	-	-	-	9.03
	5	15.24	15.21	15.21	15.22	15.22	-	-	-	-	8.98

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 250 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	70.10	72.30	-	-	71.20	4.26				37080.00	207.80	
รูปทรงกระบอก	2	73.20	72.50	-	-	72.85	4.17				31380.00	175.28	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	70.30	72.10	-	-	71.20	4.25	4.24	194.00	220.00	31140.00	174.98	191.28
	4	70.70	71.40	-	-	71.05	4.27				34200.00	192.68	
	5	70.60	72.10	-	-	71.35	4.24				36480.00	205.67	
ลูกคอนกรีต	1	33.00	35.10	31.60	32.90	33.15	4.61				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	34.20	34.80	35.10	34.30	34.60	4.47				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	34.10	31.60	34.80	34.90	33.85	4.45	4.52	-	-	-	-	-
	4	33.70	34.10	33.20	35.10	34.03	4.54				-	-	-
	5	33.50	37.90	30.70	32.90	33.75	4.51				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกหอนกรีตขนาด 250 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	26.0	28.0	27.0	25.0	27.0	27.0	25.0	27.0	25.0	26.0	26.0	24.0	ค่าเฉลี่ย	26.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.1	1.9	0.9	-1.1	0.9	0.9	-1.1	0.9	-1.1	-0.1	-0.1	-2.1			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	28.0	27.0	25.0	27.0	27.0	25.0	27.0	25.0	26.0	26.0	24.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.8	185.0
2	ค่า rebound	25.0	26.0	26.0	27.0	24.0	31.0	25.0	27.0	25.0	23.0	19.0	24.0	ค่าเฉลี่ย	25.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.2	0.8	0.8	1.8	-1.2	5.8	-0.2	1.8	-0.2	-2.2	-6.2	-1.2			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	26.0	26.0	27.0	24.0	-	25.0	27.0	25.0	23.0	-	24.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	24.4	177.0
3	ค่า rebound	25.0	29.0	24.0	25.0	24.0	25.0	26.0	26.0	25.0	26.0	24.0	21.0	ค่าเฉลี่ย	25.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.0	4.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	-1.0	-4.0			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	29.0	24.0	25.0	24.0	25.0	26.0	26.0	25.0	26.0	24.0	21.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	24.8	175.0
4	ค่า rebound	27.0	29.0	30.0	31.0	26.0	28.0	25.0	29.0	27.0	26.0	24.0	23.0	ค่าเฉลี่ย	27.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.1	1.9	2.9	3.9	-1.1	0.9	-2.1	1.9	-0.1	-1.1	-3.1	-4.1			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	29.0	30.0	31.0	26.0	28.0	25.0	29.0	27.0	26.0	24.0	23.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.8	200.0
5	ค่า rebound	26.0	30.0	27.0	28.0	26.0	27.0	22.0	26.0	26.0	25.0	24.0	25.0	ค่าเฉลี่ย	26.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.0	4.0	1.0	2.0	0.0	1.0	-4.0	0.0	0.0	-1.0	-2.0	-1.0			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	30.0	27.0	28.0	26.0	27.0	22.0	26.0	26.0	25.0	24.0	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.2	188.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		184.0

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 250 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

ก้อนกรีตลูกที่	ชุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	22.0	23.0	24.0	25.0	21.0	17.0	25.0	25.0	19.0	21.0	23.0	27.0	ค่าเฉลี่ย	22.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.7	0.3	1.3	2.3	-1.7	-5.7	2.3	2.3	-3.7	-1.7	0.3	4.3			
	ค่าที่ใช้จริง	22.0	23.0	24.0	25.0	21.0	-	25.0	25.0	19.0	21.0	23.0	27.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	22.5	178.0
2	ค่า rebound	23.0	22.0	21.0	22.0	22.0	24.0	24.0	25.0	23.0	23.0	25.0	22.0	ค่าเฉลี่ย	23.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.0	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	2.0	0.0	0.0	2.0	-1.0			
	ค่าที่ใช้จริง	23.0	22.0	21.0	22.0	22.0	24.0	24.0	25.0	23.0	23.0	25.0	22.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	22.8	176.0
3	ค่า rebound	23.0	27.0	24.0	24.0	22.0	24.0	22.0	24.0	23.0	22.0	25.0	19.0	ค่าเฉลี่ย	23.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.3	3.8	0.8	0.8	-1.3	0.8	-1.3	0.8	-0.3	-1.3	1.8	-4.3			
	ค่าที่ใช้จริง	23.0	27.0	24.0	24.0	22.0	24.0	22.0	24.0	23.0	22.0	25.0	19.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	22.6	180.0
4	ค่า rebound	24.0	25.0	23.0	23.0	24.0	22.0	23.0	23.0	25.0	22.0	27.0	23.0	ค่าเฉลี่ย	23.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.3	1.3	-0.7	-0.7	0.3	-1.7	-0.7	-0.7	1.3	-1.7	3.3	-0.7			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	25.0	23.0	23.0	24.0	22.0	23.0	23.0	25.0	22.0	27.0	23.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	23.0	187.0
5	ค่า rebound	23.0	21.0	24.0	23.0	23.0	28.0	27.0	23.0	23.0	22.0	22.0	20.0	ค่าเฉลี่ย	23.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.3	-2.3	0.8	-0.3	-0.3	4.8	3.8	-0.3	-0.3	-1.3	-1.3	-3.3			
	ค่าที่ใช้จริง	23.0	21.0	24.0	23.0	23.0	28.0	27.0	23.0	23.0	22.0	22.0	20.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	22.6	180.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		180.2

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 250 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.40	30.30	30.60	30.50	30.45	14.60	15.10	14.85	173.27	13.23
	2	30.60	30.50	30.50	30.40	30.50	15.20	15.02	15.11	179.39	13.01
	3	30.30	30.20	30.30	30.40	30.30	15.04	15.05	15.05	177.85	13.11
	4	30.30	30.30	30.30	30.40	30.33	15.01	14.96	14.99	176.44	12.95
	5	30.50	30.40	30.30	30.30	30.38	15.06	15.12	15.09	178.91	13.05
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.27	15.30	15.30	15.27	15.29	-	-	-	230.12	9.23
	2	15.47	15.50	15.46	15.39	15.46	-	-	-	233.22	9.15
	3	15.04	15.17	15.00	15.10	15.08	-	-	-	227.86	8.94
	4	15.42	15.45	15.47	15.50	15.46	-	-	-	232.63	9.03
	5	15.24	15.21	15.21	15.22	15.22	-	-	-	229.21	8.98

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 250 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	66.20	68.70	-	-	67.45	4.51				44061.00	254.29	
รูปทรงกระบอก	2	68.70	67.80	-	-	68.25	4.47				33480.00	186.63	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	71.20	69.60	-	-	70.40	4.30	4.37	209.00	230.00	33240.00	186.90	212.45
	4	68.20	73.40	-	-	70.80	4.28				40440.00	229.19	
	5	71.40	71.20	-	-	71.30	4.26				36720.00	205.24	
ลูกคอนกรีต	1	29.30	31.00	32.00	30.00	30.58	5.00				67800.00	282.86	
รูปลูกบาศก์	2	33.80	33.20	32.70	31.80	32.88	4.70				50700.00	191.06	
(เสริมเหล็ก)	3	30.70	28.00	28.80	29.60	29.28	5.15	4.79	252.00	-	65700.00	274.66	256.40
	4	35.00	36.50	37.10	33.40	35.50	4.35				64050.00	260.40	
	5	32.60	31.50	31.30	32.30	31.93	4.77				65700.00	273.00	

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 250 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ตอนกรีตลูกที่	ชุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	32.0	30.0	30.0	28.0	30.0	30.0	31.0	29.0	32.0	28.0	30.0	31.0	ค่าเฉลี่ย	30.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.9	-0.1	-0.1	-2.1	-0.1	-0.1	0.9	-1.1	1.9	-2.1	-0.1	0.9			
	ค่าที่ใช้จริง	32.0	30.0	30.0	28.0	30.0	30.0	31.0	29.0	32.0	28.0	30.0	31.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.2	238.0
2	ค่า rebound	28.0	27.0	32.0	30.0	28.0	27.0	34.0	31.0	32.0	30.0	34.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	30.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.3	-3.3	1.8	-0.3	-2.3	-3.3	3.8	0.8	1.8	-0.3	3.8	-0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	27.0	32.0	30.0	28.0	27.0	34.0	31.0	32.0	30.0	34.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.3	240.0
3	ค่า rebound	27.0	31.0	35.0	28.0	33.0	30.0	28.0	28.0	32.0	28.0	30.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	29.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.8	1.2	5.2	-1.8	3.2	0.2	-1.8	-1.8	2.2	-1.8	0.2	-1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	31.0	-	28.0	33.0	30.0	28.0	28.0	32.0	28.0	30.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.5	226.0
4	ค่า rebound	26.0	28.0	26.0	28.0	30.0	26.0	29.0	32.0	33.0	29.0	29.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	28.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.8	-0.8	-2.8	-0.8	1.2	-2.8	0.2	3.2	4.2	0.2	0.2	1.2			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	28.0	26.0	28.0	30.0	26.0	29.0	32.0	33.0	29.0	29.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.0	220.0
5	ค่า rebound	29.0	27.0	30.0	26.0	30.0	28.0	28.0	28.0	28.0	27.0	28.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	28.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.9	-1.1	1.9	-2.1	1.9	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-1.1	-0.1	-0.1			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	27.0	30.0	26.0	30.0	28.0	28.0	28.0	28.0	27.0	28.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.2	212.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		227.2

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 250 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

คอนกรีตลูกที่	ชุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	32.0	27.0	29.0	24.0	27.0	29.0	32.0	28.0	27.0	32.0	29.0	29.0	ค่าเฉลี่ย	28.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	3.3	-1.8	0.3	-4.8	-1.8	0.3	3.3	-0.8	-1.8	3.3	0.3	0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	32.0	27.0	29.0	24.0	27.0	29.0	32.0	28.0	27.0	32.0	29.0	29.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.9	259.0
2	ค่า rebound	28.0	27.0	27.0	26.0	26.0	28.0	27.0	27.0	26.0	28.0	30.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	27.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.8	-0.2	-0.2	-1.2	-1.2	0.8	-0.2	-0.2	-1.2	0.8	2.8	-1.2			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	27.0	27.0	26.0	26.0	28.0	27.0	27.0	26.0	28.0	30.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.4	235.0
3	ค่า rebound	27.0	32.0	35.0	30.0	28.0	30.0	32.0	29.0	28.0	32.0	29.0	29.0	ค่าเฉลี่ย	30.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-3.1	1.9	4.9	-0.1	-2.1	-0.1	1.9	-1.1	-2.1	1.9	-1.1	-1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	32.0	35.0	30.0	28.0	30.0	32.0	29.0	28.0	32.0	29.0	29.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.2	280.0
4	ค่า rebound	26.0	32.0	29.0	28.0	31.0	28.0	29.0	28.0	27.0	32.0	28.0	27.0	ค่าเฉลี่ย	28.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.8	3.3	0.3	-0.8	2.3	-0.8	0.3	-0.8	-1.8	3.3	-0.8	-1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	32.0	29.0	28.0	31.0	28.0	29.0	28.0	27.0	32.0	28.0	27.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.9	159.0
5	ค่า rebound	26.0	29.0	29.0	28.0	26.0	32.0	29.0	29.0	28.0	28.0	27.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	28.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.1	0.9	0.9	-0.1	-2.1	3.9	0.9	0.9	-0.1	-0.1	-1.1	-2.1			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	29.0	29.0	28.0	26.0	32.0	29.0	29.0	28.0	28.0	27.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.2	244.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		235.4

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 300 ksc.

อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย (cm.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	น้ำหนัก (kg.)
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2			
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.50	30.50	30.50	30.30	30.45	15.06	15.04	15.05	177.97	12.99
	2	30.30	30.30	30.20	30.30	30.28	15.04	15.02	15.03	177.49	13.01
	3	30.20	30.30	30.20	30.20	30.23	15.00	15.04	15.02	177.26	13.00
	4	30.40	30.30	30.20	30.20	30.28	15.06	15.06	15.06	178.20	13.01
	5	30.00	30.00	30.40	30.40	30.20	15.00	15.00	15.00	176.79	12.89
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.02	15.02	15.03	15.00	15.02	-	-	-	-	9.35
	2	15.03	15.01	15.02	15.02	15.02	-	-	-	-	9.14
	3	15.00	15.00	15.00	15.04	15.01	-	-	-	-	8.77
	4	15.01	15.04	15.00	15.00	15.01	-	-	-	-	9.03
	5	15.07	15.02	15.02	15.05	15.04	-	-	-	-	9.11

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 300 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	88.50	88.50	-	-	88.50	3.44				35040.00	196.89	
รูปทรงกระบอก	2	75.40	73.50	-	-	74.45	4.07				37200.00	209.59	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	87.50	86.70	-	-	87.10	3.47	3.81	198.00	178.00	36780.00	207.49	198.24
	4	84.70	68.90	-	-	76.80	3.94				33840.00	189.90	
	5	75.20	71.40	-	-	73.30	4.12				33120.00	187.35	
ลูกคอนกรีต	1	36.00	37.70	34.00	34.90	35.65	4.21				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	35.80	35.60	36.90	30.00	34.58	4.34				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	43.50	35.30	38.50	37.00	38.58	3.89	4.34	-	-	-	-	-
	4	37.00	35.50	30.20	30.50	33.30	4.51				-	-	-
	5	32.70	30.80	30.50	32.30	31.58	4.76				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 300 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	ชุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	29.0	29.0	29.0	31.0	31.0	28.0	34.0	30.0	28.0	28.0	28.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	29.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.4	-0.4	-0.4	1.6	1.6	-1.4	4.6	0.6	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	29.0	29.0	31.0	31.0	28.0	34.0	30.0	28.0	28.0	28.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	31.7	228.0
2	ค่า rebound	28.0	28.0	28.0	28.0	26.0	30.0	28.0	27.0	28.0	27.0	27.0	27.0	ค่าเฉลี่ย	27.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.3	0.3	0.3	0.3	-1.7	2.3	0.3	-0.7	0.3	-0.7	-0.7	-0.7			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	28.0	28.0	28.0	26.0	30.0	28.0	27.0	28.0	27.0	27.0	27.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	30.0	207.0
3	ค่า rebound	27.0	27.0	26.0	27.0	26.0	25.0	25.0	24.0	28.0	26.0	30.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	26.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.6	0.6	-0.4	0.6	-0.4	-1.4	-1.4	-2.4	1.6	-0.4	3.6	-0.4			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	27.0	26.0	27.0	26.0	25.0	25.0	24.0	28.0	26.0	30.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.8	190.0
4	ค่า rebound	27.0	28.0	30.0	30.0	28.0	27.0	29.0	27.0	27.0	27.0	28.0	27.0	ค่าเฉลี่ย	27.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.9	0.1	2.1	2.1	0.1	-0.9	1.1	-0.9	-0.9	-0.9	0.1	-0.9			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	28.0	30.0	30.0	28.0	27.0	29.0	27.0	27.0	27.0	28.0	27.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	30.3	213.0
5	ค่า rebound	26.0	26.0	28.0	28.0	32.0	25.0	25.0	25.0	26.0	31.0	28.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	27.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.3	-1.3	0.7	0.7	4.7	-2.3	-2.3	-2.3	-1.3	3.7	0.7	0.7			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	26.0	28.0	28.0	32.0	25.0	25.0	25.0	26.0	31.0	28.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.7	200.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		207.6

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 300 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	24.0	25.0	24.0	23.0	24.0	27.0	26.0	26.0	25.0	24.0	25.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	24.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.9	0.1	-0.9	-1.9	-0.9	2.1	1.1	1.1	0.1	-0.9	0.1	1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	25.0	24.0	23.0	24.0	27.0	26.0	26.0	25.0	24.0	25.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.2	208.0
2	ค่า rebound	25.0	27.0	25.0	24.0	28.0	28.0	29.0	24.0	24.0	26.0	26.0	25.0	ค่าเฉลี่ย	25.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.9	1.1	-0.9	-1.9	2.1	2.1	3.1	-1.9	-1.9	0.1	0.1	-0.9			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	27.0	25.0	24.0	28.0	28.0	29.0	24.0	24.0	26.0	26.0	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.1	218.0
3	ค่า rebound	24.0	26.0	28.0	25.0	25.0	26.0	28.0	26.0	25.0	27.0	25.0	24.0	ค่าเฉลี่ย	25.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.8	0.3	2.3	-0.8	-0.8	0.3	2.3	0.3	-0.8	1.3	-0.8	-1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	26.0	28.0	25.0	25.0	26.0	28.0	26.0	25.0	27.0	25.0	24.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.0	217.0
4	ค่า rebound	22.0	26.0	26.0	26.0	24.0	24.0	27.0	25.0	24.0	25.0	24.0	23.0	ค่าเฉลี่ย	24.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.7	1.3	1.3	1.3	-0.7	-0.7	2.3	0.3	-0.7	0.3	-0.7	-1.7			
	ค่าที่ใช้จริง	22.0	26.0	26.0	26.0	24.0	24.0	27.0	25.0	24.0	25.0	24.0	23.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.9	200.0
5	ค่า rebound	24.0	26.0	24.0	24.0	25.0	27.0	27.0	26.0	25.0	28.0	26.0	24.0	ค่าเฉลี่ย	25.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.5	0.5	-1.5	-1.5	-0.5	1.5	1.5	0.5	-0.5	2.5	0.5	-1.5			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	26.0	24.0	24.0	25.0	27.0	27.0	26.0	25.0	28.0	26.0	24.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.7	210.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		209.6

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 300 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.20	30.30	30.40	30.30	30.30	15.14	15.16	15.15	180.34	13.20
	2	30.20	30.10	30.30	30.20	30.20	15.06	14.86	14.96	175.84	12.90
	3	30.20	30.30	30.20	30.20	30.23	15.13	14.96	15.05	177.85	13.00
	4	30.30	30.30	30.40	30.20	30.30	15.15	15.04	15.10	179.03	13.33
	5	30.20	30.40	30.40	30.30	30.33	15.15	14.98	15.07	178.32	13.10
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.02	15.02	15.03	15.00	15.02	-	-	-	-	9.35
	2	15.03	15.01	15.02	15.02	15.02	-	-	-	-	9.14
	3	15.00	15.00	15.00	15.04	15.01	-	-	-	-	8.77
	4	15.01	15.04	15.00	15.00	15.01	-	-	-	-	9.03
	5	15.07	15.02	15.02	15.05	15.04	-	-	-	-	9.11

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 300 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	65.80	65.90	-	-	65.85	4.60				37860.00	209.94	
รูปทรงกระบอก	2	67.10	67.40	-	-	67.25	4.49				35280.00	200.63	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	66.40	66.50	-	-	66.45	4.55	4.58	237.00	244.00	40020.00	225.02	211.34
	4	65.10	65.20	-	-	65.15	4.65				36720.00	205.10	
	5	66.50	.64.80	-	-	65.65	4.62				38520.00	216.01	
ลูกคอนกรีต	1	30.30	30.20	31.90	31.10	30.88	4.86				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	31.10	32.00	32.30	31.00	31.60	4.75				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	32.10	31.50	32.00	31.90	31.88	4.71	4.81	-	-	-	-	-
	4	30.50	30.30	30.50	32.40	30.93	4.85				-	-	-
	5	30.60	30.50	31.20	31.40	30.93	4.86				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 300 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ลูกคอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	26.0	26.0	30.0	25.0	33.0	32.0	30.0	27.0	26.0	28.0	29.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	28.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.3	-2.3	1.7	-3.3	4.7	3.7	1.7	-1.3	-2.3	-0.3	0.7	-0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	26.0	30.0	25.0	33.0	32.0	30.0	27.0	26.0	28.0	29.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.5	215.0
2	ค่า rebound	25.0	25.0	28.0	25.0	26.0	27.0	32.0	30.0	26.0	31.0	25.0	25.0	ค่าเฉลี่ย	27.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.1	-2.1	0.9	-2.1	-1.1	-0.1	4.9	2.9	-1.1	3.9	-2.1	-2.1			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	25.0	28.0	25.0	26.0	27.0	32.0	30.0	26.0	31.0	25.0	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.3	202.0
3	ค่า rebound	31.0	31.0	25.0	28.0	27.0	24.0	26.0	25.0	26.0	30.0	28.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	27.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	3.8	3.8	-2.3	0.8	-0.3	-3.3	-1.3	-2.3	-1.3	2.8	0.8	-1.3			
	ค่าที่ใช้จริง	31.0	31.0	25.0	28.0	27.0	24.0	26.0	25.0	26.0	30.0	28.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.4	204.0
4	ค่า rebound	27.0	32.0	28.0	34.0	28.0	30.0	32.0	27.0	27.0	35.0	31.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	29.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.9	2.1	-1.9	4.1	-1.9	0.1	2.1	-2.9	-2.9	5.1	1.1	-1.9			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	32.0	28.0	34.0	28.0	30.0	32.0	27.0	27.0	-	31.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.6	228.0
5	ค่า rebound	29.0	30.0	28.0	30.0	28.0	32.0	27.0	27.0	27.0	25.0	26.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	28.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.9	1.9	-0.1	1.9	-0.1	3.9	-1.1	-1.1	-1.1	-3.1	-2.1	-0.1			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	30.0	28.0	30.0	28.0	32.0	27.0	27.0	27.0	25.0	26.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.2	216.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		213.0

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 300 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	23.0	24.0	26.0	23.0	25.0	26.0	25.0	26.0	25.0	26.0	28.0	24.0	ค่าเฉลี่ย	25.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.1	-1.1	0.9	-2.1	-0.1	0.9	-0.1	0.9	-0.1	0.9	2.9	-1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	23.0	24.0	26.0	23.0	25.0	26.0	25.0	26.0	25.0	26.0	28.0	24.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	24.8	205.0
2	ค่า rebound	26.0	25.0	27.0	24.0	26.0	27.0	25.0	26.0	25.0	26.0	25.0	25.0	ค่าเฉลี่ย	25.6	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.4	-0.6	1.4	-1.6	0.4	1.4	-0.6	0.4	-0.6	0.4	-0.6	-0.6			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	25.0	27.0	24.0	26.0	27.0	25.0	26.0	25.0	26.0	25.0	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	24.8	215.0
3	ค่า rebound	25.0	28.0	26.0	28.0	24.0	26.0	26.0	26.0	24.0	26.0	26.0	25.0	ค่าเฉลี่ย	25.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.8	2.2	0.2	2.2	-1.8	0.2	0.2	0.2	-1.8	0.2	0.2	-0.8			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	28.0	26.0	28.0	24.0	26.0	26.0	26.0	24.0	26.0	26.0	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.1	218.0
4	ค่า rebound	26.0	27.0	27.0	26.0	26.0	28.0	28.0	26.0	27.0	26.0	24.0	23.0	ค่าเฉลี่ย	26.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.2	0.8	0.8	-0.2	-0.2	1.8	1.8	-0.2	0.8	-0.2	-2.2	-3.2			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	27.0	27.0	26.0	26.0	28.0	28.0	26.0	27.0	26.0	24.0	23.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.4	221.0
5	ค่า rebound	24.0	27.0	26.0	25.0	26.0	26.0	27.0	24.0	28.0	25.0	30.0	24.0	ค่าเฉลี่ย	26.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.0	1.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	1.0	-2.0	2.0	-1.0	4.0	-2.0			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	27.0	26.0	25.0	26.0	26.0	27.0	24.0	28.0	25.0	30.0	24.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.2	220.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		215.8

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 300 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.20	30.20	30.50	30.50	30.35	15.12	15.10	15.11	179.39	12.98
	2	30.30	30.30	30.40	30.40	30.35	15.07	15.00	15.04	177.61	13.11
	3	30.30	30.40	30.40	30.40	30.38	15.06	15.00	15.03	177.49	13.34
	4	30.40	30.50	30.40	30.30	30.40	15.07	15.13	15.10	179.15	13.24
	5	30.40	30.30	30.20	30.40	30.33	15.15	15.13	15.14	180.10	13.13
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.02	15.02	15.03	15.00	15.02	-		-	225.56	9.35
	2	15.03	15.01	15.02	15.02	15.02	-	-	-	226.76	9.14
	3	15.00	15.00	15.00	15.04	15.01	-	-	-	225.75	8.77
	4	15.01	15.04	15.00	15.00	15.01	-	-	-	225.71	9.03
	5	15.07	15.02	15.02	15.05	15.04	-	-	-	225.94	9.11

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 300 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	61.30	60.70	-	-	61.00	4.98				44700.00	249.18	
รูปทรงกระบอก	2	61.40	61.60	-	-	61.50	4.93				45300.00	255.05	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	61.70	61.50	-	-	61.60	4.93	4.92	240.00	270.00	50100.00	282.26	248.00
	4	62.00	62.10	-	-	62.05	4.90				42900.00	239.46	
	5	62.10	62.10	-	-	62.10	4.88				38550.00	214.05	
ลูกคอนกรีต	1	30.60	30.30	31.50	30.60	30.75	4.88				64950.00	273.52	
รูปลูกบาศก์	2	30.80	30.60	31.70	31.60	31.18	4.82				68100.00	288.71	
(เสริมเหล็ก)	3	31.70	31.20	32.20	31.30	31.60	4.75	4.85	265.00	-	55350.00	222.23	259.79
	4	29.60	29.80	31.70	31.20	30.58	4.91				66150.00	279.71	
	5	30.60	30.80	30.50	31.40	30.83	4.88				57750.00	234.80	

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 300 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ลูกคอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	30.0	28.0	30.0	30.0	29.0	28.0	28.0	28.0	29.0	30.0	27.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	28.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.3	-0.8	1.3	1.3	0.3	-0.8	-0.8	-0.8	0.3	1.3	-1.8	-0.8			
	ค่าที่ใช้จริง	30.0	28.0	30.0	30.0	29.0	28.0	28.0	28.0	29.0	30.0	27.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.9	218.0
2	ค่า rebound	27.0	30.0	28.0	27.0	34.0	32.0	28.0	34.0	32.0	31.0	29.0	29.0	ค่าเฉลี่ย	30.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-3.1	-0.1	-2.1	-3.1	3.9	1.9	-2.1	3.9	1.9	0.9	-1.1	-1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	30.0	28.0	27.0	34.0	32.0	28.0	34.0	32.0	31.0	29.0	29.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.2	239.0
3	ค่า rebound	27.0	30.0	29.0	29.0	32.0	30.0	27.0	30.0	30.0	26.0	32.0	31.0	ค่าเฉลี่ย	29.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.4	0.6	-0.4	-0.4	2.6	0.6	-2.4	0.6	0.6	-3.4	2.6	1.6			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	30.0	29.0	29.0	32.0	30.0	27.0	30.0	30.0	26.0	32.0	31.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.5	229.0
4	ค่า rebound	28.0	28.0	27.0	28.0	28.0	30.0	29.0	31.0	28.0	29.0	31.0	27.0	ค่าเฉลี่ย	28.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.7	-0.7	-1.7	-0.7	-0.7	1.3	0.3	2.3	-0.7	0.3	2.3	-1.7			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	28.0	27.0	28.0	28.0	30.0	29.0	31.0	28.0	29.0	31.0	27.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.8	217.0
5	ค่า rebound	29.0	30.0	34.0	30.0	33.0	27.0	35.0	29.0	30.0	27.0	30.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	30.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.2	-0.2	3.8	-0.2	2.8	-3.2	4.8	-1.2	-0.2	-3.2	-0.2	-2.2			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	30.0	34.0	30.0	33.0	27.0	35.0	29.0	30.0	27.0	30.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.3	240.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		228.6

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 300 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

ลูกคอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	27.0	27.0	25.0	24.0	26.0	28.0	27.0	25.0	24.0	27.0	28.0	25.0	ค่าเฉลี่ย	26.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.9	0.9	-1.1	-2.1	-0.1	1.9	0.9	-1.1	-2.1	0.9	1.9	-1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	27.0	25.0	24.0	26.0	28.0	27.0	25.0	24.0	27.0	28.0	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.8	221.0
2	ค่า rebound	32.0	26.0	26.0	24.0	26.0	28.0	28.0	26.0	24.0	26.0	27.0	25.0	ค่าเฉลี่ย	26.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	5.5	-0.5	-0.5	-2.5	-0.5	1.5	1.5	-0.5	-2.5	-0.5	0.5	-1.5			
	ค่าที่ใช้จริง	-	26.0	26.0	24.0	26.0	28.0	28.0	26.0	24.0	26.0	27.0	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.2	220.0
3	ค่า rebound	27.0	27.0	26.0	24.0	32.0	24.0	26.0	25.0	24.0	22.0	25.0	24.0	ค่าเฉลี่ย	25.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.5	1.5	0.5	-1.5	6.5	-1.5	0.5	-0.5	-1.5	-3.5	-0.5	-1.5			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	27.0	26.0	24.0	-	24.0	26.0	25.0	24.0	22.0	25.0	24.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	24.2	202.0
4	ค่า rebound	27.0	25.0	28.0	25.0	25.0	28.0	27.0	27.0	25.0	26.0	25.0	25.0	ค่าเฉลี่ย	26.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.9	-1.1	1.9	-1.1	-1.1	1.9	0.9	0.9	-1.1	-0.1	-1.1	-1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	25.0	28.0	25.0	25.0	28.0	27.0	27.0	25.0	26.0	25.0	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.8	221.0
5	ค่า rebound	25.0	32.0	30.0	27.0	27.0	28.0	27.0	28.0	24.0	27.0	28.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	27.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.4	4.6	2.6	-0.4	-0.4	0.6	-0.4	0.6	-3.4	-0.4	0.6	-1.4			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	32.0	30.0	27.0	27.0	28.0	27.0	28.0	24.0	27.0	28.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.6	239.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		220.6

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 350 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.40	30.40	30.30	30.10	30.30	15.13	15.04	15.09	178.79	13.11
	2	30.30	30.20	30.40	30.40	30.33	15.10	15.14	15.12	179.63	13.09
	3	30.50	30.40	30.30	30.30	30.38	15.17	15.16	15.17	180.70	13.12
	4	30.60	30.70	30.50	30.60	30.60	15.00	14.80	14.90	174.44	13.04
	5	30.30	30.40	30.10	30.00	30.20	15.14	15.20	15.17	180.82	13.06
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.02	15.10	15.00	15.04	15.04	-	-	-	-	9.32
	2	15.08	15.03	15.18	15.20	15.12	-	-	-	-	9.48
	3	15.30	15.30	15.10	15.13	15.21	-	-	-	-	9.17
	4	15.35	15.32	15.20	15.14	15.25	-	-	-	-	8.94
	5	14.92	14.98	15.00	15.00	14.98	-	-	-	-	9.25

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 350 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	66.00	65.60	-	-	65.80	4.60				43440.00	242.96	
รูปทรงกระบอก	2	64.60	65.50	-	-	65.05	4.66				52800.00	293.94	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	64.30	63.00	-	-	63.65	4.77	4.45	250.00	235.00	37800.00	209.19	244.59
	4	69.90	66.40	-	-	68.15	4.49				42780.00	245.25	
	5	78.10	83.80	-	-	80.95	3.73				41880.00	231.62	
ลูกคอนกรีต	1	35.40	33.50	32.30	35.40	34.15	4.40				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	33.40	36.90	33.50	31.60	33.85	4.47				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	33.70	34.50	33.50	33.70	33.85	4.49	4.43	-	-	-	-	-
	4	37.20	33.00	35.40	37.90	35.88	4.25				-	-	-
	5	31.40	31.50	34.40	34.90	33.05	4.53				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 350 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	34.0	30.0	28.0	31.0	30.0	30.0	29.0	30.0	30.0	30.0	28.0	32.0	ค่าเฉลี่ย	30.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	3.8	-0.2	-2.2	0.8	-0.2	-0.2	-1.2	-0.2	-0.2	-0.2	-2.2	1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	34.0	30.0	28.0	31.0	30.0	30.0	29.0	30.0	30.0	30.0	28.0	32.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	33.3	240.0
2	ค่า rebound	30.0	28.0	25.0	20.0	32.0	26.0	28.0	30.0	26.0	32.0	30.0	29.0	ค่าเฉลี่ย	28.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	2.0	0.0	-3.0	-8.0	4.0	-2.0	0.0	2.0	-2.0	4.0	2.0	1.0			
	ค่าที่ใช้จริง	30.0	28.0	25.0	-	32.0	26.0	28.0	30.0	26.0	32.0	30.0	29.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	31.2	212.0
3	ค่า rebound	28.0	28.0	27.0	28.0	29.0	30.0	28.0	32.0	28.0	30.0	30.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	28.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.8	-0.8	-1.8	-0.8	0.2	1.2	-0.8	3.2	-0.8	1.2	1.2	-0.8			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	28.0	27.0	28.0	29.0	30.0	28.0	32.0	28.0	30.0	30.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.0	214.0
4	ค่า rebound	29.0	29.0	28.0	28.0	32.0	28.0	36.0	30.0	28.0	29.0	30.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	29.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.8	-0.8	-1.8	-1.8	2.3	-1.8	6.3	0.3	-1.8	-0.8	0.3	0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	29.0	28.0	28.0	32.0	28.0	-	30.0	28.0	29.0	30.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.9	216.0
5	ค่า rebound	28.0	30.0	34.0	28.0	32.0	30.0	29.0	29.0	29.0	28.0	32.0	29.0	ค่าเฉลี่ย	29.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.8	0.2	4.2	-1.8	2.2	0.2	-0.8	-0.8	-0.8	-1.8	2.2	-0.8			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	30.0	34.0	28.0	32.0	30.0	29.0	29.0	29.0	28.0	32.0	29.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.9	216.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		219.6

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 350 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

ก้อนกรีดลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	25.0	28.0	26.0	26.0	26.0	29.0	30.0	26.0	25.0	25.0	29.0	27.0	ค่าเฉลี่ย	26.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.8	1.2	-0.8	-0.8	-0.8	2.2	3.2	-0.8	-1.8	-1.8	2.2	0.2			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	28.0	26.0	26.0	26.0	29.0	30.0	26.0	25.0	25.0	29.0	27.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	30.0	230.0
2	ค่า rebound	25.0	27.0	25.0	27.0	27.0	27.0	27.0	25.0	25.0	25.0	25.0	27.0	ค่าเฉลี่ย	26.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.0	1.0	-1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	1.0			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	27.0	25.0	27.0	27.0	27.0	27.0	25.0	25.0	25.0	25.0	27.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.2	219.0
3	ค่า rebound	24.0	27.0	26.0	26.0	26.0	28.0	27.0	25.0	24.0	26.0	26.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	25.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.9	1.1	0.1	0.1	0.1	2.1	1.1	-0.9	-1.9	0.1	0.1	0.1			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	27.0	26.0	26.0	26.0	28.0	27.0	25.0	24.0	26.0	26.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.1	218.0
4	ค่า rebound	25.0	26.0	26.0	24.0	26.0	29.0	28.0	26.0	26.0	25.0	27.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	26.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.2	-0.2	-0.2	-2.2	-0.2	2.8	1.8	-0.2	-0.2	-1.2	0.8	-0.2			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	26.0	26.0	24.0	26.0	29.0	28.0	26.0	26.0	25.0	27.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.4	222.0
5	ค่า rebound	26.0	27.0	28.0	26.0	28.0	29.0	28.0	27.0	25.0	26.0	25.0	25.0	ค่าเฉลี่ย	26.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.7	0.3	1.3	-0.7	1.3	2.3	1.3	0.3	-1.7	-0.7	-1.7	-1.7			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	27.0	28.0	26.0	28.0	29.0	28.0	27.0	25.0	26.0	25.0	25.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.9	231.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		224.0

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 350 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก	1	30.40	30.40	30.60	30.40	30.45	15.04	15.02	15.03	177.49	13.37
(ไม่เสริมเหล็ก)	2	30.10	30.20	30.20	30.20	30.18	15.03	15.00	15.02	177.14	13.33
	3	30.20	30.20	30.10	30.10	30.15	15.00	15.00	15.00	176.79	12.88
	4	30.50	30.50	30.70	30.60	30.58	15.02	15.01	15.02	177.14	13.25
	5	30.30	30.20	30.20	30.20	30.23	15.00	15.02	15.01	177.02	13.09
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์	1	15.02	15.10	15.00	15.04	15.04	-		-	-	9.32
(เสริมเหล็ก)	2	15.08	15.03	15.18	15.20	15.12	-	-	-	-	9.48
	3	15.30	15.30	15.10	15.13	15.21	-	-	-	-	9.17
	4	15.35	15.32	15.20	15.14	15.25	-	-	-	-	8.94
	5	14.92	14.98	15.00	15.00	14.98	-	-	-	-	9.25

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 350 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	64.10	64.00	-	-	64.05	4.75				42720.00	240.68	
รูปทรงกระบอก	2	64.50	65.10	-	-	64.80	4.66				41640.00	235.07	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	65.30	65.50	-	-	65.40	4.61	4.66	256.00	250.00	50580.00	286.11	246.70
	4	65.10	66.10	-	-	65.60	4.66				43140.00	243.54	
	5	65.70	65.30	-	-	65.50	4.61				40380.00	228.11	
ลูกคอนกรีต	1	31.50	32.60	32.60	31.70	32.10	4.69				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	31.70	32.00	31.70	32.00	31.85	4.75				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	31.30	32.20	32.00	31.30	31.70	4.80	4.76	-	-	-	-	-
	4	32.00	32.10	32.60	32.60	32.33	4.72				-	-	-
	5	30.40	30.00	30.60	32.30	30.83	4.86				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 350 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	27.0	31.0	25.0	31.0	31.0	29.0	27.0	32.0	31.0	31.0	31.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	29.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.5	1.5	-4.5	1.5	1.5	-0.5	-2.5	2.5	1.5	1.5	1.5	-1.5			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	31.0	25.0	31.0	31.0	29.0	27.0	32.0	31.0	31.0	31.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.6	230.0
2	ค่า rebound	31.0	30.0	25.0	39.0	32.0	25.0	30.0	31.0	30.0	30.0	30.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	30.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.9	-0.1	-5.1	8.9	1.9	-5.1	-0.1	0.9	-0.1	-0.1	-0.1	-2.1			
	ค่าที่ใช้จริง	31.0	30.0	-	-	32.0	-	30.0	31.0	30.0	30.0	30.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.3	239.0
3	ค่า rebound	28.0	29.0	30.0	29.0	31.0	30.0	30.0	30.0	29.0	28.0	30.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	29.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.5	-0.5	0.5	-0.5	1.5	0.5	0.5	0.5	-0.5	-1.5	0.5	0.5			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	29.0	30.0	29.0	31.0	30.0	30.0	30.0	29.0	28.0	30.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.6	230.0
4	ค่า rebound	31.0	30.0	27.0	32.0	32.0	29.0	32.0	30.0	30.0	30.0	30.0	32.0	ค่าเฉลี่ย	30.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.6	-0.4	-3.4	1.6	1.6	-1.4	1.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	1.6			
	ค่าที่ใช้จริง	31.0	30.0	27.0	32.0	32.0	29.0	32.0	30.0	30.0	30.0	30.0	32.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.5	240.0
5	ค่า rebound	32.0	27.0	30.0	30.0	32.0	32.0	28.0	29.0	30.0	31.0	31.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	30.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.8	-3.2	-0.2	-0.2	1.8	1.8	-2.2	-1.2	-0.2	0.8	0.8	-0.2			
	ค่าที่ใช้จริง	32.0	27.0	30.0	30.0	32.0	32.0	28.0	29.0	30.0	31.0	31.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.3	239.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		235.6

ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ทั้งนี้ ยกเว้นการใช้งานเพื่อการศึกษาที่ไม่ใช่การค้า

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 350 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

คอนกรีตลูกที่	ชุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	25.0	26.0	27.0	33.0	27.0	28.0	29.0	30.0	25.0	28.0	28.0	27.0	ค่าเฉลี่ย	27.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.8	-1.8	-0.8	5.3	-0.8	0.3	1.3	2.3	-2.8	0.3	0.3	-0.8			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	26.0	27.0	-	27.0	28.0	29.0	30.0	25.0	28.0	28.0	27.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.5	240.0
2	ค่า rebound	27.0	29.0	25.0	24.0	23.0	28.0	25.0	26.0	28.0	25.0	26.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	26.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.0	3.0	-1.0	-2.0	-3.0	2.0	-1.0	0.0	2.0	-1.0	0.0	0.0			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	29.0	25.0	24.0	23.0	28.0	25.0	26.0	28.0	25.0	26.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.2	220.0
3	ค่า rebound	25.0	26.0	28.0	26.0	28.0	29.0	27.0	27.0	26.0	27.0	27.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	26.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.8	-0.8	1.2	-0.8	1.2	2.2	0.2	0.2	-0.8	0.2	0.2	-0.8			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	26.0	28.0	26.0	28.0	29.0	27.0	27.0	26.0	27.0	27.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.0	230.0
4	ค่า rebound	26.0	26.0	26.0	26.0	28.0	28.0	28.0	24.0	24.0	26.0	27.0	27.0	ค่าเฉลี่ย	26.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	1.7	1.7	1.7	-2.3	-2.3	-0.3	0.7	0.7			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	26.0	26.0	26.0	28.0	28.0	28.0	24.0	24.0	26.0	27.0	27.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.5	224.0
5	ค่า rebound	26.0	28.0	29.0	26.0	24.0	28.0	25.0	26.0	27.0	29.0	29.0	29.0	ค่าเฉลี่ย	27.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.2	0.8	1.8	-1.2	-3.2	0.8	-2.2	-1.2	-0.2	1.8	1.8	1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	28.0	29.0	26.0	24.0	28.0	25.0	26.0	27.0	29.0	29.0	29.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.4	235.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		229.8

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 350 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.00	30.00	30.20	30.30	30.13	15.03	15.00	15.02	177.14	
	2	30.30	30.40	30.20	30.00	30.23	15.15	15.10	15.13	179.74	
	3	30.50	30.50	30.30	30.20	30.38	15.10	15.13	15.12	179.51	
	4	30.50	30.30	30.50	30.50	30.45	15.11	15.17	15.14	180.10	
	5	30.30	30.50	30.30	30.30	30.35	15.12	15.13	15.13	179.74	
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.02	15.10	15.00	15.04	15.04	-	-	-	227.18	9.32
	2	15.08	15.03	15.18	15.20	15.12	-	-	-	228.24	9.48
	3	15.30	15.30	15.10	15.13	15.21	-	-	-	229.79	9.17
	4	15.35	15.32	15.20	15.14	15.25	-	-	-	230.62	8.94
	5	14.92	14.98	15.00	15.00	14.98	-	-	-	225.71	9.25

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 350 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	61.80	61.50	-	-	61.65	4.89				47700.00	269.28	
รูปทรงกระบอก	2	61.60	61.90	-	-	61.75	4.89				56850.00	316.28	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	61.80	61.90	-	-	61.85	4.91	4.91	270.00	282.00	49350.00	274.92	277.64
	4	61.80	62.10	-	-	61.95	4.92				47550.00	264.02	
	5	61.20	61.40	-	-	61.30	4.95				47400.00	263.71	
ลูกคอนกรีต	1	31.60	30.90	30.70	31.40	31.15	4.83				67200.00	283.42	
รูปลูกบาศก์	2	31.40	31.50	31.80	31.60	31.58	4.79				67800.00	285.24	
(เสริมเหล็ก)	3	33.70	32.10	32.50	32.20	32.63	4.66	4.81	280.00	-	62100.00	253.50	283.33
	4	31.70	31.40	31.70	31.10	31.48	4.85				69450.00	290.82	
	5	30.20	29.80	30.70	31.50	30.55	4.90				70650.00	303.65	

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 350 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	35.0	36.0	34.0	30.0	31.0	30.0	32.0	32.0	33.0	32.0	31.0	32.0	ค่าเฉลี่ย	32.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	2.7	3.7	1.7	-2.3	-1.3	-2.3	-0.3	-0.3	0.7	-0.3	-1.3	-0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	35.0	36.0	34.0	30.0	31.0	30.0	32.0	32.0	33.0	32.0	31.0	32.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	31.4	267.0
2	ค่า rebound	30.0	30.0	30.0	32.0	33.0	30.0	30.0	28.0	30.0	30.0	29.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	30.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.2	-0.2	-0.2	1.8	2.8	-0.2	-0.2	-2.2	-0.2	-0.2	-1.2	-0.2			
	ค่าที่ใช้จริง	30.0	30.0	30.0	32.0	33.0	30.0	30.0	28.0	30.0	30.0	29.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.8	240.0
3	ค่า rebound	30.0	30.0	38.0	32.0	32.0	38.0	34.0	30.0	34.0	32.0	32.0	36.0	ค่าเฉลี่ย	33.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-3.2	-3.2	4.8	-1.2	-1.2	4.8	0.8	-3.2	0.8	-1.2	-1.2	2.8			
	ค่าที่ใช้จริง	30.0	30.0	38.0	32.0	32.0	38.0	34.0	30.0	34.0	32.0	32.0	36.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.2	280.0
4	ค่า rebound	34.0	35.0	30.0	30.0	31.0	31.0	36.0	33.0	30.0	30.0	29.0	33.0	ค่าเฉลี่ย	31.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	2.2	3.2	-1.8	-1.8	-0.8	-0.8	4.2	1.2	-1.8	-1.8	-2.8	1.2			
	ค่าที่ใช้จริง	34.0	35.0	30.0	30.0	31.0	31.0	36.0	33.0	30.0	30.0	29.0	33.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	30.9	260.0
5	ค่า rebound	29.0	32.0	30.0	29.0	29.0	28.0	28.0	32.0	30.0	30.0	29.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	29.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.7	2.3	0.3	-0.7	-0.7	-1.7	-1.7	2.3	0.3	0.3	-0.7	0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	32.0	30.0	29.0	29.0	28.0	28.0	32.0	30.0	30.0	29.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.8	233.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		256.0

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 350 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	28.0	27.0	27.0	25.0	27.0	34.0	30.0	27.0	25.0	27.0	28.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	27.6	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.4	-0.6	-0.6	-2.6	-0.6	6.4	2.4	-0.6	-2.6	-0.6	0.4	-1.6			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	27.0	27.0	25.0	27.0	-	30.0	27.0	25.0	27.0	28.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.2	232.0
2	ค่า rebound	25.0	28.0	27.0	25.0	27.0	27.0	27.0	26.0	32.0	26.0	27.0	24.0	ค่าเฉลี่ย	26.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.8	1.3	0.3	-1.8	0.3	0.3	0.3	-0.8	5.3	-0.8	0.3	-2.8			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	28.0	27.0	25.0	27.0	27.0	27.0	26.0	-	26.0	27.0	24.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.5	222.0
3	ค่า rebound	26.0	27.0	27.0	25.0	28.0	30.0	29.0	26.0	27.0	30.0	26.0	26.0	ค่าเฉลี่ย	27.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.3	-0.3	-0.3	-2.3	0.8	2.8	1.8	-1.3	-0.3	2.8	-1.3	-1.3			
	ค่าที่ใช้จริง	26.0	27.0	27.0	25.0	28.0	30.0	29.0	26.0	27.0	30.0	26.0	26.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.4	235.0
4	ค่า rebound	27.0	29.0	26.0	25.0	27.0	29.0	28.0	27.0	27.0	28.0	30.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	27.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.8	1.3	-1.8	-2.8	-0.8	1.3	0.3	-0.8	-0.8	0.3	2.3	2.3			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	29.0	26.0	25.0	27.0	29.0	28.0	27.0	27.0	28.0	30.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.9	242.0
5	ค่า rebound	27.0	31.0	28.0	26.0	26.0	29.0	28.0	29.0	25.0	26.0	29.0	27.0	ค่าเฉลี่ย	27.6	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.6	3.4	0.4	-1.6	-1.6	1.4	0.4	1.4	-2.6	-1.6	1.4	-0.6			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	31.0	28.0	26.0	26.0	29.0	28.0	29.0	25.0	26.0	29.0	27.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.8	240.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		234.2

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.40	30.40	30.30	30.20	30.33	15.00	15.18	15.09	178.91	12.86
	2	30.60	30.50	30.40	30.40	30.48	14.98	15.03	15.01	176.90	13.02
	3	30.30	30.40	30.50	30.30	30.38	15.12	15.06	15.09	178.91	12.95
	4	30.40	30.30	30.25	30.20	30.29	15.10	15.18	15.14	180.10	13.27
	5	30.03	30.02	30.13	30.20	30.10	15.04	15.16	15.10	179.15	13.08
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.06	15.15	15.10	15.12	15.11	-	-	-	-	9.28
	2	15.31	15.20	15.22	15.32	15.26	-	-	-	-	9.15
	3	15.22	15.18	15.17	15.15	15.18	-	-	-	-	8.68
	4	15.18	15.25	15.21	15.19	15.21	-	-	-	-	8.79
	5	15.15	15.10	15.14	15.16	15.14	-	-	-	-	9.24

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	74.20	76.80	-	-	75.50	4.02				39900.00	223.01	
รูปทรงกระบอก	2	80.90	79.40	-	-	80.15	3.80				48960.00	276.76	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	68.70	70.30	-	-	69.50	4.37	4.03	267.00	185.00	50160.00	280.36	259.57
	4	81.40	87.90	-	-	84.65	3.58				47760.00	265.18	
	5	69.80	68.20	-	-	69.00	4.36				45240.00	252.52	
ลูกคอนกรีต	1	35.10	32.90	32.50	33.50	33.50	4.51				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	34.90	32.70	31.50	35.00	33.53	4.55				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	30.30	31.30	30.00	28.40	30.00	5.06	4.72	-	-	-	-	-
	4	30.10	32.50	32.40	30.90	31.48	4.83				-	-	-
	5	35.50	34.60	29.50	30.80	32.60	4.64				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	32.0	32.0	32.0	34.0	32.0	34.0	34.0	35.0	34.0	32.0	34.0	32.0	ค่าเฉลี่ย	33.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.1	-1.1	-1.1	0.9	-1.1	0.9	0.9	1.9	0.9	-1.1	0.9	-1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	32.0	32.0	32.0	34.0	32.0	34.0	34.0	35.0	34.0	32.0	34.0	32.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	36.1	280.0
2	ค่า rebound	30.0	34.0	36.0	32.0	36.0	31.0	32.0	36.0	30.0	31.0	31.0	33.0	ค่าเฉลี่ย	32.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.7	1.3	3.3	-0.7	3.3	-1.7	-0.7	3.3	-2.7	-1.7	-1.7	0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	30.0	34.0	36.0	32.0	36.0	31.0	32.0	36.0	30.0	31.0	31.0	33.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	35.7	274.0
3	ค่า rebound	32.0	33.0	36.0	32.0	38.0	34.0	36.0	34.0	36.0	33.0	32.0	36.0	ค่าเฉลี่ย	34.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.3	-1.3	1.7	-2.3	3.7	-0.3	1.7	-0.3	1.7	-1.3	-2.3	1.7			
	ค่าที่ใช้จริง	32.0	33.0	36.0	32.0	38.0	34.0	36.0	34.0	36.0	33.0	32.0	36.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	37.3	296.0
4	ค่า rebound	32.0	33.0	36.0	32.0	38.0	34.0	36.0	34.0	36.0	33.0	32.0	36.0	ค่าเฉลี่ย	34.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.3	-1.3	1.7	-2.3	3.7	-0.3	1.7	-0.3	1.7	-1.3	-2.3	1.7			
	ค่าที่ใช้จริง	32.0	33.0	36.0	32.0	38.0	34.0	36.0	34.0	36.0	33.0	32.0	36.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	37.3	296.0
5	ค่า rebound	30.0	28.0	36.0	32.0	32.0	32.0	37.0	32.0	36.0	30.0	38.0	32.0	ค่าเฉลี่ย	32.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.9	-4.9	3.1	-0.9	-0.9	-0.9	4.1	-0.9	3.1	-2.9	5.1	-0.9			
	ค่าที่ใช้จริง	30.0	28.0	36.0	32.0	32.0	32.0	37.0	32.0	36.0	30.0	-	32.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	35.9	270.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		283.2

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

ก้อนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	29.0	26.0	29.0	27.0	28.0	30.0	27.0	29.0	28.0	29.0	27.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	28.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.9	-2.1	0.9	-1.1	-0.1	1.9	-1.1	0.9	-0.1	0.9	-1.1	-0.1			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	26.0	29.0	27.0	28.0	30.0	27.0	29.0	28.0	29.0	27.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	31.2	246.0
2	ค่า rebound	31.0	32.0	31.0	30.0	32.0	30.0	32.0	36.0	31.0	34.0	34.0	31.0	ค่าเฉลี่ย	32.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.0	0.0	-1.0	-2.0	0.0	-2.0	0.0	4.0	-1.0	2.0	2.0	-1.0			
	ค่าที่ใช้จริง	31.0	32.0	31.0	30.0	32.0	30.0	32.0	36.0	31.0	34.0	34.0	31.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	35.1	310.0
3	ค่า rebound	28.0	27.0	30.0	31.0	31.0	29.0	30.0	32.0	28.0	36.0	30.0	32.0	ค่าเฉลี่ย	30.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.3	-3.3	-0.3	0.7	0.7	-1.3	-0.3	1.7	-2.3	5.7	-0.3	1.7			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	27.0	30.0	31.0	31.0	29.0	30.0	32.0	28.0	-	30.0	32.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	33.4	278.0
4	ค่า rebound	27.0	28.0	31.0	25.0	28.0	31.0	31.0	32.0	33.0	29.0	29.0	32.0	ค่าเฉลี่ย	29.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.7	-1.7	1.3	-4.7	-1.7	1.3	1.3	2.3	3.3	-0.7	-0.7	2.3			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	28.0	31.0	25.0	28.0	31.0	31.0	32.0	33.0	29.0	29.0	32.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.8	271.0
5	ค่า rebound	29.0	28.0	27.0	27.0	30.0	31.0	29.0	32.0	31.0	32.0	28.0	29.0	ค่าเฉลี่ย	29.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.4	-1.4	-2.4	-2.4	0.6	1.6	-0.4	2.6	1.6	2.6	-1.4	-0.4			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	28.0	27.0	27.0	30.0	31.0	29.0	32.0	31.0	32.0	28.0	29.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.5	267.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		278.4

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.30	30.40	30.30	30.30	30.33	15.02	15.06	15.04	177.73	13.10
	2	30.20	30.30	30.20	30.30	30.25	15.04	15.13	15.09	178.79	13.10
	3	30.40	30.30	30.30	30.20	30.30	15.16	15.14	15.15	180.34	13.30
	4	30.50	30.40	30.40	30.30	30.40	15.10	15.06	15.08	178.68	13.10
	5	30.40	30.40	30.30	30.40	30.38	15.18	15.05	15.12	179.51	13.00
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.06	15.15	15.10	15.12	15.11	-	-	-	-	9.28
	2	15.31	15.20	15.22	15.32	15.26	-	-	-	-	9.15
	3	15.22	15.18	15.17	15.15	15.18	-	-	-	-	8.68
	4	15.18	15.25	15.21	15.19	15.21	-	-	-	-	8.79
	5	15.15	15.10	15.14	15.16	15.14	-	-	-	-	9.24

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	66.70	65.60	-	-	66.15	4.58				55140.00	310.25	
รูปทรงกระบอก	2	65.10	65.50	-	-	65.30	4.63				48540.00	271.48	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	66.00	66.40	-	-	66.20	4.58	4.62	284.00	250.00	52920.00	293.45	289.49
	4	64.00	65.80	-	-	64.90	4.68				52560.00	294.16	
	5	65.40	65.60	-	-	65.50	4.64				49920.00	278.10	
ลูกคอนกรีต	1	30.80	30.80	29.70	29.90	30.30	4.99				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	29.80	29.50	30.10	31.20	30.15	5.06				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	28.90	28.60	29.60	29.10	29.05	5.23	5.10	-	-	-	-	-
	4	29.50	28.80	29.10	30.10	29.38	5.18				-	-	-
	5	30.30	29.30	30.70	29.30	29.90	5.06				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	34.0	34.0	34.0	35.0	35.0	34.0	28.0	35.0	32.0	34.0	32.0	35.0	ค่าเฉลี่ย	33.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	0.5	-5.5	1.5	-1.5	0.5	-1.5	1.5			
	ค่าที่ใช้จริง	34.0	34.0	34.0	35.0	35.0	34.0	-	35.0	32.0	34.0	32.0	35.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	33.0	295.0
2	ค่า rebound	36.0	32.0	33.0	34.0	28.0	36.0	34.0	28.0	36.0	30.0	32.0	33.0	ค่าเฉลี่ย	32.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	3.3	-0.7	0.3	1.3	-4.7	3.3	1.3	-4.7	3.3	-2.7	-0.7	0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	36.0	32.0	33.0	34.0	28.0	36.0	34.0	28.0	36.0	30.0	32.0	33.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	31.7	272.0
3	ค่า rebound	31.0	35.0	35.0	33.0	36.0	32.0	31.0	34.0	33.0	30.0	34.0	31.0	ค่าเฉลี่ย	32.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.9	2.1	2.1	0.1	3.1	-0.9	-1.9	1.1	0.1	-2.9	1.1	-1.9			
	ค่าที่ใช้จริง	31.0	35.0	35.0	33.0	36.0	32.0	31.0	34.0	33.0	30.0	34.0	31.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	31.9	274.0
4	ค่า rebound	35.0	34.0	35.0	36.0	35.0	33.0	34.0	34.0	34.0	35.0	34.0	36.0	ค่าเฉลี่ย	34.6	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.4	-0.6	0.4	1.4	0.4	-1.6	-0.6	-0.6	-0.6	0.4	-0.6	1.4			
	ค่าที่ใช้จริง	35.0	34.0	35.0	36.0	35.0	33.0	34.0	34.0	34.0	35.0	34.0	36.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	33.5	300.0
5	ค่า rebound	31.0	31.0	31.0	34.0	31.0	31.0	31.0	30.0	34.0	30.0	30.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	31.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.2	-0.2	-0.2	2.8	-0.2	-0.2	-0.2	-1.2	2.8	-1.2	-1.2	-1.2			
	ค่าที่ใช้จริง	31.0	31.0	31.0	34.0	31.0	31.0	31.0	30.0	34.0	30.0	30.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	30.2	251.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		278.4

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	27.5	28.0	28.0	32.0	32.0	31.0	29.0	29.0	29.0	30.0	29.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	29.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.9	-1.4	-1.4	2.6	2.6	1.6	-0.4	-0.4	-0.4	0.6	-0.4	-1.4			
	ค่าที่ใช้จริง	27.5	28.0	28.0	32.0	32.0	31.0	29.0	29.0	29.0	30.0	29.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.5	267.0
2	ค่า rebound	27.0	32.0	34.0	28.0	29.0	28.0	33.0	27.0	33.0	34.0	36.0	29.0	ค่าเฉลี่ย	30.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-3.8	1.2	3.2	-2.8	-1.8	-2.8	2.2	-3.8	2.2	3.2	5.2	-1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	32.0	34.0	28.0	29.0	28.0	33.0	27.0	33.0	34.0	-	29.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.5	283.0
3	ค่า rebound	28.0	31.0	31.0	29.0	29.0	28.0	30.0	30.0	30.0	32.0	34.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	30.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	-2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	-2.0			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	31.0	31.0	29.0	29.0	28.0	30.0	30.0	30.0	32.0	34.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.1	278.0
4	ค่า rebound	25.0	26.0	28.0	27.0	28.0	31.0	30.0	29.0	28.0	32.0	32.0	27.0	ค่าเฉลี่ย	28.6	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-3.6	-2.6	-0.6	-1.6	-0.6	2.4	1.4	0.4	-0.6	3.4	3.4	-1.6			
	ค่าที่ใช้จริง	25.0	26.0	28.0	27.0	28.0	31.0	30.0	29.0	28.0	32.0	32.0	27.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	27.7	258.0
5	ค่า rebound	27.0	29.5	30.0	28.5	28.0	32.0	30.0	26.0	26.0	32.0	30.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	28.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.9	0.6	1.1	-0.4	-0.9	3.1	1.1	-2.9	-2.9	3.1	1.1	-0.9			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	29.5	30.0	28.5	28.0	32.0	30.0	26.0	26.0	32.0	30.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.0	260.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		269.2

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.30	30.20	30.30	30.20	30.25	15.07	15.05	15.06	178.20	13.16
	2	30.20	30.40	30.30	30.30	30.30	15.10	15.18	15.14	180.10	13.38
	3	30.20	30.30	30.30	30.00	30.20	15.22	15.07	15.15	180.22	13.21
	4	30.20	30.60	30.30	30.20	30.33	15.38	15.23	15.31	184.05	13.24
	5	30.40	30.30	30.20	30.20	30.28	15.13	15.02	15.08	178.56	13.20
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.06	15.15	15.10	15.12	15.11	-	-	-	228.24	9.28
	2	15.31	15.20	15.22	15.32	15.26	-	-	-	230.35	9.15
	3	15.22	15.18	15.17	15.15	15.18	-	-	-	229.29	8.68
	4	15.18	15.25	15.21	15.19	15.21	-	-	-	229.02	8.79
	5	15.15	15.10	15.14	15.16	15.14	-	-	-	227.78	9.24

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	61.80	61.50	-	-	61.65	4.91				56100.00	314.81	
รูปทรงกระบอก	2	61.50	61.90	-	-	61.70	4.91				51600.00	286.51	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	62.60	61.80	-	-	62.20	4.86	4.91	291.00	280.00	57750.00	320.44	290.24
	4	61.50	61.70	-	-	61.60	4.92				49050.00	266.51	
	5	61.30	61.50	-	-	61.40	4.93				46950.00	262.94	
ลูกคอนกรีต	1	29.50	29.40	28.40	29.20	29.13	5.19				69750.00	295.49	
รูปลูกบาศก์	2	30.30	29.60	30.10	29.30	29.83	5.12				72900.00	309.14	
(เสริมเหล็ก)	3	30.70	29.40	29.70	29.70	29.88	5.08	5.12	300.00	-	73200.00	312.16	298.94
	4	28.90	29.50	29.30	29.70	29.35	5.18				69450.00	292.89	
	5	30.10	29.50	30.70	30.60	30.23	5.01				67650.00	285.03	

ผลการทดสอบกวามแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	27.0	35.0	35.0	33.0	34.0	35.0	32.0	34.0	33.0	34.0	33.0	34.0	ค่าเฉลี่ย	33.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-6.3	1.8	1.8	-0.3	0.8	1.8	-1.3	0.8	-0.3	0.8	-0.3	0.8			
	ค่าที่ใช้จริง	-	35.0	35.0	33.0	34.0	35.0	32.0	34.0	33.0	34.0	33.0	34.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.8	284.0
2	ค่า rebound	28.0	36.0	31.0	32.0	36.0	36.0	36.0	32.0	37.0	37.0	36.0	36.0	ค่าเฉลี่ย	34.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-6.4	1.6	-3.4	-2.4	1.6	1.6	1.6	-2.4	2.6	2.6	1.6	1.6			
	ค่าที่ใช้จริง	-	36.0	31.0	32.0	36.0	36.0	36.0	32.0	37.0	37.0	36.0	36.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	34.0	307.0
3	ค่า rebound	34.0	33.0	32.0	36.0	34.0	33.0	30.0	34.0	32.0	32.0	33.0	34.0	ค่าเฉลี่ย	33.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.9	-0.1	-1.1	2.9	0.9	-0.1	-3.1	0.9	-1.1	-1.1	-0.1	0.9			
	ค่าที่ใช้จริง	34.0	33.0	32.0	36.0	34.0	33.0	30.0	34.0	32.0	32.0	33.0	34.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.1	279.0
4	ค่า rebound	34.0	32.0	38.0	36.0	34.0	38.0	36.0	33.0	34.0	36.0	34.0	36.0	ค่าเฉลี่ย	35.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.1	-3.1	2.9	0.9	-1.1	2.9	0.9	-2.1	-1.1	0.9	-1.1	0.9			
	ค่าที่ใช้จริง	34.0	32.0	38.0	36.0	34.0	38.0	36.0	33.0	34.0	36.0	34.0	36.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	34.0	308.0
5	ค่า rebound	36.0	33.0	33.0	32.0	31.0	32.0	33.0	31.0	32.0	33.0	34.0	39.0	ค่าเฉลี่ย	33.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	2.8	-0.3	-0.3	-1.3	-2.3	-1.3	-0.3	-2.3	-1.3	-0.3	0.8	5.8			
	ค่าที่ใช้จริง	36.0	33.0	33.0	32.0	31.0	32.0	33.0	31.0	32.0	33.0	34.0	-	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	31.7	270.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		289.6

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	27.0	30.0	32.0	30.0	30.0	34.0	36.0	30.0	29.0	36.0	32.0	32.0	ค่าเฉลี่ย	31.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-4.5	-1.5	0.5	-1.5	-1.5	2.5	4.5	-1.5	-2.5	4.5	0.5	0.5			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	30.0	32.0	30.0	30.0	34.0	36.0	30.0	29.0	36.0	32.0	32.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	30.6	304.0
2	ค่า rebound	28.0	33.0	32.0	28.0	33.0	32.0	35.0	32.0	34.0	31.0	31.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	31.6	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-3.6	1.4	0.4	-3.6	1.4	0.4	3.4	0.4	2.4	-0.6	-0.6	-1.6			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	33.0	32.0	28.0	33.0	32.0	35.0	32.0	34.0	31.0	31.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	30.6	304.0
3	ค่า rebound	28.0	35.0	29.0	31.0	32.0	30.0	35.0	33.0	28.0	35.0	33.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	31.6	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-3.6	3.4	-2.6	-0.6	0.4	-1.6	3.4	1.4	-3.6	3.4	1.4	-1.6			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	35.0	29.0	31.0	32.0	30.0	35.0	33.0	28.0	35.0	33.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	30.6	304.0
4	ค่า rebound	29.0	29.0	27.0	30.0	32.0	34.0	30.0	30.0	31.0	38.0	34.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	31.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.2	-2.2	-4.2	-1.2	0.8	2.8	-1.2	-1.2	-0.2	6.8	2.8	-1.2			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	29.0	27.0	30.0	32.0	34.0	30.0	30.0	31.0	-	34.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.6	288.0
5	ค่า rebound	29.0	31.0	28.0	33.0	35.0	30.0	32.0	29.0	28.0	32.0	32.0	33.0	ค่าเฉลี่ย	31.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.0	0.0	-3.0	2.0	4.0	-1.0	1.0	-2.0	-3.0	1.0	1.0	2.0			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	31.0	28.0	33.0	35.0	30.0	32.0	29.0	28.0	32.0	32.0	33.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	30.1	296.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		299.2

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 450 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)	1	30.30	30.40	30.42	30.32	30.36	15.14	15.01	15.08	178.56	13.30
	2	30.10	30.40	30.10	30.30	30.23	15.18	15.15	15.17	180.70	13.24
	3	30.40	30.50	30.10	30.20	30.30	15.16	15.15	15.16	180.46	13.17
	4	30.40	30.30	30.50	30.50	30.43	15.08	14.08	14.58	167.04	13.09
	5	30.70	30.60	30.50	30.30	30.53	14.96	15.14	15.05	177.97	13.00
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)	1	15.21	15.24	15.19	15.27	15.23	-	-	-	-	8.98
	2	15.25	15.12	15.27	15.13	15.19	-	-	-	-	9.16
	3	15.12	15.10	15.22	15.25	15.17	-	-	-	-	9.14
	4	15.19	15.20	15.12	15.15	15.16	-	-	-	-	9.08
	5	15.01	15.04	15.07	15.10	15.06	-	-	-	-	9.13

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 450 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	83.70	70.20	-	-	76.95	3.95				31200.00	174.73	
รูปทรงกระบอก	2	68.30	68.70	-	-	68.50	4.41				49500.00	273.94	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	68.20	68.70	-	-	68.45	4.43	4.29	246.00	220.00	48600.00	269.31	244.81
	4	70.20	72.60	-	-	71.40	4.26				47760.00	285.93	
	5	68.30	70.20	-	-	69.25	4.41				39180.00	220.15	
ลูกคอนกรีต	1	33.30	35.50	30.10	33.00	32.98	4.62				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	32.80	33.50	36.70	30.50	33.38	4.55				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	33.00	32.40	30.80	31.40	31.90	4.76	4.57	-	-	-	-	-
	4	35.50	35.50	34.80	36.00	35.45	4.28				-	-	-
	5	33.00	33.10	29.80	33.50	32.35	4.65				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 450 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ลูกคอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	30.0	31.0	34.0	30.0	31.0	31.0	35.0	34.0	32.0	34.0	35.0	38.0	ค่าเฉลี่ย	32.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.9	-1.9	1.1	-2.9	-1.9	-1.9	2.1	1.1	-0.9	1.1	2.1	5.1			
	ค่าที่ใช้จริง	30.0	31.0	34.0	30.0	31.0	31.0	35.0	34.0	32.0	34.0	35.0	-	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	35.9	270.0
2	ค่า rebound	36.0	37.0	30.0	40.0	35.0	33.0	35.0	30.0	30.0	36.0	38.0	32.0	ค่าเฉลี่ย	34.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.7	2.7	-4.3	5.7	0.7	-1.3	0.7	-4.3	-4.3	1.7	3.7	-2.3			
	ค่าที่ใช้จริง	36.0	37.0	30.0	-	35.0	33.0	35.0	30.0	30.0	36.0	38.0	32.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	37.3	290.0
3	ค่า rebound	36.0	32.0	38.0	33.0	34.0	36.0	30.0	31.0	32.0	38.0	35.0	36.0	ค่าเฉลี่ย	34.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.8	-2.3	3.8	-1.3	-0.3	1.8	-4.3	-3.3	-2.3	3.8	0.8	1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	36.0	32.0	38.0	33.0	34.0	36.0	30.0	31.0	32.0	38.0	35.0	36.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	37.2	294.0
4	ค่า rebound	32.0	30.0	31.0	31.0	30.0	35.0	36.0	33.0	32.0	38.0	36.0	32.0	ค่าเฉลี่ย	33.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.0	-3.0	-2.0	-2.0	-3.0	2.0	3.0	0.0	-1.0	5.0	3.0	-1.0			
	ค่าที่ใช้จริง	32.0	30.0	31.0	31.0	30.0	35.0	36.0	33.0	32.0	-	36.0	32.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	36.0	271.0
5	ค่า rebound	32.0	30.0	30.0	30.0	31.0	34.0	34.0	32.0	32.0	32.0	31.0	32.0	ค่าเฉลี่ย	31.7	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.3	-1.7	-1.7	-1.7	-0.7	2.3	2.3	0.3	0.3	0.3	-0.7	0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	32.0	30.0	30.0	30.0	31.0	34.0	34.0	32.0	32.0	32.0	31.0	32.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	34.7	260.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		277.0

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 450 ksc. อายุการบ่ม 7 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

ก้อนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	34.0	29.0	32.0	31.0	29.0	28.0	30.0	31.0	28.0	29.0	28.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	29.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	4.1	-0.9	2.1	1.1	-0.9	-1.9	0.1	1.1	-1.9	-0.9	-1.9	0.1			
	ค่าที่ใช้จริง	34.0	29.0	32.0	31.0	29.0	28.0	30.0	31.0	28.0	29.0	28.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	33.0	277.0
2	ค่า rebound	34.0	30.0	30.0	28.0	29.0	29.0	29.0	28.0	28.0	27.0	26.0	27.0	ค่าเฉลี่ย	28.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	5.3	1.3	1.3	-0.8	0.3	0.3	0.3	-0.8	-0.8	-1.8	-2.8	-1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	-	30.0	30.0	28.0	29.0	29.0	29.0	28.0	28.0	27.0	26.0	27.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	31.9	249.0
3	ค่า rebound	29.0	29.0	29.0	28.0	30.0	29.0	28.0	28.0	30.0	29.0	30.0	29.0	ค่าเฉลี่ย	29.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.0	0.0	0.0	-1.0	1.0	0.0	-1.0	-1.0	1.0	0.0	1.0	0.0			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	29.0	29.0	28.0	30.0	29.0	28.0	28.0	30.0	29.0	30.0	29.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.1	261.0
4	ค่า rebound	28.0	30.0	28.0	31.0	30.0	30.0	30.0	27.0	29.0	32.0	29.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	29.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.3	0.7	-1.3	1.7	0.7	0.7	0.7	-2.3	-0.3	2.7	-0.3	-1.3			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	30.0	28.0	31.0	30.0	30.0	30.0	27.0	29.0	32.0	29.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.5	265.0
5	ค่า rebound	29.0	28.0	28.0	30.0	30.0	31.0	29.0	33.0	28.0	27.0	29.0	31.0	ค่าเฉลี่ย	29.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.4	-1.4	-1.4	0.6	0.6	1.6	-0.4	3.6	-1.4	-2.4	-0.4	1.6			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	28.0	28.0	30.0	30.0	31.0	29.0	33.0	28.0	27.0	29.0	31.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.5	265.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		263.4

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 450 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก	1	30.50	30.50	30.40	30.30	30.43	15.04	15.01	15.03	177.38	13.08
(ไม่เสริมเหล็ก)	2	30.40	30.20	30.00	30.00	30.15	15.01	15.00	15.01	176.90	13.24
	3	30.30	30.30	30.30	30.40	30.33	15.02	15.01	15.02	177.14	13.12
	4	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	15.00	15.02	15.01	177.02	13.31
	5	30.50	30.50	30.50	30.50	30.50	15.03	15.00	15.02	177.14	13.14
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์	1	15.21	15.24	15.19	15.27	15.23	-	-	-	-	8.98
(เสริมเหล็ก)	2	15.25	15.12	15.27	15.13	15.19	-	-	-	-	9.16
	3	15.12	15.10	15.22	15.25	15.17	-	-	-	-	9.14
	4	15.19	15.20	15.12	15.15	15.16	-	-	-	-	9.08
	5	15.01	15.04	15.07	15.10	15.06	-	-	-	-	9.13

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 450 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	65.30	66.40	-	-	65.85	4.62				55260.00	311.54	
รูปทรงกระบอก	2	66.00	64.80	-	-	65.40	4.61				50040.00	282.87	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	64.60	65.50	-	-	65.05	4.66	4.64	283.00	261.00	53160.00	300.10	290.58
	4	64.40	66.10	-	-	65.25	4.66				47640.00	269.12	
	5	66.30	65.40	-	-	65.85	4.63				51240.00	289.26	
ลูกคอนกรีต	1	31.40	30.70	28.80	30.80	30.43	5.00				-	-	-
รูปลูกบาศก์	2	30.80	30.60	31.30	30.60	30.83	4.93				-	-	-
(เสริมเหล็ก)	3	30.70	30.60	31.20	30.60	30.78	4.93	4.97	-	-	-	-	-
	4	31.30	30.80	29.20	30.60	30.48	4.98				-	-	-
	5	30.10	30.00	29.70	30.40	30.05	5.01				-	-	-

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 450 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	35.0	28.0	38.0	37.0	38.0	35.0	35.0	34.0	38.0	38.0	32.0	35.0	ค่าเฉลี่ย	35.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.3	-7.3	2.8	1.8	2.8	-0.3	-0.3	-1.3	2.8	2.8	-3.3	-0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	35.0	-	38.0	37.0	38.0	35.0	35.0	34.0	38.0	38.0	32.0	35.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	34.8	316.0
2	ค่า rebound	35.0	34.0	30.0	33.0	34.0	44.0	30.0	35.0	32.0	34.0	36.0	37.0	ค่าเฉลี่ย	34.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.5	-0.5	-4.5	-1.5	-0.5	9.5	-4.5	0.5	-2.5	-0.5	1.5	2.5			
	ค่าที่ใช้จริง	35.0	34.0	30.0	33.0	34.0	-	30.0	35.0	32.0	34.0	36.0	37.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.6	283.0
3	ค่า rebound	36.0	35.0	35.0	37.0	32.0	33.0	33.0	36.0	32.0	34.0	33.0	33.0	ค่าเฉลี่ย	34.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.9	0.9	0.9	2.9	-2.1	-1.1	-1.1	1.9	-2.1	-0.1	-1.1	-1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	36.0	35.0	35.0	37.0	32.0	33.0	33.0	36.0	32.0	34.0	33.0	33.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	33.1	292.0
4	ค่า rebound	34.0	34.0	34.0	33.0	37.0	34.0	34.0	38.0	36.0	38.0	35.0	38.0	ค่าเฉลี่ย	35.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.4	-1.4	-1.4	-2.4	1.6	-1.4	-1.4	2.6	0.6	2.6	-0.4	2.6			
	ค่าที่ใช้จริง	34.0	34.0	34.0	33.0	37.0	34.0	34.0	38.0	36.0	38.0	35.0	38.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	34.4	317.0
5	ค่า rebound	36.0	39.0	30.0	32.0	35.0	32.0	34.0	35.0	34.0	33.0	36.0	36.0	ค่าเฉลี่ย	34.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.7	4.7	-4.3	-2.3	0.7	-2.3	-0.3	0.7	-0.3	-1.3	1.7	1.7			
	ค่าที่ใช้จริง	36.0	39.0	30.0	32.0	35.0	32.0	34.0	35.0	34.0	33.0	36.0	36.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	33.3	293.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		300.2

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 450 ksc. อายุการบ่ม 14 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	27.0	31.0	31.0	30.0	30.0	29.0	31.0	34.0	30.0	30.0	29.0	33.0	ค่าเฉลี่ย	30.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-3.4	0.6	0.6	-0.4	-0.4	-1.4	0.6	3.6	-0.4	-0.4	-1.4	2.6			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	31.0	31.0	30.0	30.0	29.0	31.0	34.0	30.0	30.0	29.0	33.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.5	280.0
2	ค่า rebound	32.0	32.0	28.0	28.0	30.0	32.0	32.0	28.0	34.0	29.0	28.0	28.0	ค่าเฉลี่ย	30.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.9	1.9	-2.1	-2.1	-0.1	1.9	1.9	-2.1	3.9	-1.1	-2.1	-2.1			
	ค่าที่ใช้จริง	32.0	32.0	28.0	28.0	30.0	32.0	32.0	28.0	34.0	29.0	28.0	28.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.2	278.0
3	ค่า rebound	27.0	35.0	30.0	34.0	32.0	34.0	30.0	28.0	28.0	29.0	29.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	30.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-3.5	4.5	-0.5	3.5	1.5	3.5	-0.5	-2.5	-2.5	-1.5	-1.5	-0.5			
	ค่าที่ใช้จริง	27.0	35.0	30.0	34.0	32.0	34.0	30.0	28.0	28.0	29.0	29.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.6	282.0
4	ค่า rebound	29.0	34.0	31.0	32.0	32.0	33.0	29.0	33.0	27.0	32.0	32.0	32.0	ค่าเฉลี่ย	31.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.3	2.7	-0.3	0.7	0.7	1.7	-2.3	1.7	-4.3	0.7	0.7	0.7			
	ค่าที่ใช้จริง	29.0	34.0	31.0	32.0	32.0	33.0	29.0	33.0	27.0	32.0	32.0	32.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	30.4	300.0
5	ค่า rebound	28.0	26.0	31.0	31.0	30.0	28.0	28.0	32.0	28.0	30.0	29.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	29.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.3	-3.3	1.8	1.8	0.8	-1.3	-1.3	2.8	-1.3	0.8	-0.3	0.8			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	26.0	31.0	31.0	30.0	28.0	28.0	32.0	28.0	30.0	29.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	28.4	267.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		281.4

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 450 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ขนาดของลูกคอนกรีตที่ทดสอบ									
		ความยาว (cm.)					DIAMETER (cm.)		DIAMETER เฉลี่ย	พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก
		L1	L2	L3	L4	L เฉลี่ย	D1	D2	(cm.)	(ตร.ซม.)	(kg.)
ลูกคอนกรีตรูปทรงกระบอก	1	30.10	30.40	30.30	30.30	30.28	15.44	15.16	15.30	183.93	13.38
(ไม่เสริมเหล็ก)	2	30.20	30.40	30.30	30.30	30.30	15.11	15.15	15.13	179.86	13.31
	3	30.40	30.40	30.10	30.20	30.28	15.14	15.15	15.14	180.16	13.22
	4	30.20	30.30	30.30	30.10	30.23	15.05	14.97	15.01	177.02	13.24
	5	30.20	30.20	30.40	30.30	30.28	15.08	15.10	15.09	178.91	13.19
ลูกคอนกรีตรูปลูกบาศก์	1	15.21	15.24	15.19	15.27	15.23	-	-	-	229.48	8.98
(เสริมเหล็ก)	2	15.25	15.12	15.27	15.13	15.19	-	-	-	229.22	9.16
	3	15.12	15.10	15.22	15.25	15.17	-	-	-	229.36	9.14
	4	15.19	15.20	15.12	15.15	15.16	-	-	-	228.00	9.08
	5	15.01	15.04	15.07	15.10	15.06	-	-	-	226.84	9.13

ทดสอบลูกคอนกรีตขนาด 450 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกคอนกรีตตัวอย่างที่		ULTRASONIC									UTM		
		เวลาที่คลื่นใช้ในการวิ่งผ่านคอนกรีต, T (microsec.)				T เฉลี่ย	V	V เฉลี่ย	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		LOAD	หน่วยแรงอัด	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4	(microsec.)	(km/sec.)	(km/sec.)	จากรูป 4.1,4.2	จากรูป 4.3	(kg.)	(ksc.)	(ksc.)
ลูกคอนกรีต	1	63.00	62.60	-	-	62.80	4.82				54750.00	297.67	
รูปทรงกระบอก	2	61.70	61.50	-	-	61.60	4.92				58800.00	326.91	
(ไม่เสริมเหล็ก)	3	62.10	62.20	-	-	62.15	4.87	4.89	309.00	275.00	50550.00	280.58	295.65
	4	61.80	61.40	-	-	61.60	4.91				50100.00	283.02	
	5	61.60	61.50	-	-	61.55	4.92				51900.00	290.08	
ลูกคอนกรีต	1	31.20	30.70	31.30	31.70	31.23	4.88				64800.00	267.97	
รูปลูกบาศก์	2	31.50	31.60	31.20	31.70	31.50	4.82				78150.00	338.18	
(เสริมเหล็ก)	3	30.20	30.00	31.10	30.70	30.50	4.97	4.91	302.00	-	74550.00	319.13	306.05
	4	31.10	30.80	30.70	30.80	30.85	4.92				72600.00	310.80	
	5	30.30	30.10	30.50	30.00	30.23	4.98				69150.00	294.17	

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 450 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

คอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	30.0	35.0	31.0	36.0	35.0	31.0	34.0	35.0	33.0	34.0	32.0	35.0	ค่าเฉลี่ย	33.4	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-3.4	1.6	-2.4	2.6	1.6	-2.4	0.6	1.6	-0.4	0.6	-1.4	1.6			
	ค่าที่ใช้จริง	30.0	35.0	31.0	36.0	35.0	31.0	34.0	35.0	33.0	34.0	32.0	35.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.4	283.0
2	ค่า rebound	32.0	35.0	34.0	30.0	34.0	37.0	36.0	35.0	34.0	36.0	33.0	33.0	ค่าเฉลี่ย	34.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.1	0.9	-0.1	-4.1	-0.1	2.9	1.9	0.9	-0.1	1.9	-1.1	-1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	32.0	35.0	34.0	30.0	34.0	37.0	36.0	35.0	34.0	36.0	33.0	33.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	33.1	294.0
3	ค่า rebound	36.0	30.0	35.0	34.0	32.0	32.0	37.0	34.0	32.0	33.0	30.0	35.0	ค่าเฉลี่ย	33.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	2.7	-3.3	1.7	0.7	-1.3	-1.3	3.7	0.7	-1.3	-0.3	-3.3	1.7			
	ค่าที่ใช้จริง	36.0	30.0	35.0	34.0	32.0	32.0	37.0	34.0	32.0	33.0	30.0	35.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.3	281.0
4	ค่า rebound	35.0	34.0	35.0	36.0	36.0	36.0	40.0	34.0	38.0	36.0	33.0	38.0	ค่าเฉลี่ย	35.9	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.9	-1.9	-0.9	0.1	0.1	0.1	4.1	-1.9	2.1	0.1	-2.9	2.1			
	ค่าที่ใช้จริง	35.0	34.0	35.0	36.0	36.0	36.0	40.0	34.0	38.0	36.0	33.0	38.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	34.8	320.0
5	ค่า rebound	40.0	39.0	38.0	34.0	38.0	40.0	40.0	38.0	38.0	39.0	39.0	39.0	ค่าเฉลี่ย	38.5	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.5	0.5	-0.5	-4.5	-0.5	1.5	1.5	-0.5	-0.5	0.5	0.5	0.5			
	ค่าที่ใช้จริง	40.0	39.0	38.0	34.0	38.0	40.0	40.0	38.0	38.0	39.0	39.0	39.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	37.3	352.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		306.0

ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการใช้ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ลูกคอนกรีตขนาด 450 ksc. อายุการบ่ม 28 วัน

ลูกปูนรูปลูกบาศก์

คอนกรีตลูกที่	ชุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	31.0	34.0	29.0	34.0	34.0	36.0	38.0	35.0	30.0	30.0	34.0	34.0	ค่าเฉลี่ย	33.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.3	0.8	-4.3	0.8	0.8	2.8	4.8	1.8	-3.3	-3.3	0.8	0.8			
	ค่าที่ใช้จริง	31.0	34.0	29.0	34.0	34.0	36.0	38.0	35.0	30.0	30.0	34.0	34.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	32.8	330.0
2	ค่า rebound	28.0	28.0	30.0	32.0	30.0	32.0	33.0	30.0	30.0	30.0	30.0	31.0	ค่าเฉลี่ย	30.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.3	-2.3	-0.3	1.7	-0.3	1.7	2.7	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	0.7			
	ค่าที่ใช้จริง	28.0	28.0	30.0	32.0	30.0	32.0	33.0	30.0	30.0	30.0	30.0	31.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	29.4	280.0
3	ค่า rebound	30.0	34.0	34.0	30.0	31.0	34.0	31.0	30.0	33.0	29.0	30.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	31.3	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.3	2.7	2.7	-1.3	-0.3	2.7	-0.3	-1.3	1.7	-2.3	-1.3	-1.3			
	ค่าที่ใช้จริง	30.0	34.0	34.0	30.0	31.0	34.0	31.0	30.0	33.0	29.0	30.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	30.4	300.0
4	ค่า rebound	32.0	32.0	30.0	30.0	33.0	30.0	30.0	33.0	30.0	31.0	30.0	31.0	ค่าเฉลี่ย	31.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	1.0	1.0	-1.0	-1.0	2.0	-1.0	-1.0	2.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0			
	ค่าที่ใช้จริง	32.0	32.0	30.0	30.0	33.0	30.0	30.0	33.0	30.0	31.0	30.0	31.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	30.1	297.0
5	ค่า rebound	32.0	33.0	32.0	30.0	31.0	36.0	32.0	31.0	32.0	30.0	30.0	30.0	ค่าเฉลี่ย	31.6	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.4	1.4	0.4	-1.6	-0.6	4.4	0.4	-0.6	0.4	-1.6	-1.6	-1.6			
	ค่าที่ใช้จริง	32.0	33.0	32.0	30.0	31.0	36.0	32.0	31.0	32.0	30.0	30.0	30.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	30.6	302.0
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		301.8

การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ระหว่างคอนกรีตที่เสริมเหล็กและไม่เสริมเหล็ก

ลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 3 วัน

แท่งคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก

แท่งคอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	17.0	19.0	16.0	18.0	14.0	14.0	19.0	19.0	15.0	17.0	18.0	15.0	ค่าเฉลี่ย	16.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.3	2.3	-0.8	1.3	-2.8	-2.8	2.3	2.3	-1.8	0.3	1.3	-1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	17.0	19.0	16.0	18.0	14.0	14.0	19.0	19.0	15.0	17.0	18.0	15.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	19.8	-
2	ค่า rebound	17.0	19.0	16.0	18.0	14.0	14.0	19.0	19.0	15.0	17.0	18.0	15.0	ค่าเฉลี่ย	16.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.3	2.3	-0.8	1.3	-2.8	-2.8	2.3	2.3	-1.8	0.3	1.3	-1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	17.0	19.0	16.0	18.0	14.0	14.0	19.0	19.0	15.0	17.0	18.0	15.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	19.8	-
3	ค่า rebound	17.0	19.0	16.0	18.0	14.0	14.0	19.0	19.0	15.0	17.0	18.0	15.0	ค่าเฉลี่ย	16.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.3	2.3	-0.8	1.3	-2.8	-2.8	2.3	2.3	-1.8	0.3	1.3	-1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	17.0	19.0	16.0	18.0	14.0	14.0	19.0	19.0	15.0	17.0	18.0	15.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	19.8	-
														ค่า Rebound เฉลี่ย		19.8
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		-

การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ระหว่างคอนกรีตที่เสริมเหล็กและไม่เสริมเหล็ก

ลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 7_วัน

แท่งคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก

แท่งคอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	22.0	22.0	22.0	23.0	24.0	25.0	24.0	23.0	25.0	20.0	22.0	24.0	ค่าเฉลี่ย	23.0	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-0.8	-0.8	-0.8	0.3	1.3	2.3	1.3	0.3	2.3	-2.8	-0.8	1.3			
	ค่าที่ใช้จริง	22.0	22.0	22.0	23.0	24.0	25.0	24.0	23.0	25.0	20.0	22.0	24.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.8	192.0
2	ค่า rebound	21.0	20.0	22.0	22.0	21.0	24.0	24.0	25.0	25.0	24.0	22.0	21.0	ค่าเฉลี่ย	22.6	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.2	-3.2	-1.2	-1.2	-2.2	0.8	0.8	1.8	1.8	0.8	-1.2	-2.2			
	ค่าที่ใช้จริง	21.0	20.0	22.0	22.0	21.0	24.0	24.0	25.0	25.0	24.0	22.0	21.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	25.9	186.0
3	ค่า rebound	22.0	22.0	24.0	21.0	24.0	23.0	25.0	21.0	24.0	25.0	25.0	22.0	ค่าเฉลี่ย	23.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.1	-1.1	0.9	-2.1	0.9	-0.1	1.9	-2.1	0.9	1.9	1.9	-1.1			
	ค่าที่ใช้จริง	22.0	22.0	24.0	21.0	24.0	23.0	25.0	21.0	24.0	25.0	25.0	22.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.5	193.0
														ค่า Rebound เฉลี่ย		26.2
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		190.3

การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ระหว่างคอนกรีตที่เสริมเหล็กและไม่เสริมเหล็ก

ลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 3 วัน

* แท่งคอนกรีตเสริมเหล็ก

แท่งคอนกรีตลูกที่	จุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	17.0	19.0	16.0	18.0	14.0	14.0	19.0	19.0	15.0	17.0	18.0	15.0	ค่าเฉลี่ย	16.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.3	2.3	-0.8	1.3	-2.8	-2.8	2.3	2.3	-1.8	0.3	1.3	-1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	17.0	19.0	16.0	18.0	14.0	14.0	19.0	19.0	15.0	17.0	18.0	15.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	19.8	-
2	ค่า rebound	17.0	19.0	16.0	18.0	14.0	14.0	19.0	19.0	15.0	17.0	18.0	15.0	ค่าเฉลี่ย	16.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.3	2.3	-0.8	1.3	-2.8	-2.8	2.3	2.3	-1.8	0.3	1.3	-1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	17.0	19.0	16.0	18.0	14.0	14.0	19.0	19.0	15.0	17.0	18.0	15.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	19.8	-
3	ค่า rebound	17.0	19.0	16.0	18.0	14.0	14.0	19.0	19.0	15.0	17.0	18.0	15.0	ค่าเฉลี่ย	16.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.3	2.3	-0.8	1.3	-2.8	-2.8	2.3	2.3	-1.8	0.3	1.3	-1.8			
	ค่าที่ใช้จริง	17.0	19.0	16.0	18.0	14.0	14.0	19.0	19.0	15.0	17.0	18.0	15.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	19.8	-
														ค่า Rebound เฉลี่ย		19.8
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		-

การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบ Rebound Hammer, Schmidt Hammer ระหว่างคอนกรีตที่เสริมเหล็กและไม่เสริมเหล็ก

ลูกคอนกรีตขนาด 400 ksc. อายุการบ่ม 7_วัน

แท่งคอนกรีตเสริมเหล็ก

แท่งคอนกรีตลูกที่	ชุดที่ทำการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			หน่วยแรงอัด (ksc.)
1	ค่า rebound	21.0	21.0	22.0	23.0	21.0	25.0	24.0	24.0	22.0	22.0	25.0	23.0	ค่าเฉลี่ย	22.8	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-1.8	-1.8	-0.8	0.3	-1.8	2.3	1.3	1.3	-0.8	-0.8	2.3	0.3			
	ค่าที่ใช้จริง	21.0	21.0	22.0	23.0	21.0	25.0	24.0	24.0	22.0	22.0	25.0	23.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.1	156.0
2	ค่า rebound	24.0	23.0	24.0	24.0	25.0	24.0	22.0	22.0	22.0	21.0	24.0	23.0	ค่าเฉลี่ย	23.2	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	0.8	-0.2	0.8	0.8	1.8	0.8	-1.2	-1.2	-1.2	-2.2	0.8	-0.2			
	ค่าที่ใช้จริง	24.0	23.0	24.0	24.0	25.0	24.0	22.0	22.0	22.0	21.0	24.0	23.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.5	161.0
3	ค่า rebound	21.0	25.0	25.0	22.0	26.0	22.0	23.0	21.0	26.0	24.0	21.0	21.0	ค่าเฉลี่ย	23.1	
	ค่าต่างจากค่าเฉลี่ย	-2.1	1.9	1.9	-1.1	2.9	-1.1	-0.1	-2.1	2.9	0.9	-2.1	-2.1			
	ค่าที่ใช้จริง	21.0	25.0	25.0	22.0	26.0	22.0	23.0	21.0	26.0	24.0	21.0	21.0	ค่าเฉลี่ยที่ใช้	26.4	159.0
														ค่า Rebound เฉลี่ย		26.3
														หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (ksc.)		158.7

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์

จากการทดลองหาค่าหน่ายแรงอัดของคอนกรีตด้วยวิธีทั้ง 3 วิธีคือ Schmidt Hammer, Ultrasonic และ UTM สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ค่าความเร็วคลื่นที่อ่านได้จากเครื่อง Ultrasonic และค่า Rebound Number ที่อ่านจากเครื่อง Schmidt Hammer สามารถบ่งบอกถึงการเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงอัดที่รับได้ของคอนกรีต โดยค่าทั้งสองจะเพิ่มขึ้นตามหน่วยรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีต

2. จากการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดที่ได้จากวิธีใช้เครื่องมือ Ultrasonic และเครื่องมือ Schmidt Hammer กับหน่วยแรงอัดที่ได้จากวิธีให้แรงอัดคอนกรีตโดยตรง (UTM) พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

2.1 เปรียบเทียบ Strength คอนกรีตที่วัดโดยใช้เครื่องมือ Ultrasonic (อ่านค่า Strength จากกราฟที่ 4.1) กับ Strength ของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดโดยวิธีให้แรงอัดโดยตรง (UTM) ได้เป็นความคลาดเคลื่อนดังนี้

อายุการบ่ม (วัน)	% ความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง	% ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
7	-0.12 ถึง 3.18	-0.12 ถึง 2.11
14	-2.61 ถึง 12.14	-2.03 ถึง 6.65
28	-6.39 ถึง 4.51	-3.40 ถึง 2.39

เปรียบเทียบ Strength คอนกรีตที่ได้จากวิธีการวัดโดยใช้เครื่องมือ Ultrasonic (อ่านค่า Strength จากกราฟที่ 4.3) เทียบกับ Strength ของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดโดยวิธีให้แรงอัดโดยตรง (UTM) ได้เป็นความคลาดเคลื่อนดังนี้

อายุการบ่ม (วัน)	% ความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง	% ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
7	-28.73 ถึง 13.44	-13.25 ถึง 9.97
14	-13.64 ถึง 20.03	-11.91 ถึง 14.09
28	-6.98 ถึง 15.91	-5.26 ถึง 7.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

กราฟที่ 4.1 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่น Ultrasonic กับ Strength คอนกรีตไม่เสริมเหล็ก ซึ่งทำการทดสอบที่อายุการบ่มทั้ง 7, 14 และ 28 วัน

กราฟที่ 4.3 เป็นกราฟความสัมพันธ์ของความเร็วคลื่น Ultrasonic กับ Strength คอนกรีตไม่เสริมเหล็ก ซึ่งได้จากการเฉลี่ยกราฟที่ 4.1 ทุกเป็นกราฟเฉลี่ยเส้นเดียว

2.2 เปรียบเทียบ Strength คอนกรีตที่ได้จากวิธีการวัดโดยเครื่อง Sohmidt Hammer เทียบกับ Strength ของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดโดยวิธีให้แรงอัดโดยตรง (UTM) ได้เป็นความคลาดเคลื่อนดังนี้

อายุการบ่ม (วัน)	% ความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง	% ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
7	-13.27 ถึง 13.15	-11.75 ถึง 7.72
14	-8.84 ถึง 3.31	-4.05 ถึง 1.35
28	-13.32 ถึง 6.94	-7.29 ถึง 5.70

2.3 เปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก) ที่ได้จากการวัดโดยวิธีต่างๆ เทียบกับ Strength ที่วัดโดยวิธีให้แรงอัดโดยตรง (UTM) ได้เป็นความคลาดที่อายุการบ่มคอนกรีต 28 วัน ดังนี้

วิธีการวัดแบบ	% ความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง	% ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
Ultrasonic	-2.23 ถึง 2.01	-1.35 ถึง 1.18
Sohmidt Hammer	-17.34 ถึง 4.51	-11.55 ถึง 2.30

3. จากการทดลองวัดความเร็วคลื่นที่เดินทางผ่านคอนกรีตพบว่าความเร็วที่คลื่นเดินทางผ่านคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีความเร็วกว่าคอนกรีตที่ไม่เสริมเหล็ก ประมาณ 1.053 เท่า สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

$$Vn = -0.46 + 1.05\,Vs$$

โดย Vn = ความเร็วคลื่นอุลตราโซนิกที่เดินทางผ่านคอนกรีตล้วน (km./sec.)

Vs = ความเร็วคลื่นอุลตราโซนิกที่เดินทางผ่านคอนกรีตเสริมเหล็ก (km./sec.)

ในการทดลองนี้คอนกรีตเสริมเหล็กมีปริมาณเหล็กเทียบกับปริมาณคอนกรีตประมาณ 2.60 % และความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิกเมื่อเดินทางผ่านเหล็ก DB12 = 5.59 km./sec.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความหนาของคอนกรีตมีผลต่อค่า Rebound Number โดยในส่วนผสมคอนกรีตและอายุการบ่มคอนกรีตที่เท่ากัน คอนกรีตที่บางกว่าจะให้ค่า Rebound Number ที่น้อยกว่า

ในการทดลองนี้ความหนาของแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ซึ่งบางกว่าทรงกระบอกประมาณ 15 ซ.ม. มีค่า Rebound Number ลดลงจำแนกตามอายุการบ่มดังนี้

อายุการบ่ม (วัน)	% Rebound Number ที่ลดลงเมื่อเทียบกับรูปทรงกระบอก
7	9.63
14	11.93
28	10.03

5. จากตารางผลการทดลองใช้ Sohmidt Hammer กับคอนกรีตเสริมเหล็กและไม่เสริมเหล็กได้ผลการทดลองว่าการเสริมเหล็กในคอนกรีตไม่ได้มีผลให้ค่า Rebound Number เพิ่ม, ลดลง แต่อย่างใด

ข้อเสนอแนะ

1. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นอูลตราโซนิกที่เดินทางผ่านคอนกรีตล้วนกับ Strength คอนกรีต ในรูปกราฟ 4.1 เป็นการแบบเส้นความสัมพันธ์ออกเป็นแต่ละส่วนผสมคอนกรีต เหมาะกับการใช้งานในกรณีที่ทราบส่วนผสมคอนกรีตของโครงสร้างที่ทำการทดสอบ ส่วนในรูปกราฟ 4.3 เป็นกราฟความสัมพันธ์โดยรวม ซึ่งเกิดจากการเฉลี่ยกราฟในรูป 4.1 เข้าด้วยกัน เหมาะกับการใช้งานกรณีไม่ทราบส่วนผสมคอนกรีตของโครงสร้างที่ทำการทดสอบ

2. ในรูปกราฟที่ 4.2 เป็นกราฟความสัมพันธ์ของความเร็วคลื่นอูลตราโซนิกที่เดินทางผ่านคอนกรีตเสริมเหล็กกับ Strength คอนกรีต เนื่องจากกราฟนี้เก็บข้อมูลจากการทดสอบ Strength คอนกรีตด้วยเครื่อง UTM ที่อายุการบ่ม 28 วันเท่านั้น ฉนั้นการใช้กราฟนี้หาความสัมพันธ์ที่อายุการบ่มอื่นๆ อาจมีความคลาดเคลื่อนมาก

3. สมการความสัมพันธ์ $V_n = -0.46 + 1.05\ V_s$ ในข้อบทสรุปข้อ 3 ใช้ได้กับเฉพาะชนิดและปริมาณเหล็กเสริมที่ระบุไว้ในการทดลองเท่านั้น

4. % ความคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่ระบุไว้ สามารถใช้บอกค่า Strength คอนกรีตโดยเคร่าๆ

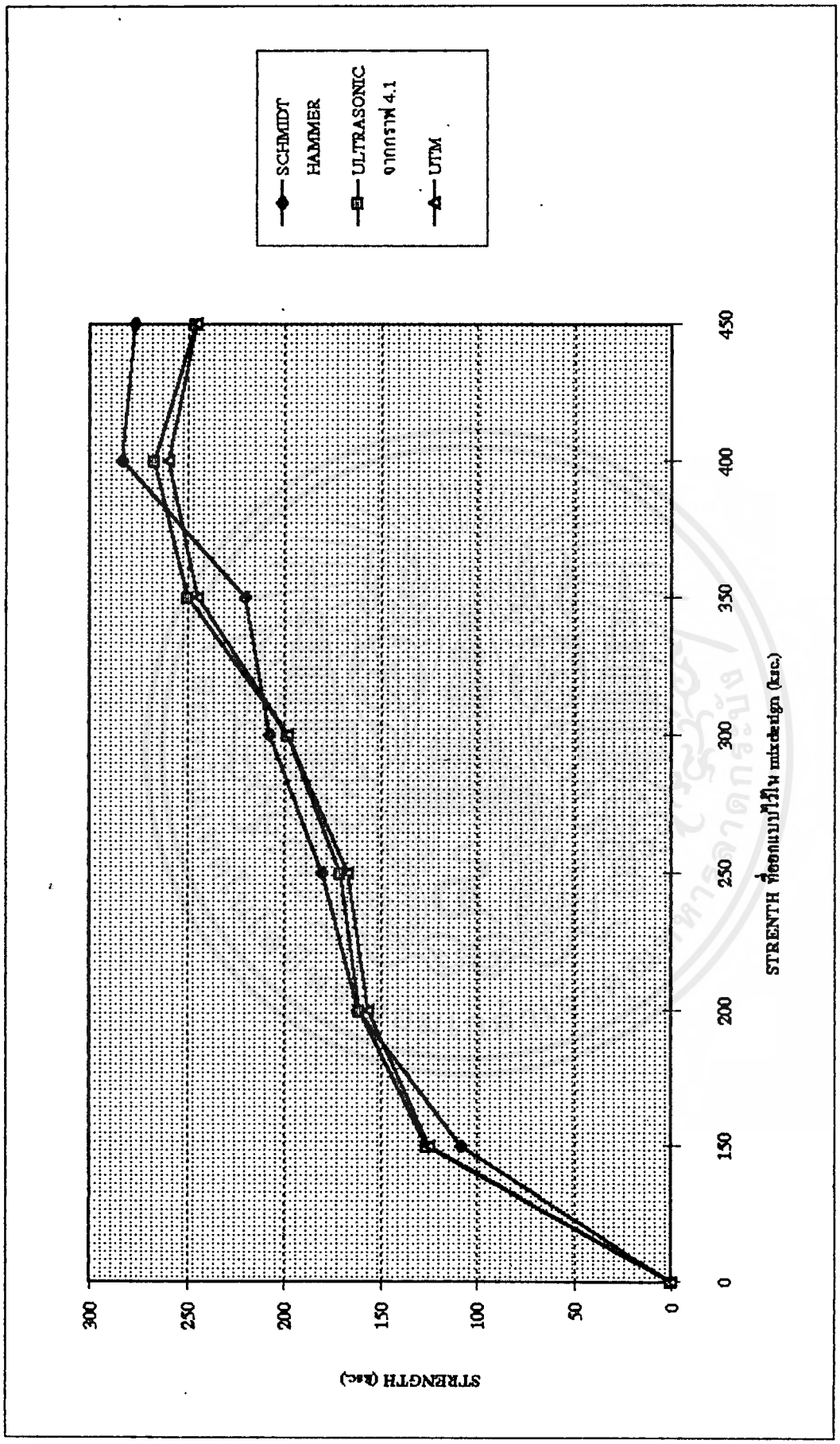
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีต่างๆ ของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก)

Strength ที่ design ไว้ (ksc.)	อายุการบ่ม (วัน)	การทดสอบด้วยวิธี SCHMIDT HAMMER			การทดสอบด้วยวิธี ULTRASONIC					UTM
		ค่า Rebound	หน่วยแรงกด (ksc.)	% ความคลาดเคลื่อน เทียบกับUTM	ค่าความเร็วคลื่น (km/sec.)	หน่วยแรงกด (ksc) จากกราฟ 4.1	% ความคลาดเคลื่อน เทียบกับUTM	หน่วยแรงกด (ksc.) จากกราฟ 4.3	% ความคลาดเคลื่อน เทียบกับUTM	หน่วยแรงกด (ksc.)
150	7	20.6	107.80	-13.27	3.43	126.00	1.38	141.00	13.44	124.29
	14	20.9	137.80	0.30	3.70	144.00	4.81	163.00	18.64	137.39
	28	21.6	137.60	-13.32	3.93	154.00	-2.99	184.00	15.91	158.74
200	7	26.6	161.40	3.44	3.77	161.00	3.18	174.00	11.51	156.04
	14	23.1	158.20	1.00	3.94	174.00	11.09	188.00	20.03	156.63
	28	27.2	211.40	6.97	4.16	185.00	-6.39	208.00	5.25	197.62
250	7	28.0	180.40	8.20	3.76	171.00	2.56	175.00	4.96	166.73
	14	25.1	184.00	-3.81	4.24	194.00	1.42	220.00	15.01	191.28
	28	28.4	227.20	6.94	4.37	209.00	-1.63	230.00	8.26	212.45
300	7	30.1	207.60	4.72	3.81	198.00	-0.12	178.00	-10.21	198.24
	14	27.2	213.00	0.78	4.58	237.00	12.14	244.00	15.45	211.34
	28	28.5	228.60	-7.82	4.92	240.00	-3.23	270.00	8.87	248.00
350	7	32.5	219.60	-10.22	4.45	250.00	2.21	235.00	-3.92	244.59
	14	29.1	235.60	-4.50	4.66	256.00	3.77	250.00	1.34	246.70
	28	30.5	256.00	-7.79	4.91	270.00	-2.75	282.00	1.57	277.64
400	7	36.5	283.20	9.10	4.03	267.00	2.86	185.00	-28.73	259.57
	14	32.1	278.40	-3.83	4.62	284.00	-1.90	250.00	-13.64	289.49
	28	32.9	289.60	-0.22	4.91	291.00	0.26	280.00	-3.53	290.24
450	7	36.2	277.00	13.15	4.29	246.00	0.48	220.00	-10.13	244.81
	14	33.6	300.20	3.31	4.64	283.00	-2.16	261.00	-10.18	290.58
	28	34.0	306.00	3.50	4.89	309.00	4.51	275.00	-6.98	295.65

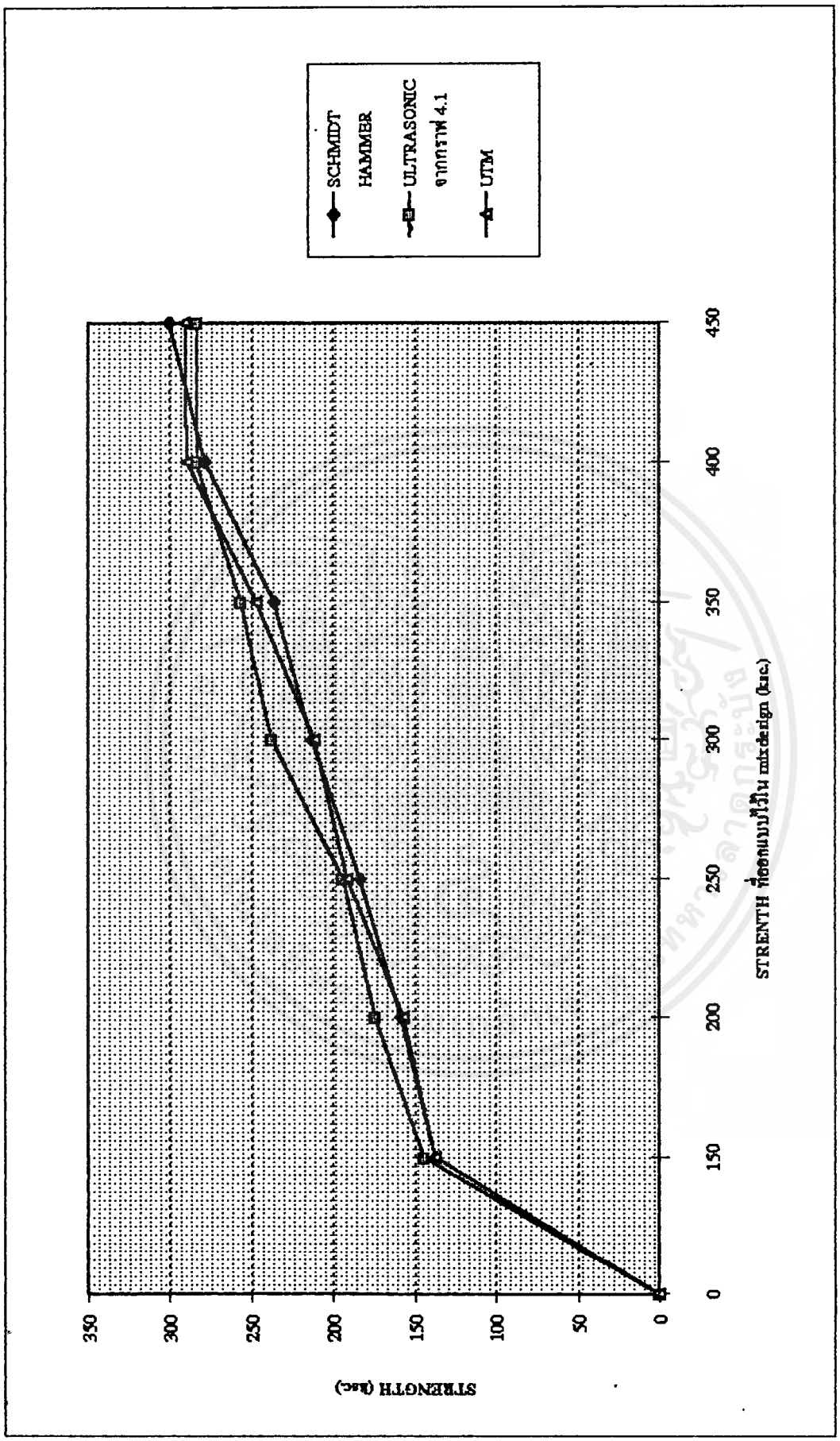
สรุปผลค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีต่างๆ ของคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก)

Strength ที่ design ไว้ (ksc.)	อายุการบ่ม (วัน)	การทดสอบด้วยวิธี SCHMIDT HAMMER			การทดสอบด้วยวิธี ULTRASONIC			UTM
		ค่า Rebound	หน่วยแรงกด (ksc.)	% ความคลาดเคลื่อน เทียบกับ UTM	ค่าความเร็วคลื่น (km/sec.)	หน่วยแรงกด (ksc.)	% ความคลาดเคลื่อน เทียบกับวิธีอัดโดยตรง	หน่วยแรงกด (ksc.)
150	7	18.7	117.8	-	3.70	-	-	-
	14	17.4	112.8	-	3.90	-	-	-
	28	24.8	209.6	4.51	4.19	200.00	-0.28	200.56
200	7	25.1	159.6	-	3.79	-	-	-
	14	19.8	142.6	-	4.19	-	-	-
	28	23.9	198.2	-15.75	4.24	230.00	-2.23	235.25
250	7	26.0	171.4	-	4.14	-	-	-
	14	22.6	180.2	-	4.52	-	-	-
	28	27.7	235.4	-8.19	4.79	252.00	-1.72	256.40
300	7	28.6	209.6	-	4.34	-	-	-
	14	25.0	215.8	-	4.81	-	-	-
	28	25.3	220.6	-15.09	4.85	265.00	2.01	259.79
350	7	29.5	224	-	4.43	-	-	-
	14	25.9	229.8	-	4.76	-	-	-
	28	26.36	234.2	-17.34	4.81	280.00	-1.18	283.33
400	7	33.0	273.4	-	4.72	-	-	-
	14	28.6	269.2	-	5.10	-	-	-
	28	30.3	299.2	0.09	5.12	300.00	0.35	298.94
450	7	32.4	263.4	-	4.57	-	-	-
	14	29.4	281.4	-	4.97	-	-	-
	28	30.6	301.8	-1.39	4.91	302.00	-1.32	306.05



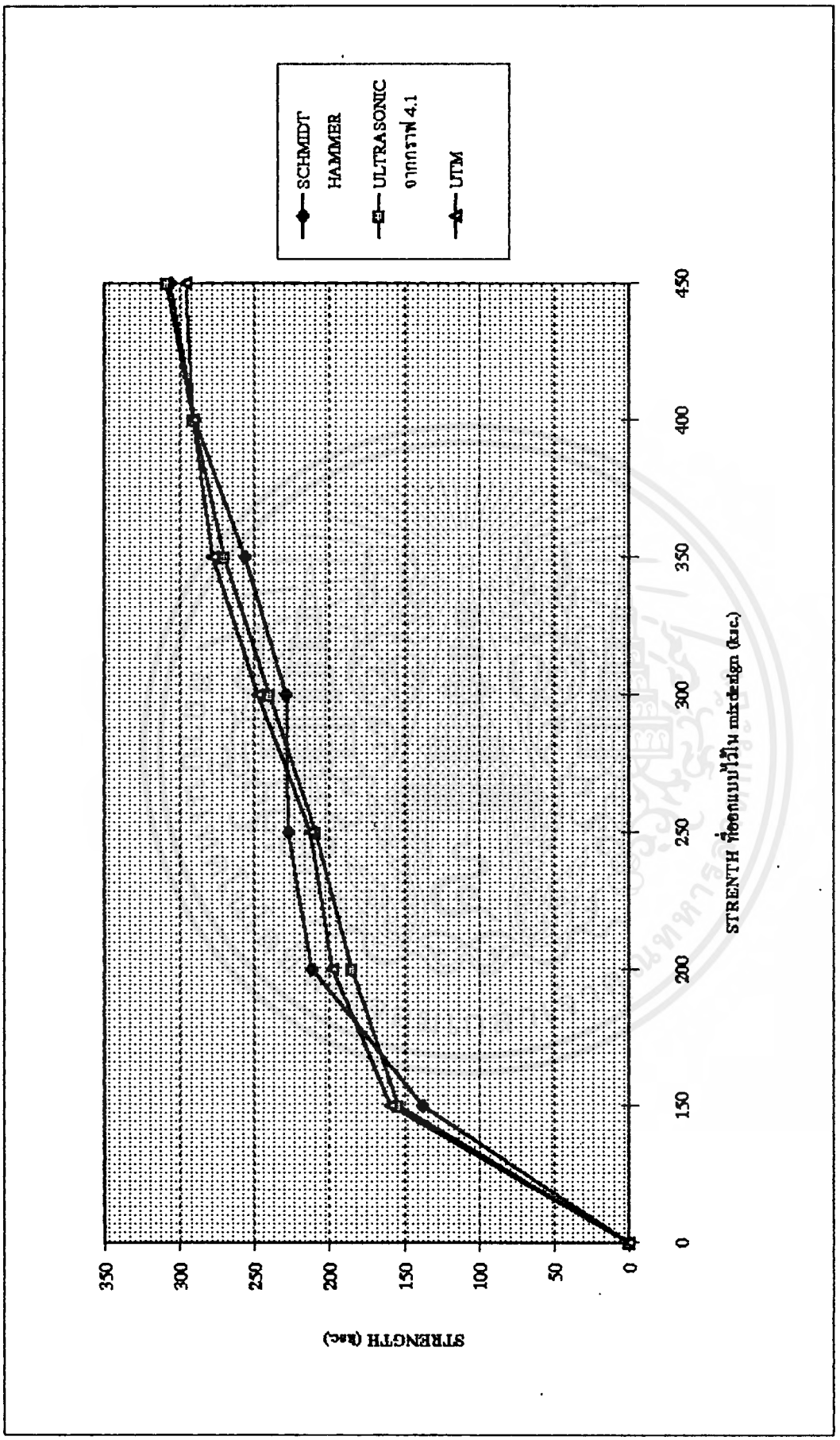
รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบ Strength ที่วัดจากวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่ม 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



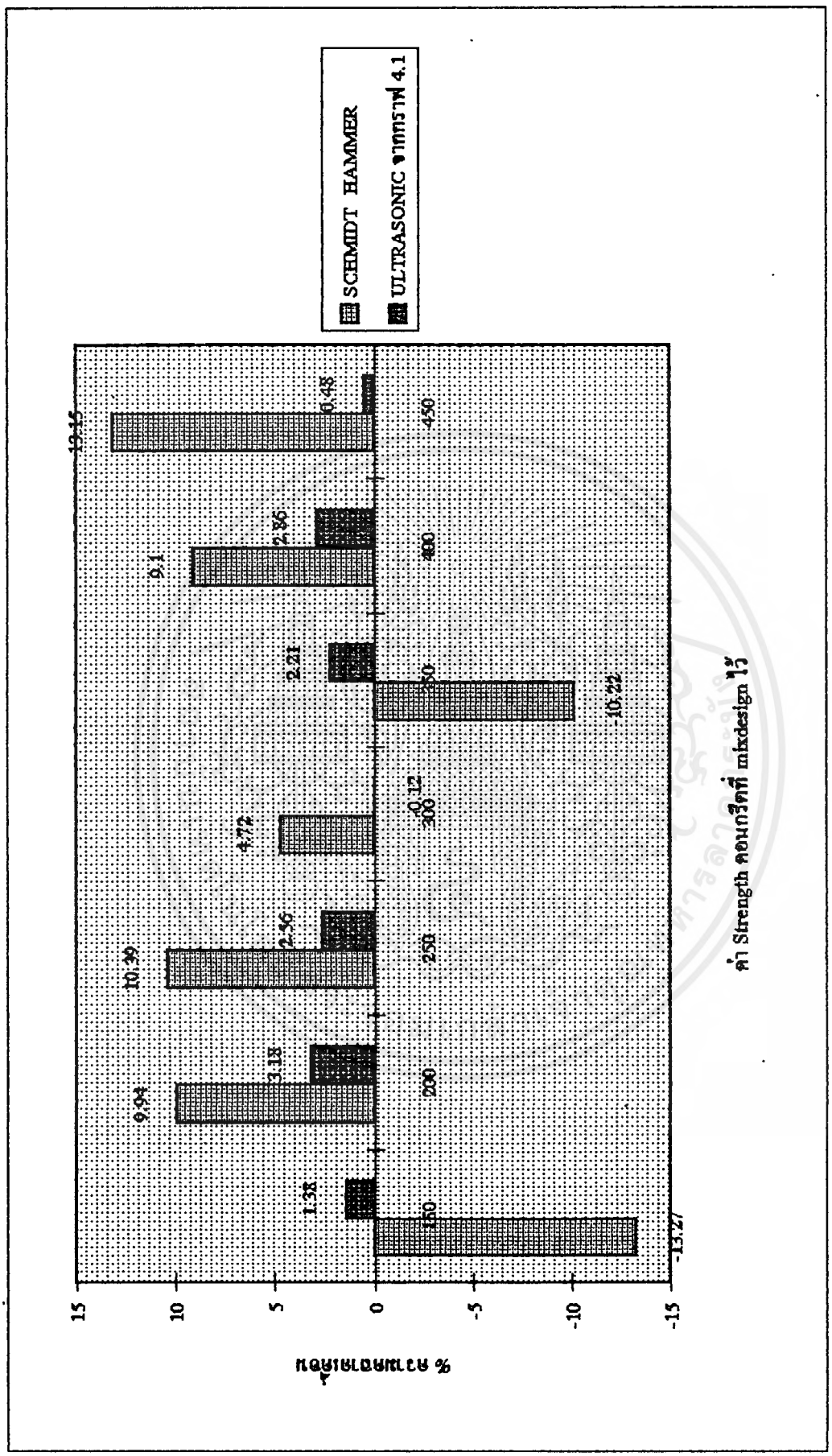
รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบ Steength ที่วัดจากวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่ม 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



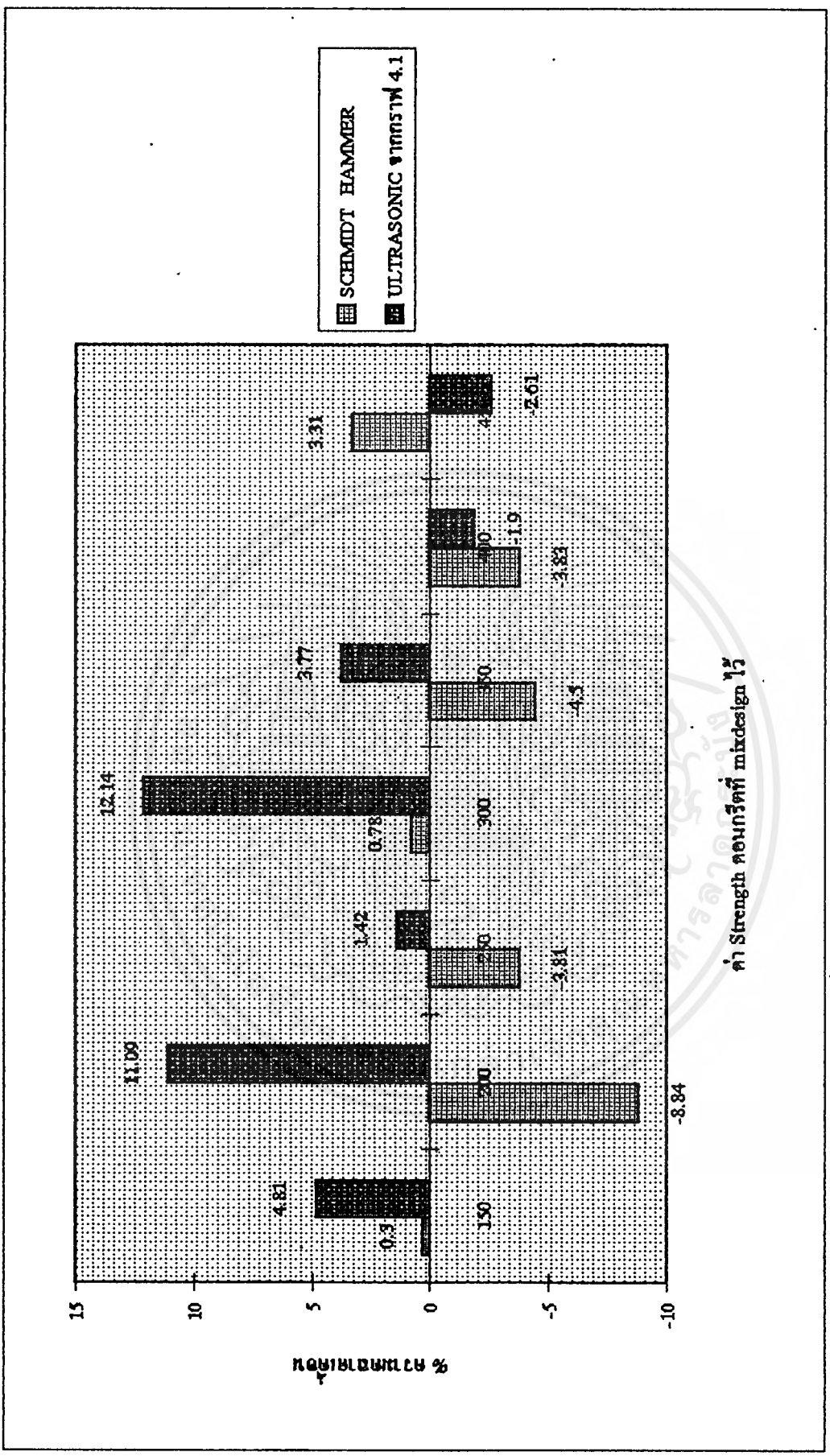
รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบ Strength ที่วัดจากวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่ม 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



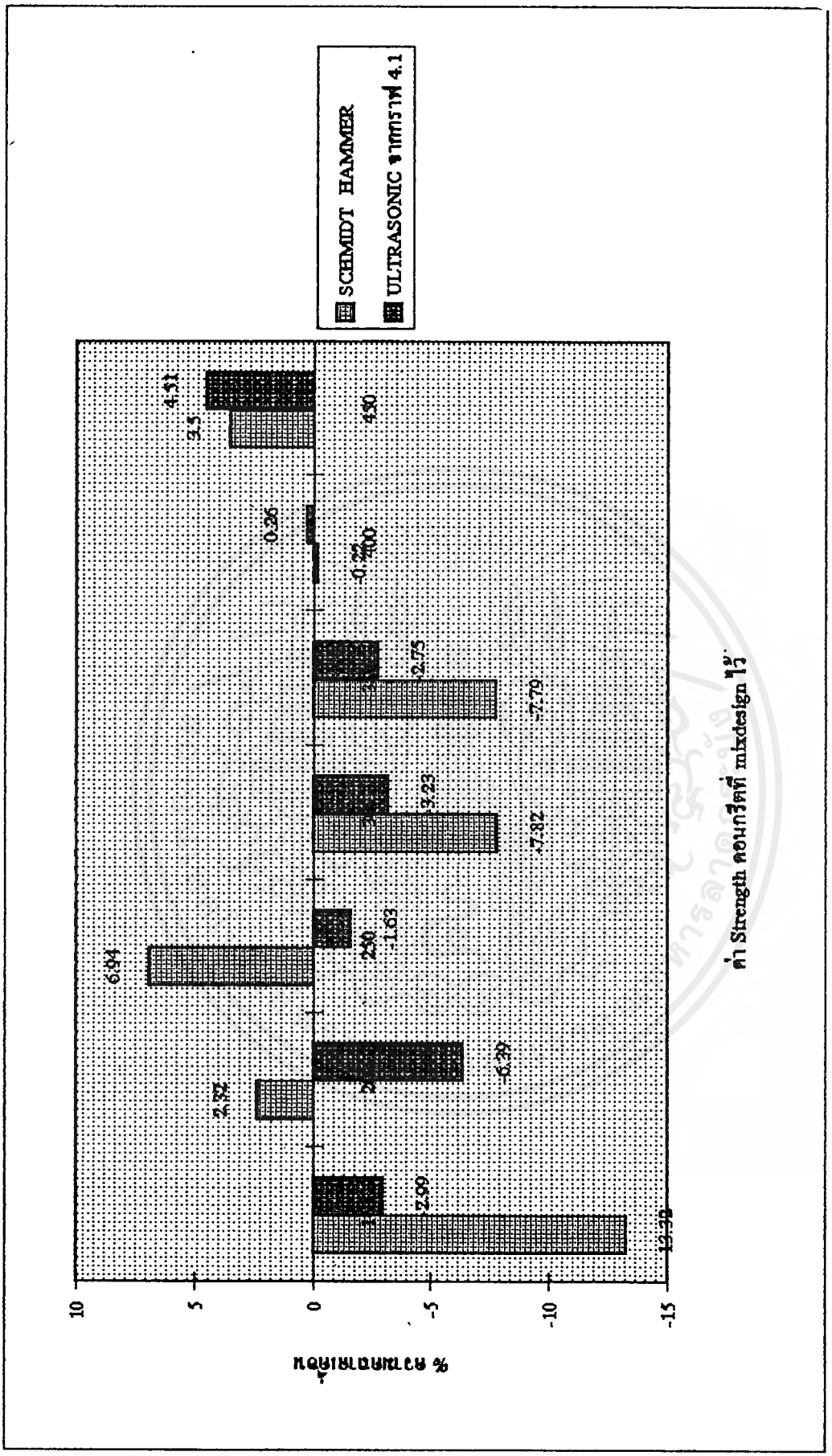
รูปที่ 5.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้กำลังอัดโดยตรงเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่ม 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



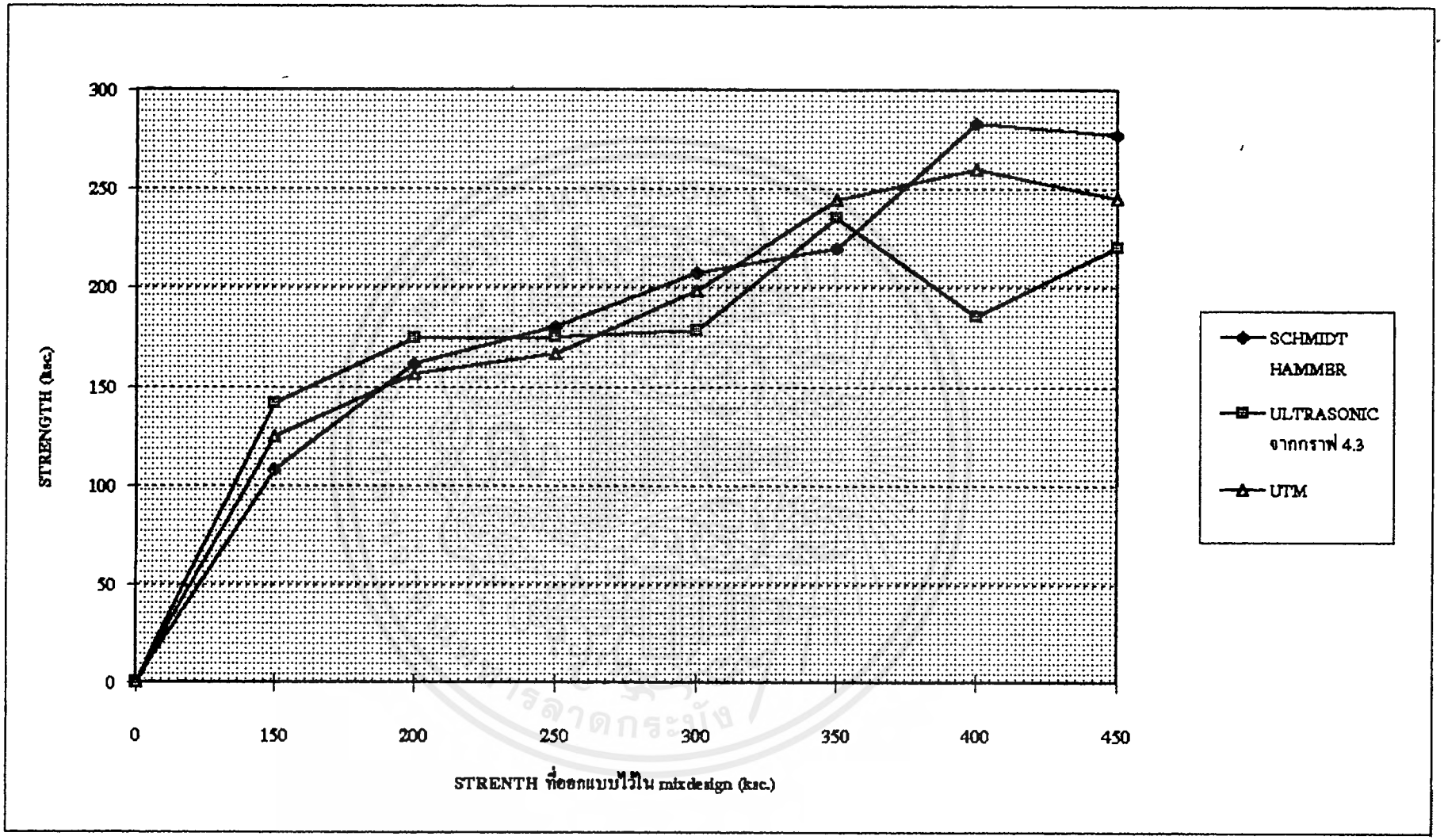
รูปที่ 5.5 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้กำลังอัดโดยตรงเมื่อทดสอบกับเครื่องมือกล 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

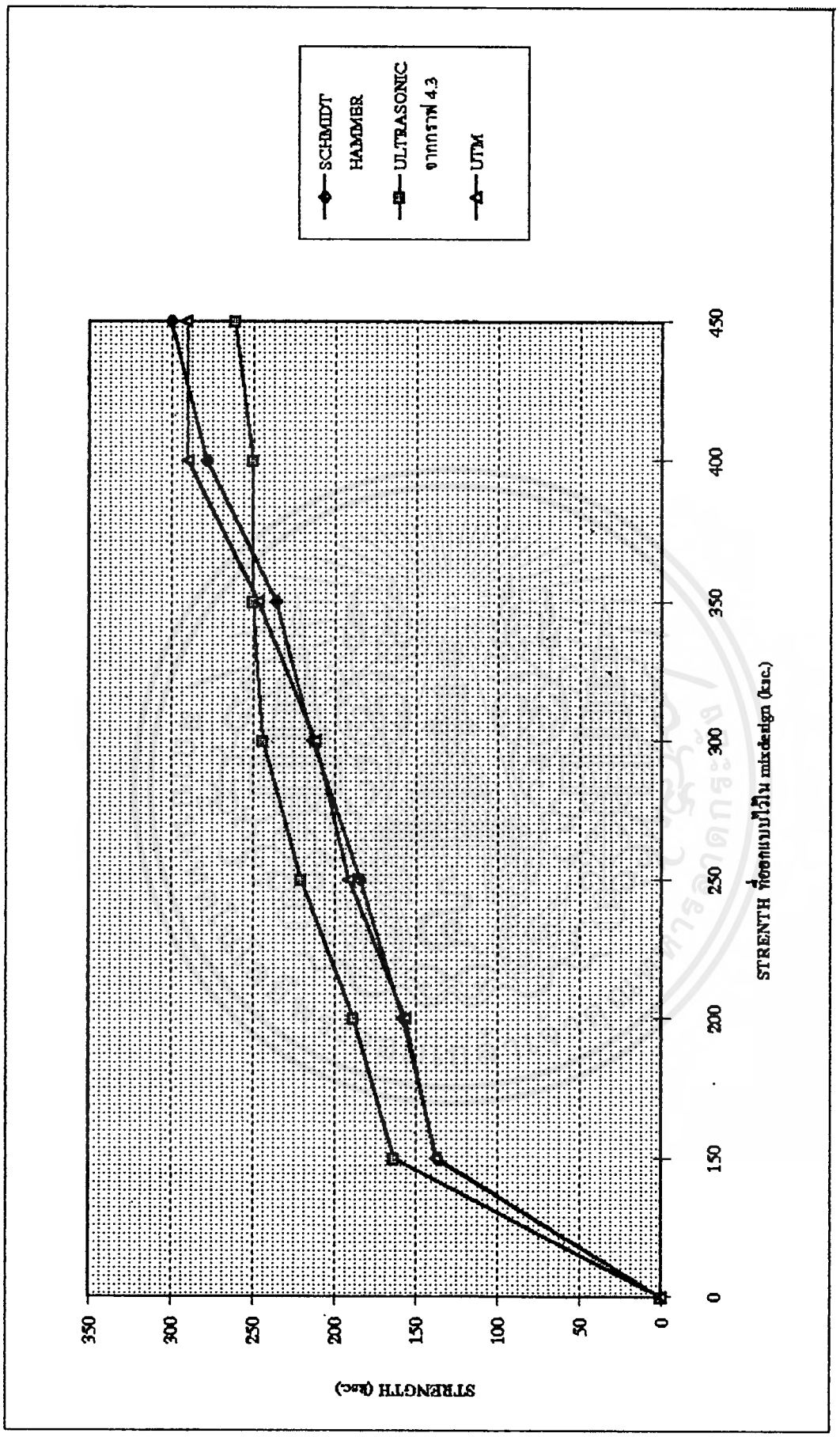


รูปที่ 5.6 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้กำลังอัดโดยตรงเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่ม 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

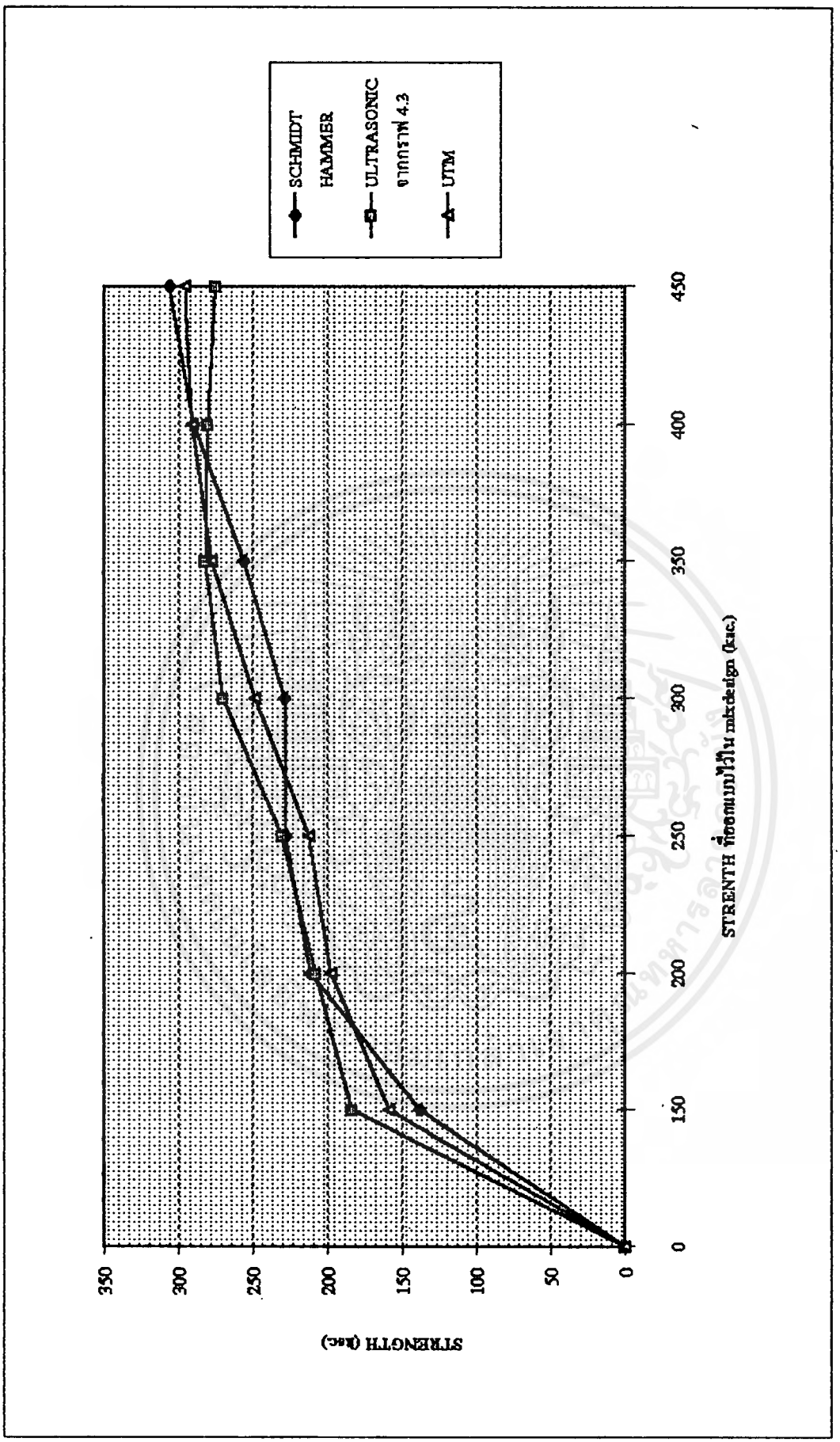


รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบ Strength ที่วัดจากวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่ม 7 วัน



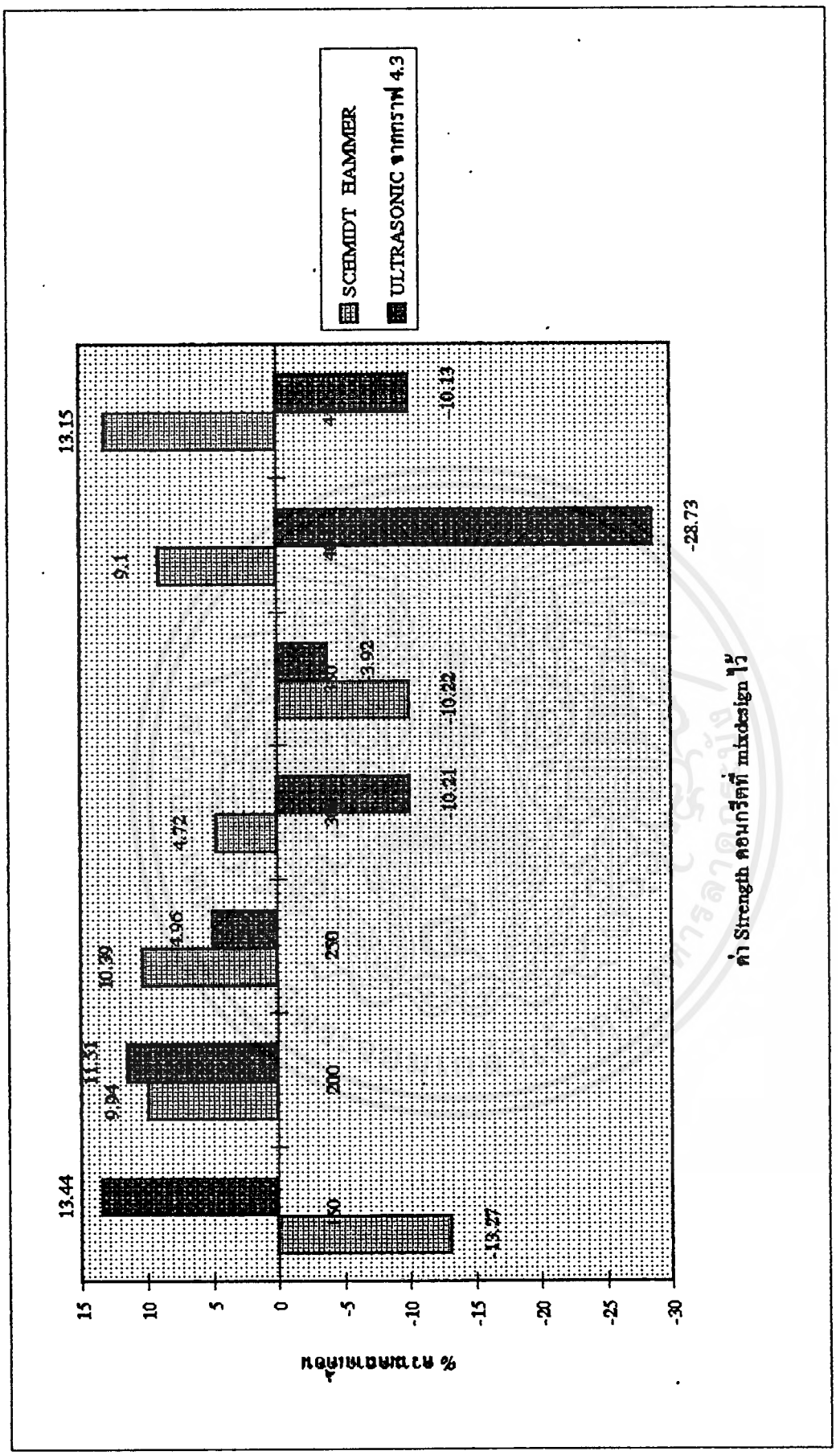
รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบ Strength ที่วัดจากวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่ม 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



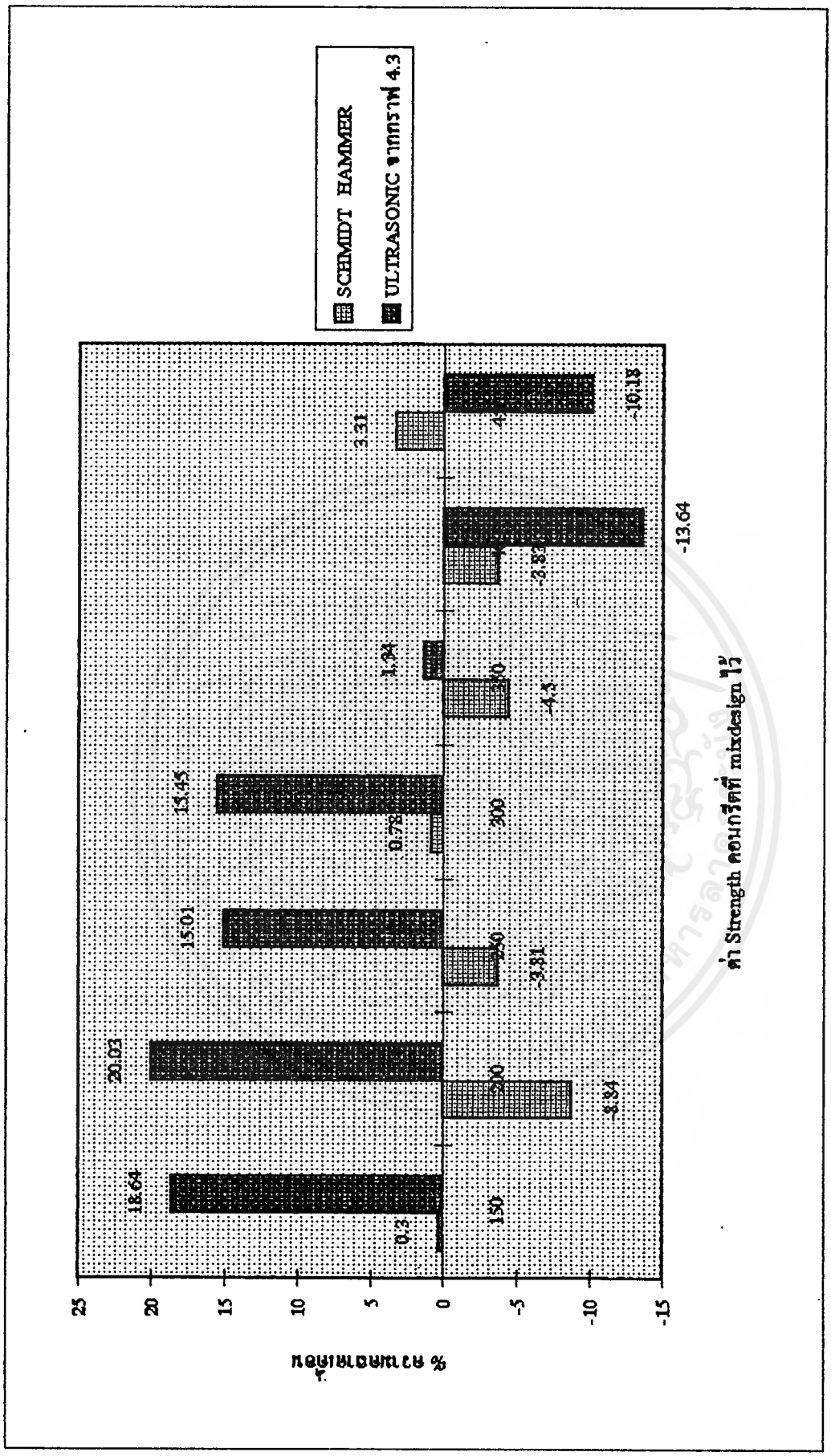
รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบ Strength ที่วัดจากวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่ม 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



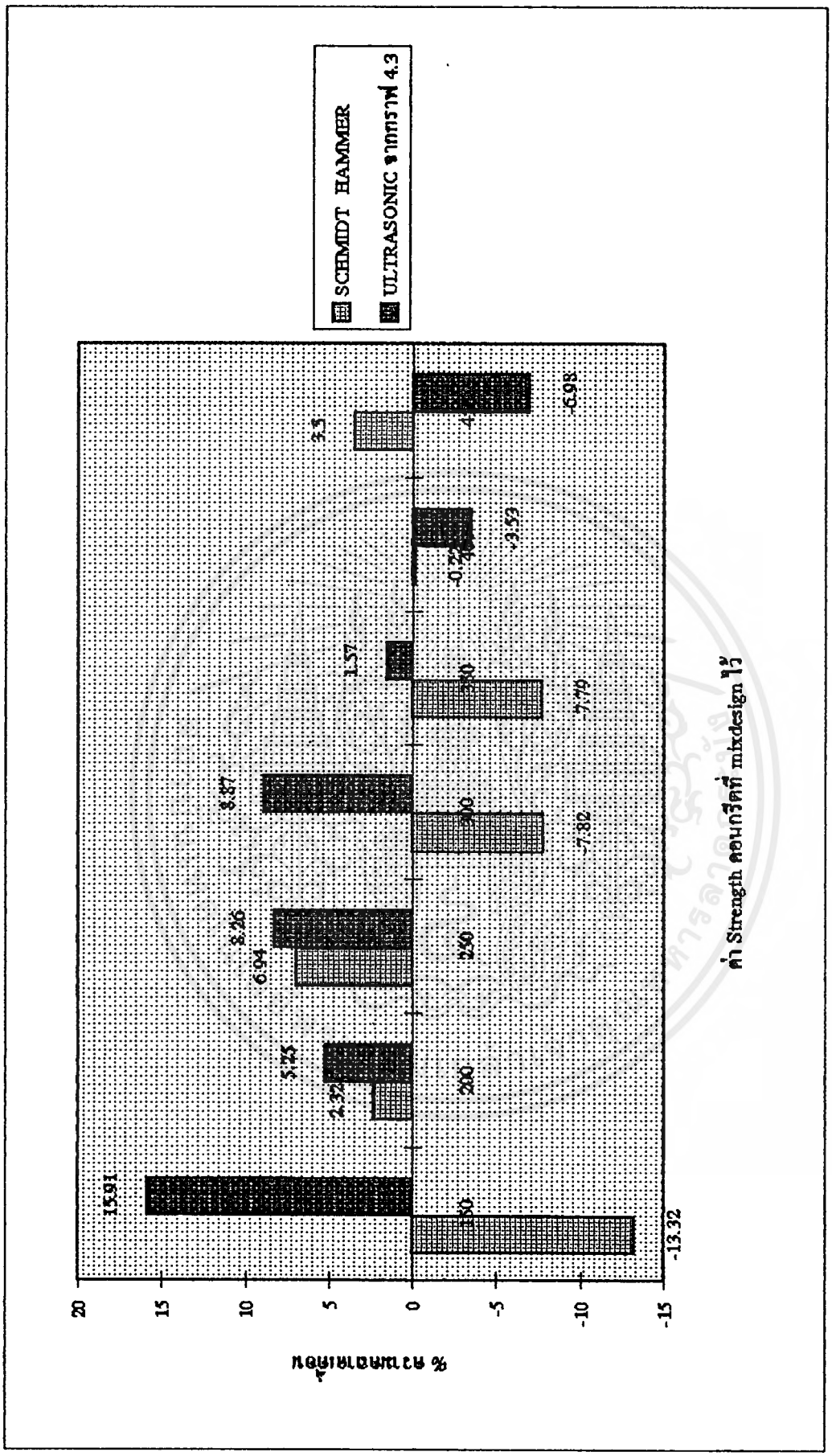
รูปที่ 5.10 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้กำลังอัดโดยตรงเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่ม 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



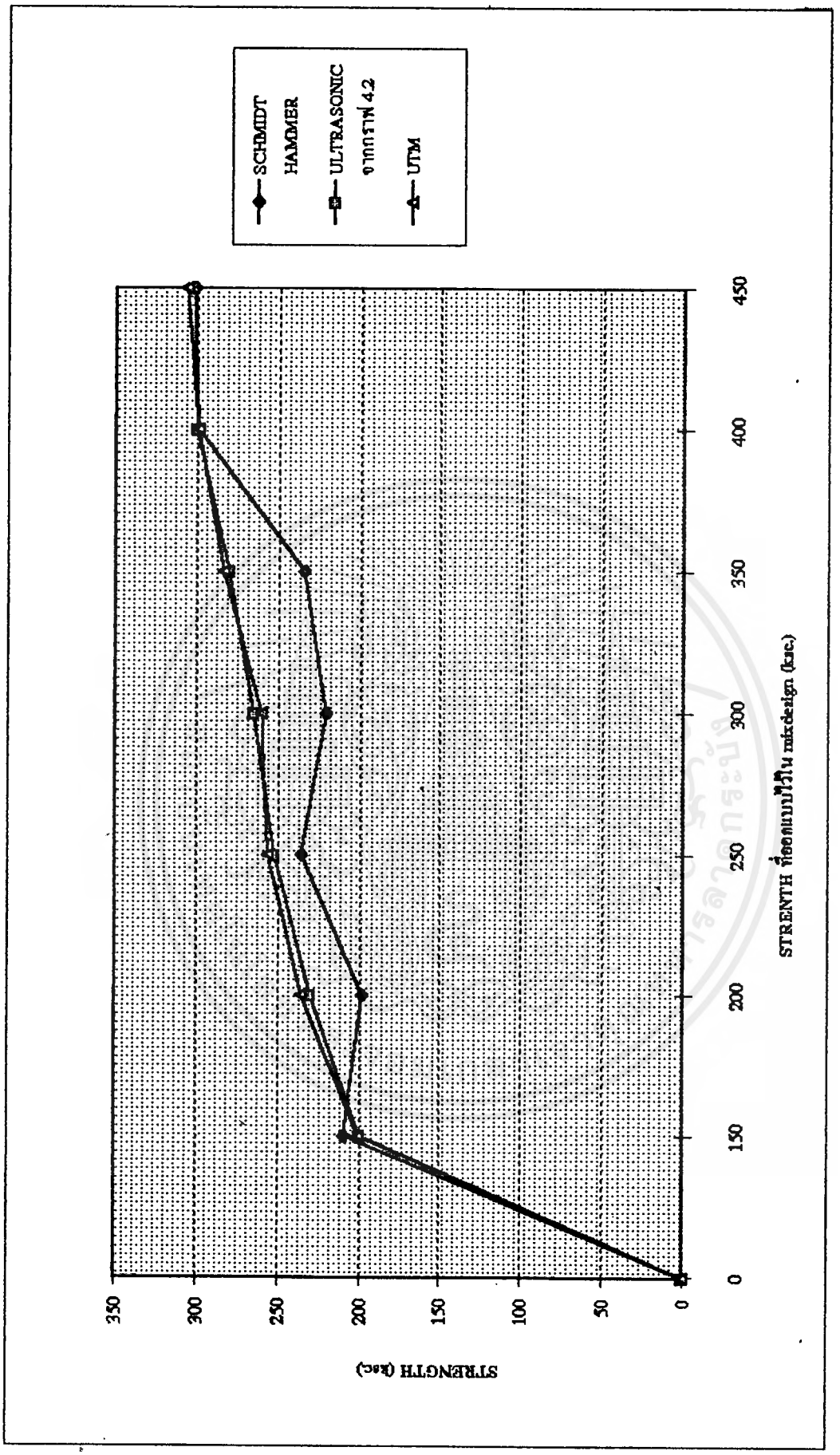
รูปที่ 5.11 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้กำลังอัดโดยตรงเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่ม 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



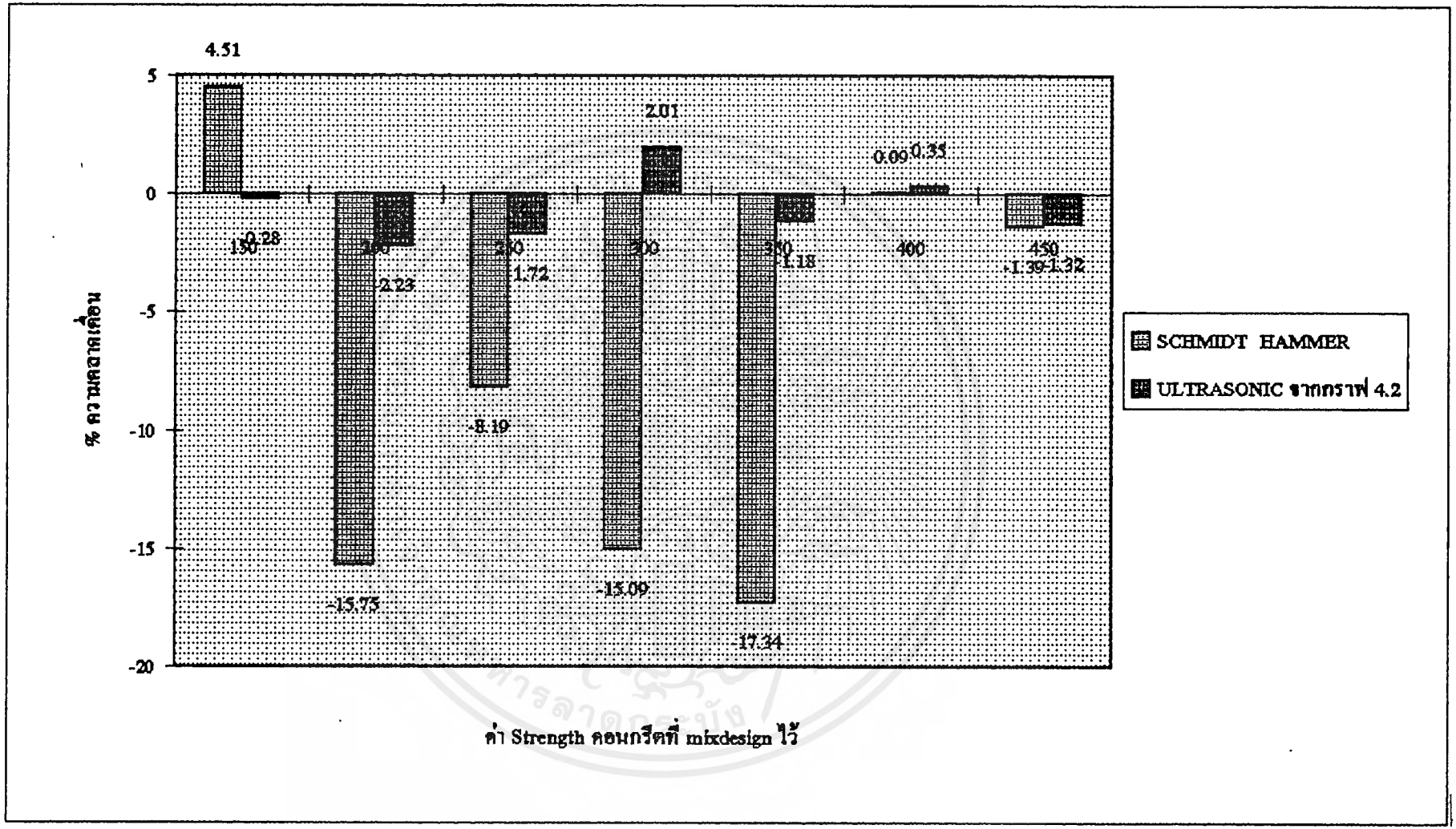
รูปที่ 5.12 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้กำลังอัดโดยตรงเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่ม 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

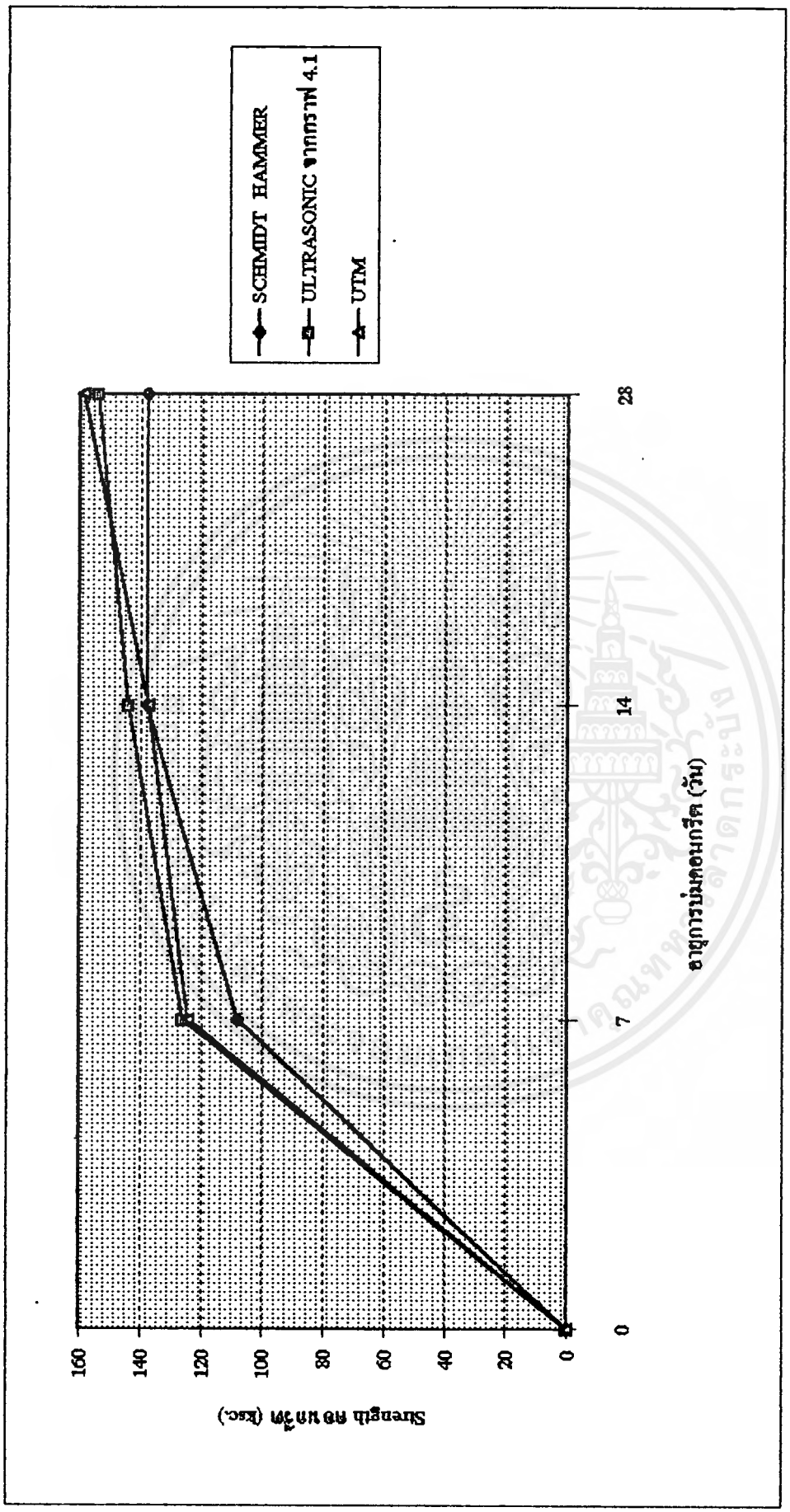


รูปที่ 5.13 กราฟเปรียบเทียบ Strength ที่วัดจากวิธีต่างๆ ของแท่งคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (เสริมหลัก) ที่อายุการบ่ม 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

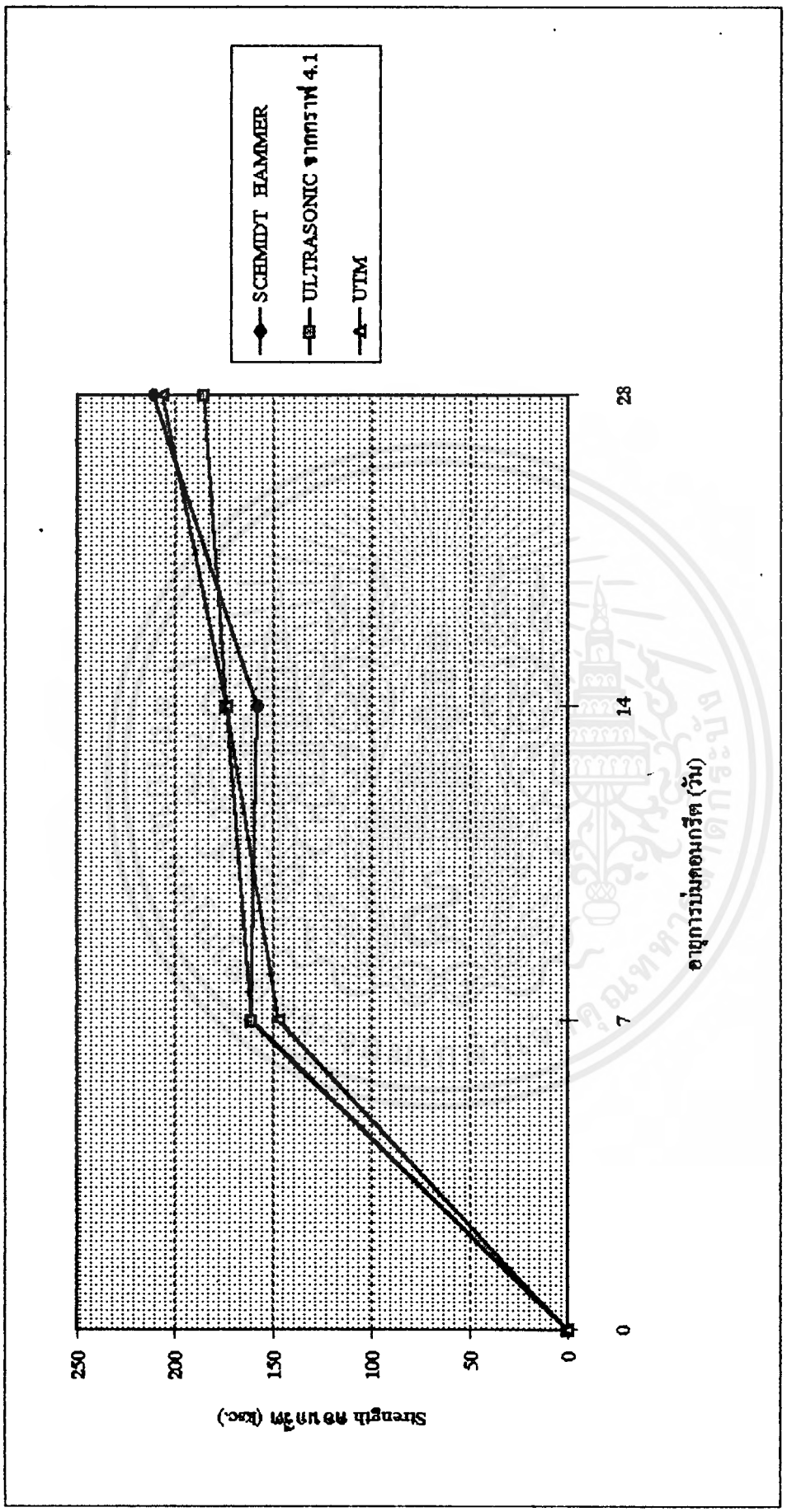


รูปที่ 5.14 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Strength คอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (เสริมเหล็ก) ที่วัดด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับ วิธีให้กำลังอัดโดยตรงเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่ม 28 วัน



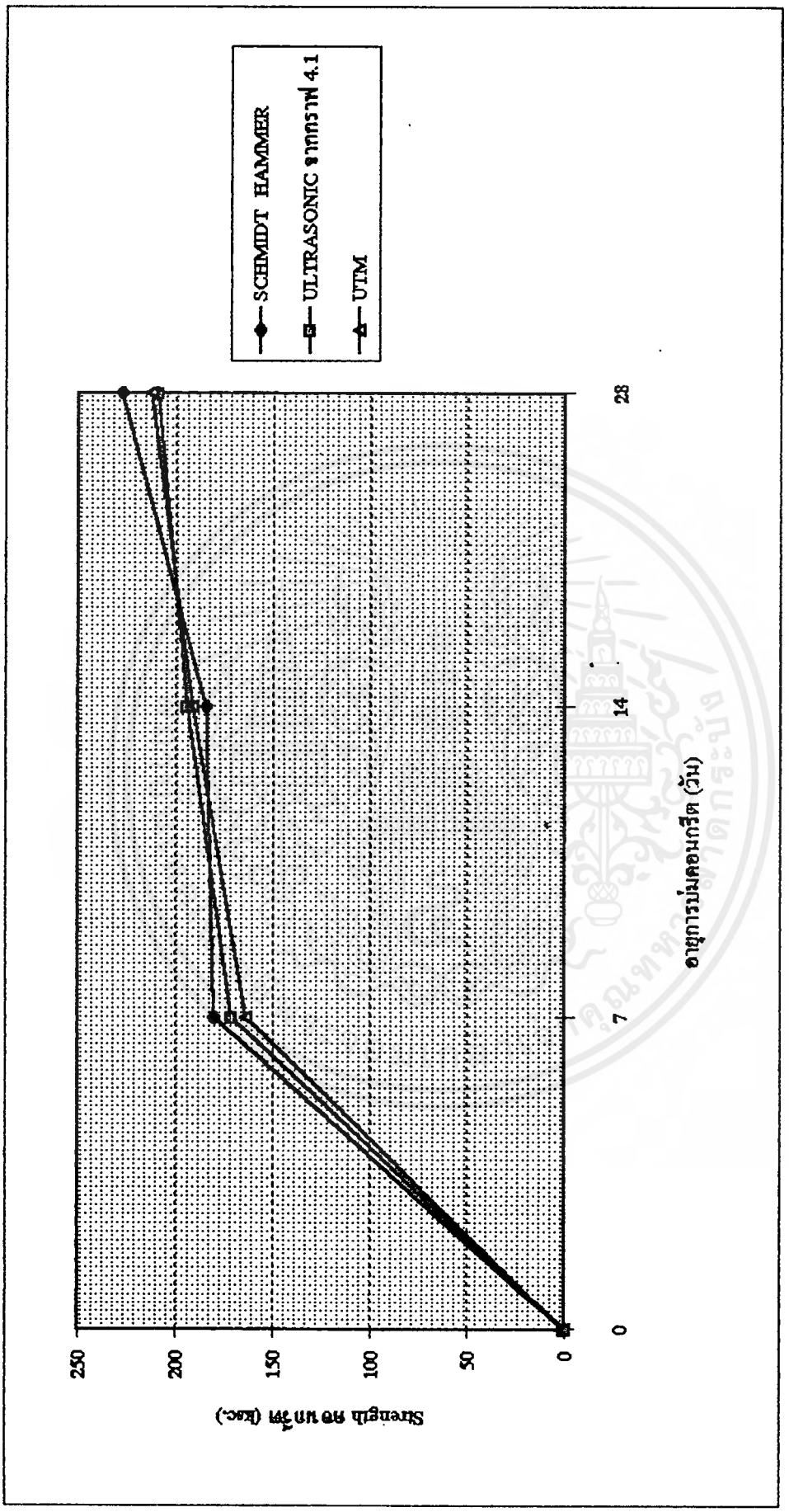
รูปที่ 5.15 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 150 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



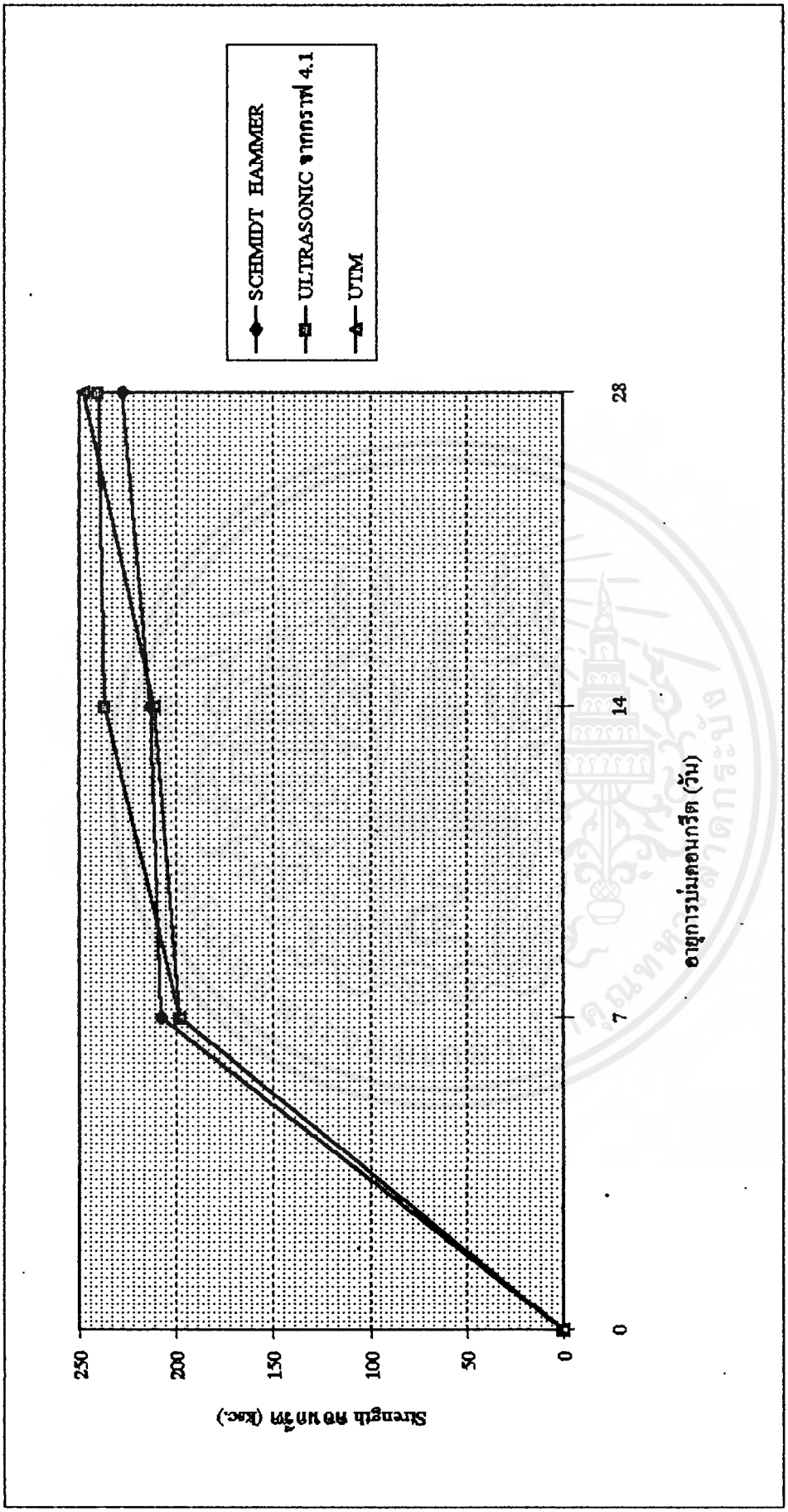
รูปที่ 5.16 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตจากกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 200 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



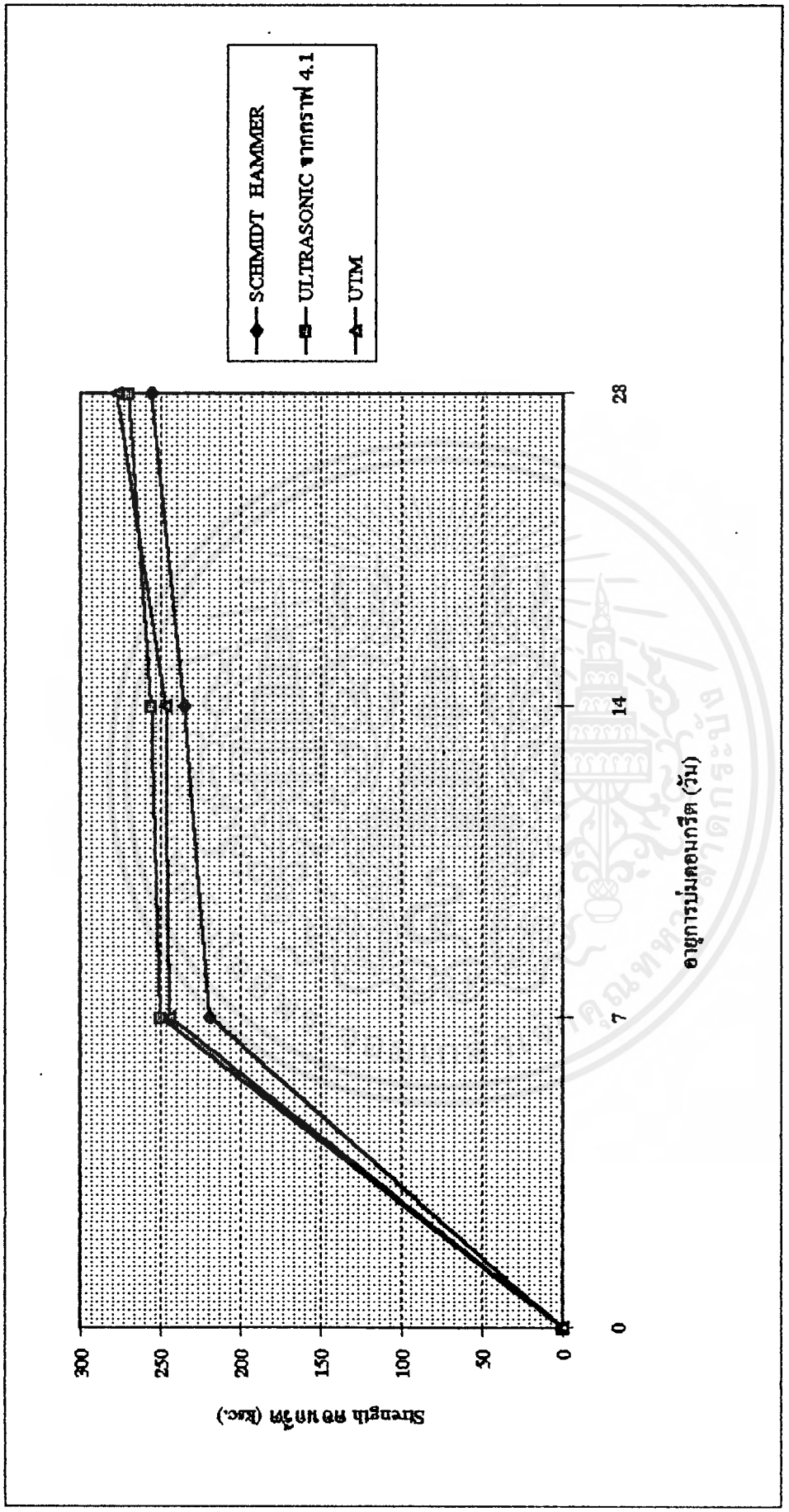
รูปที่ 5.17 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 250 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



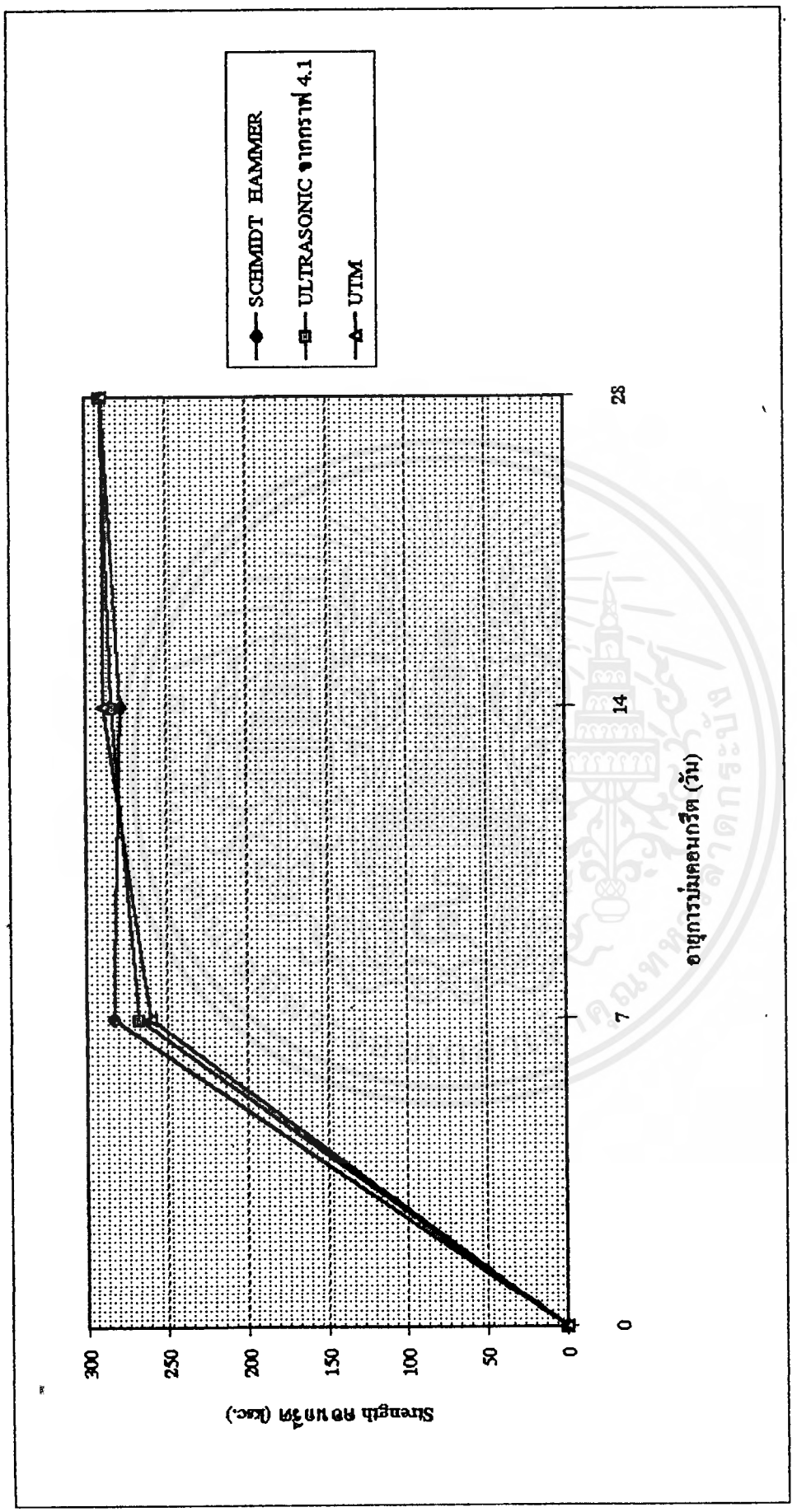
รูปที่ 5.18 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 300 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



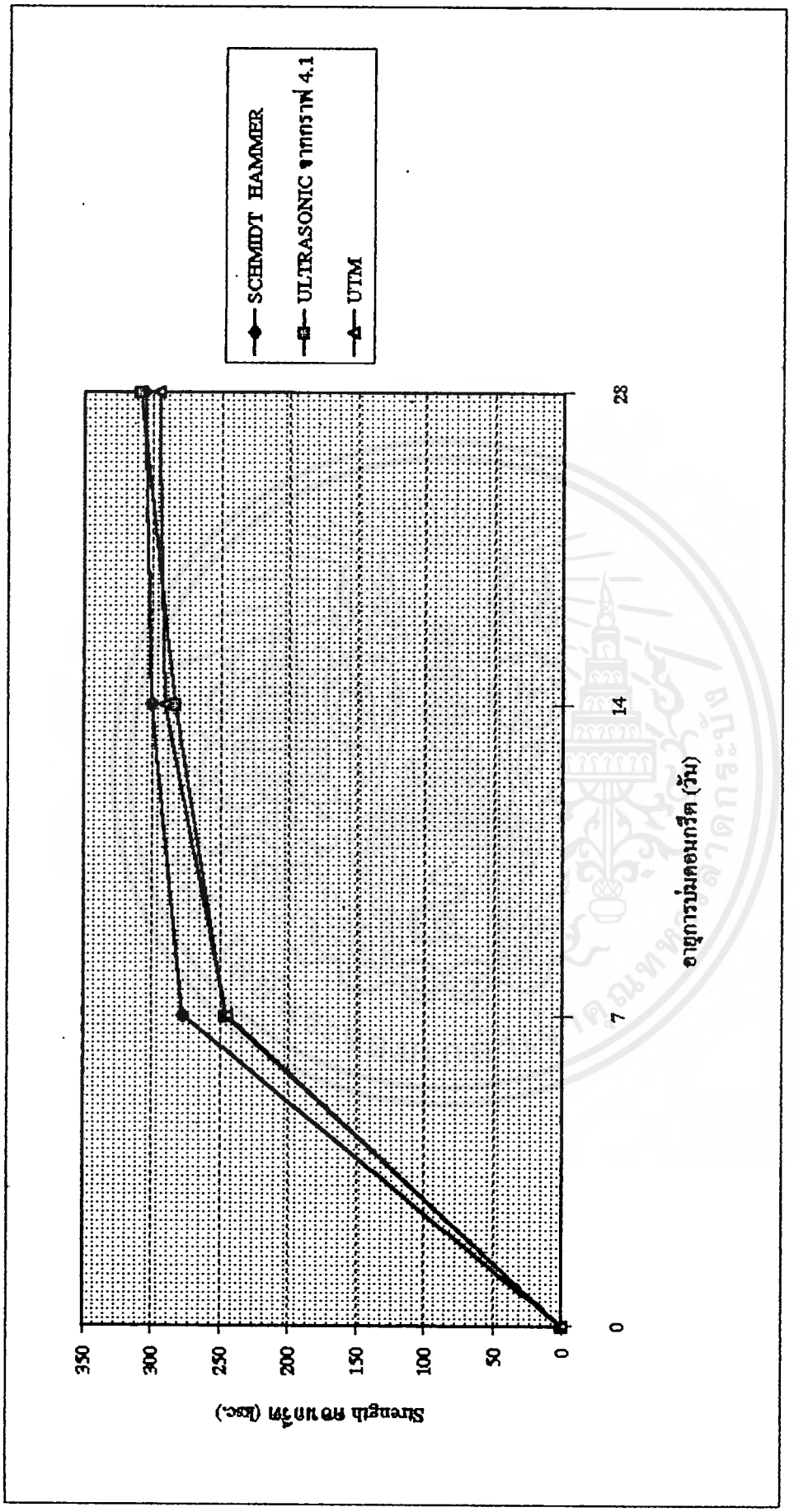
รูปที่ 5.19 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 350 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



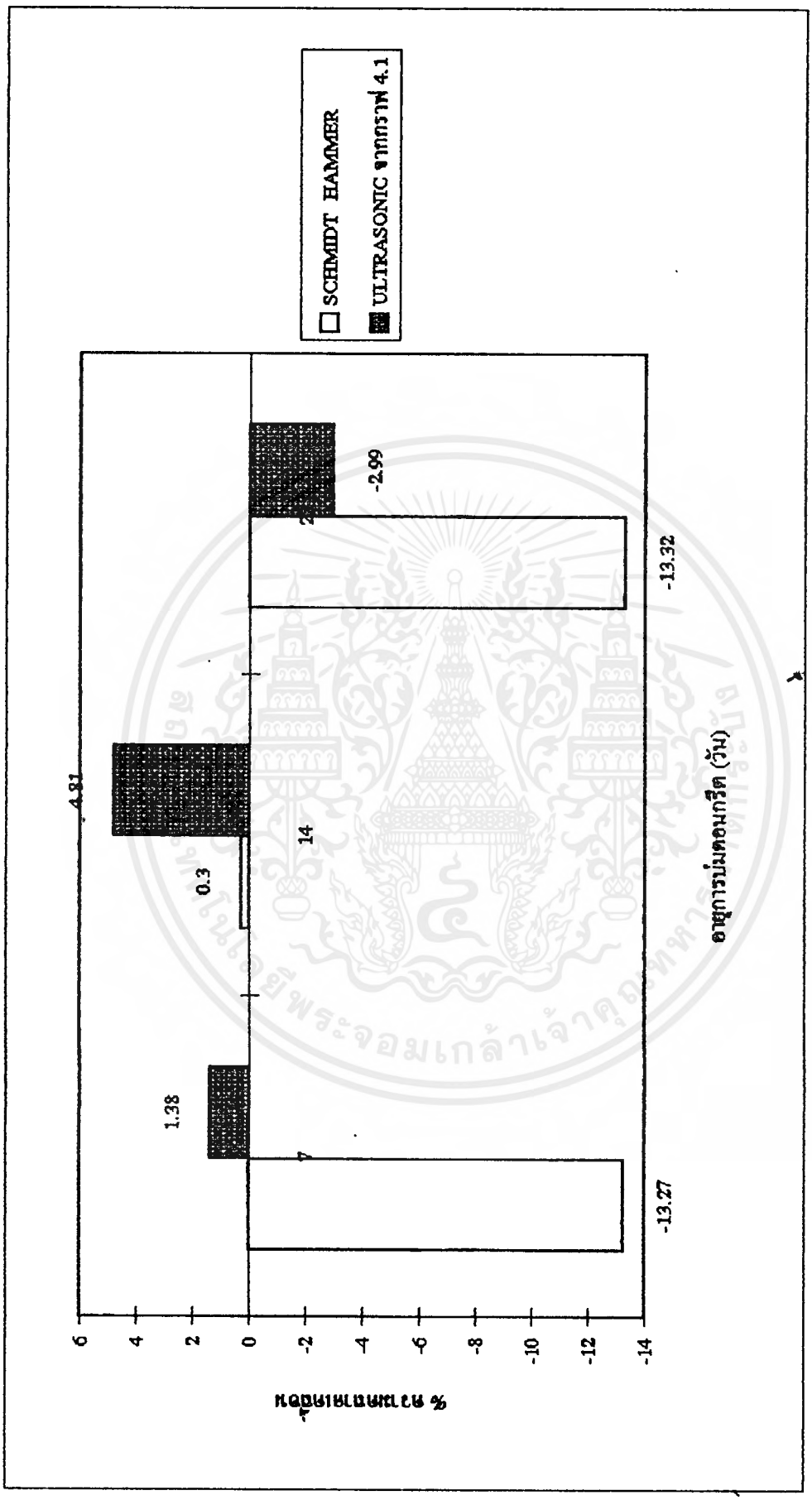
รูปที่ 5.20 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 400 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



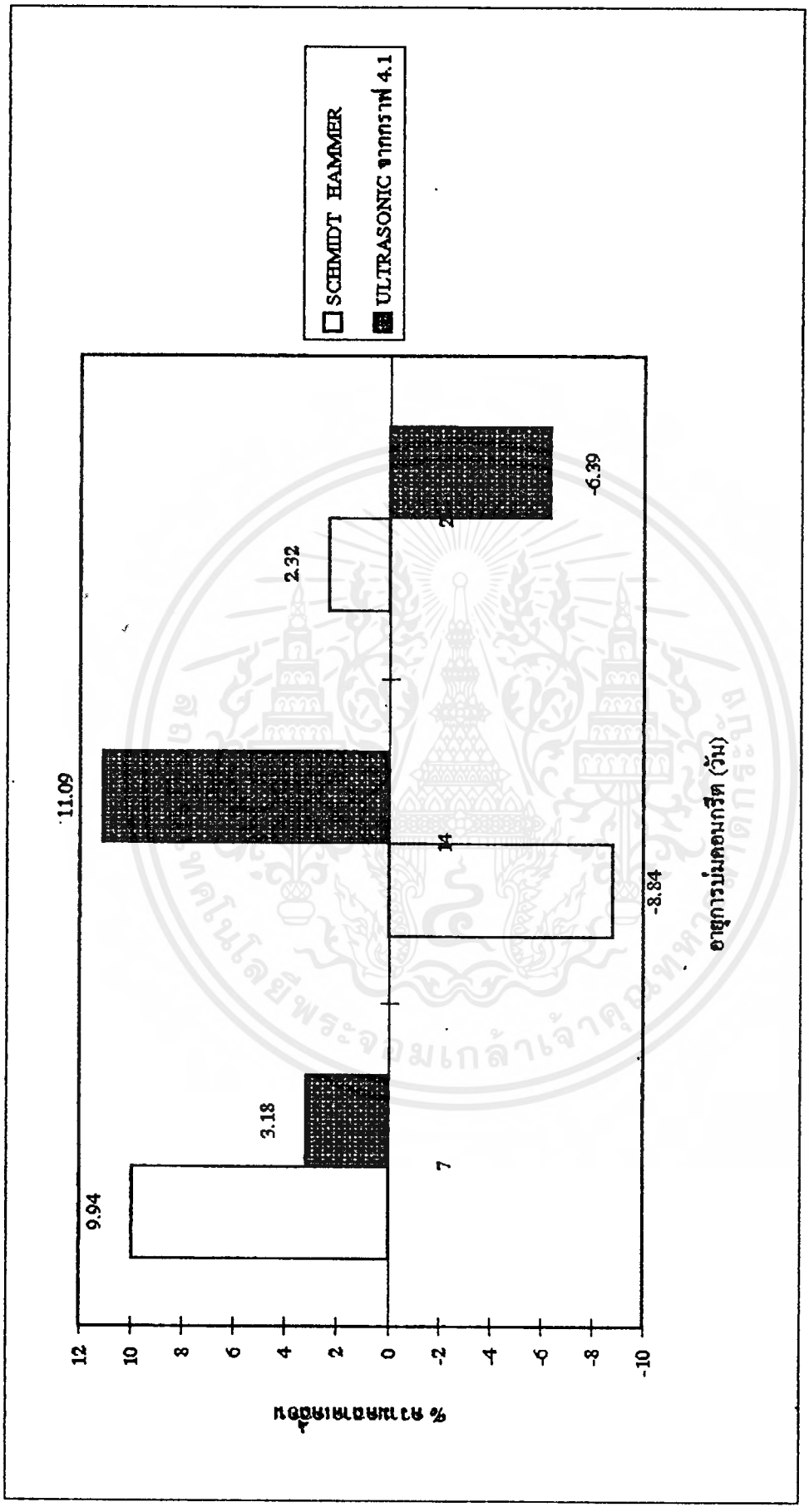
รูปที่ 5.21 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 450 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



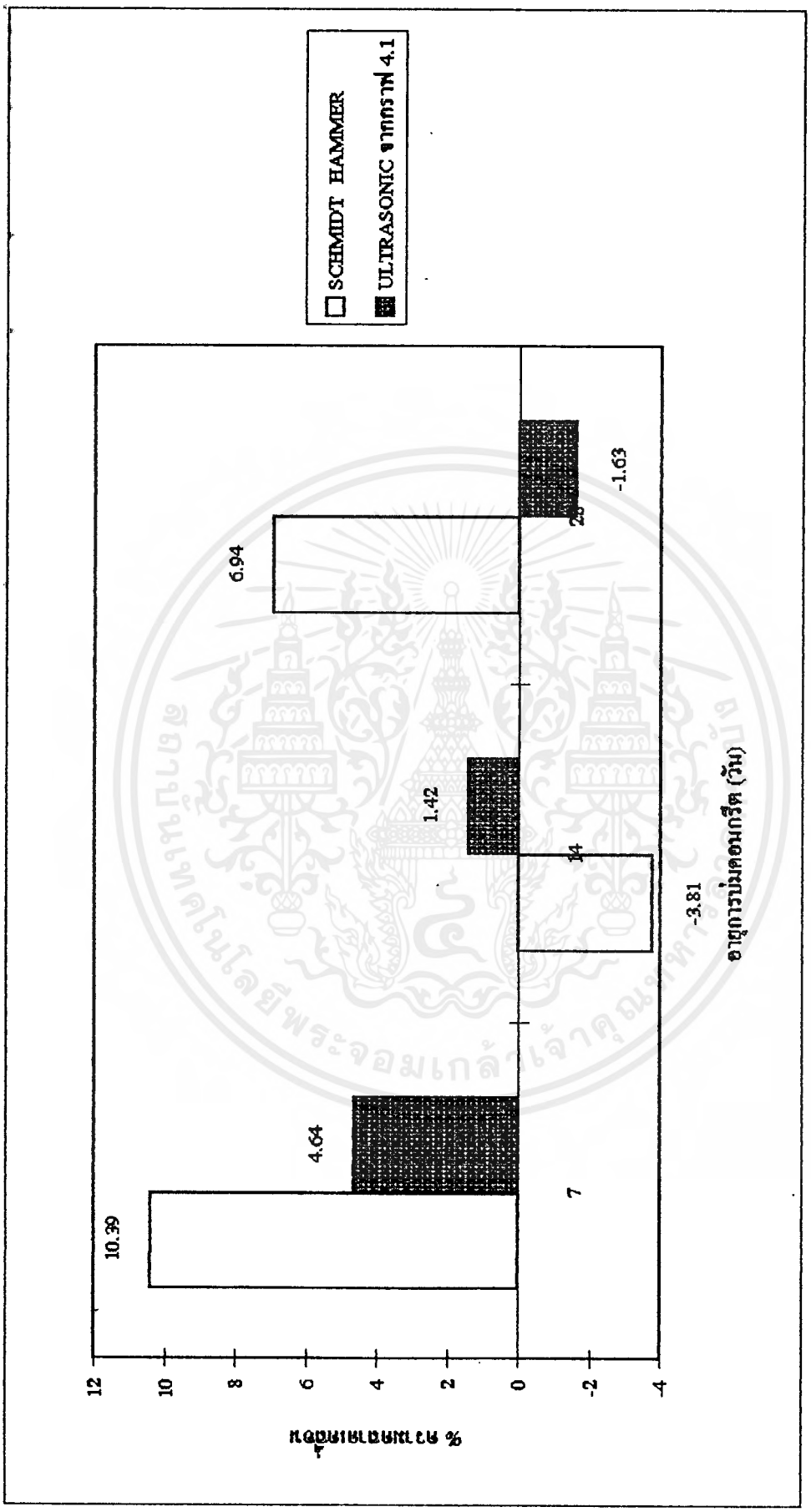
รูปที่ 5.22 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 150 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



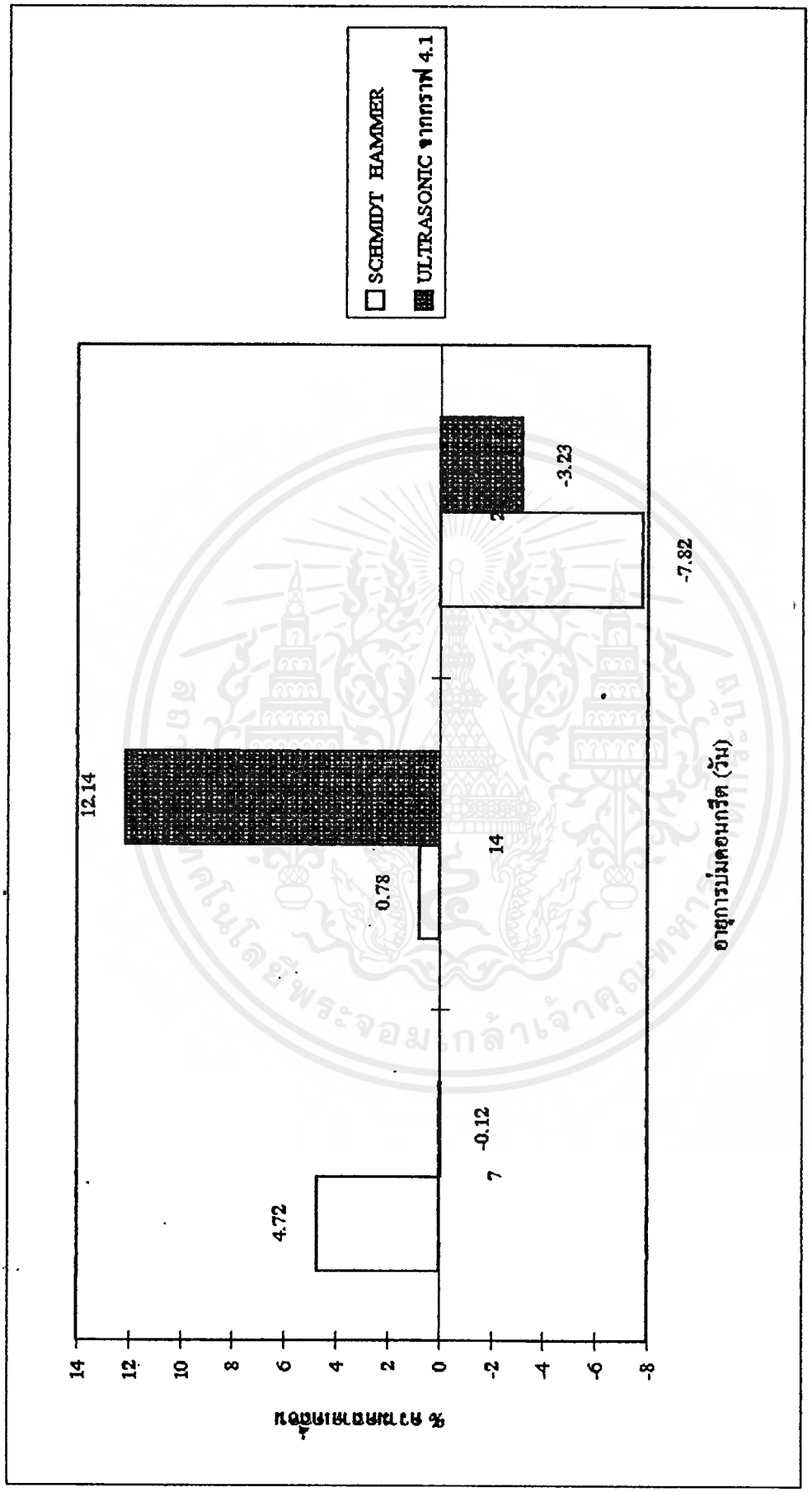
รูปที่ 5.23 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 200 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



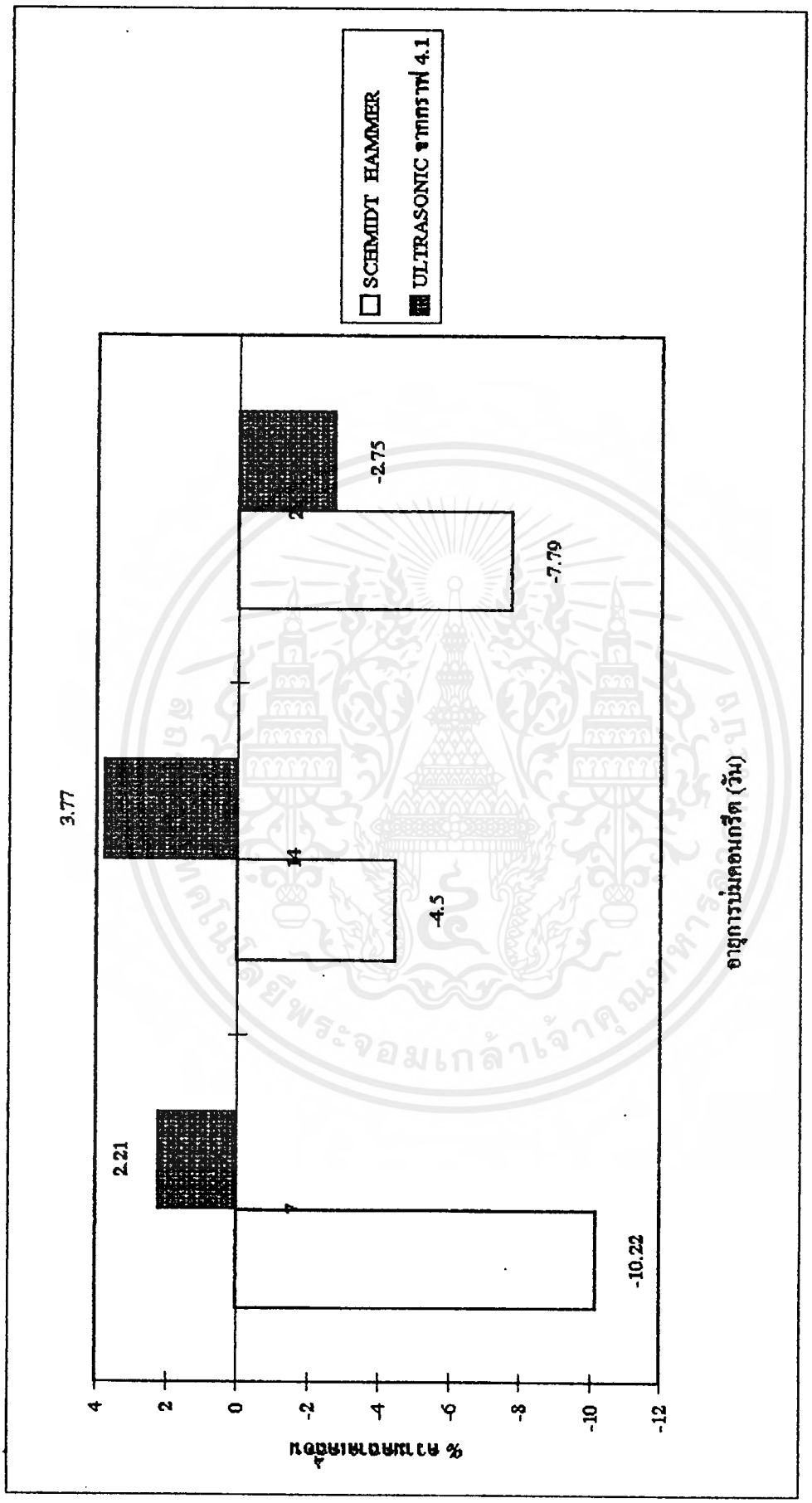
รูปที่ 5.24 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Streagh ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 250 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



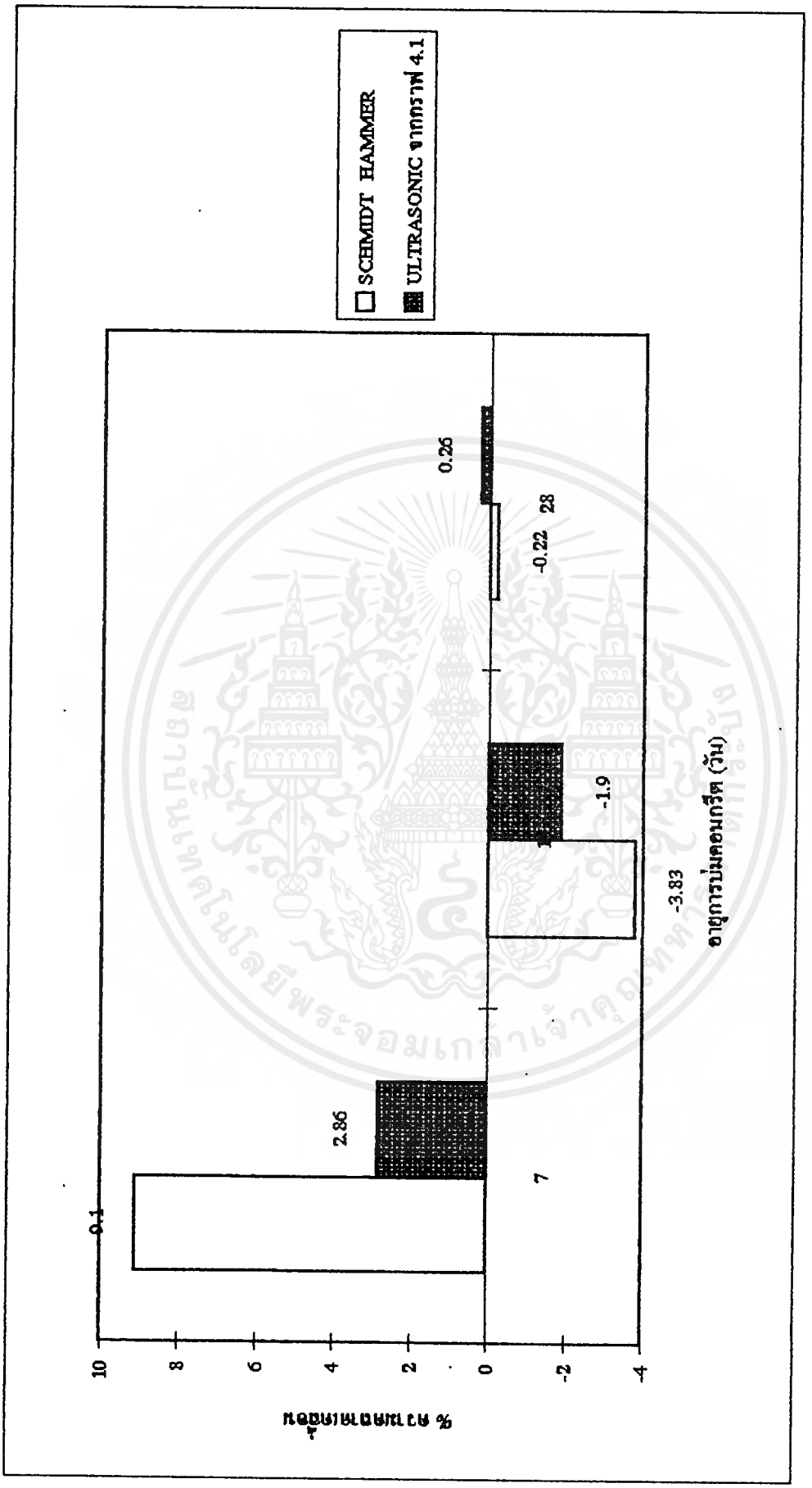
รูปที่ 5.25 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 300 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



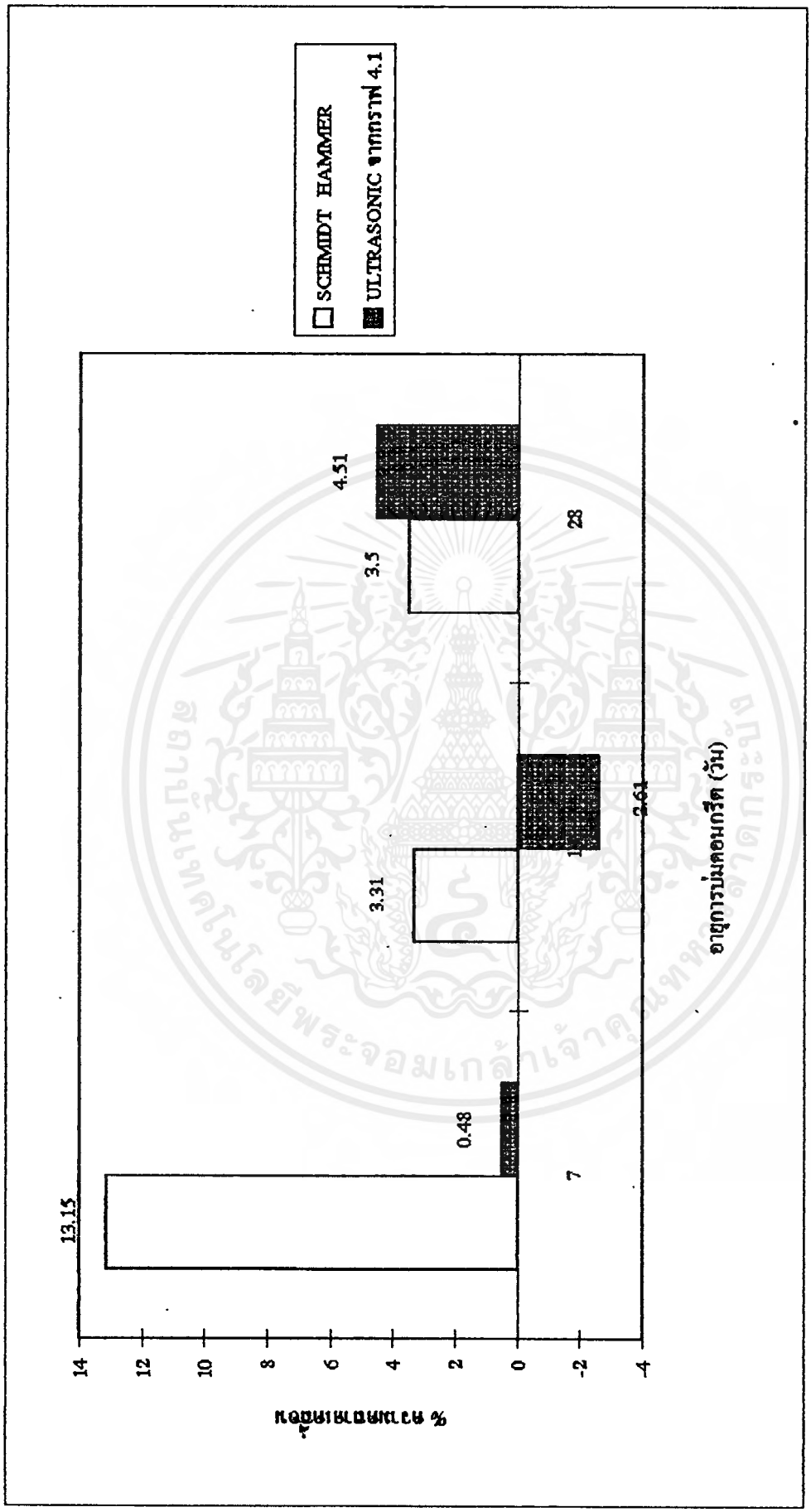
รูปที่ 5.26 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 350 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



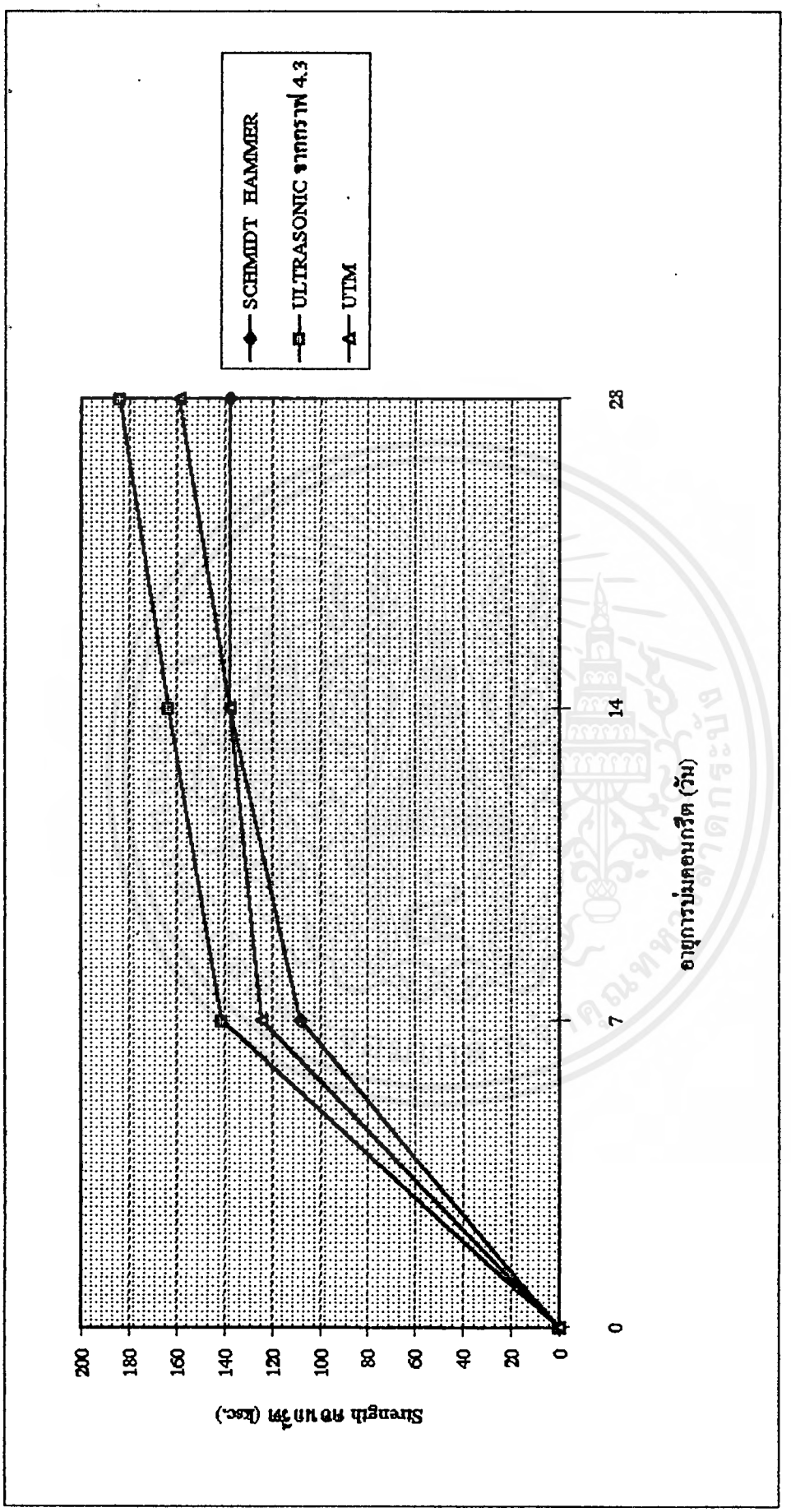
รูปที่ 5.27 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Streagh ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 400 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



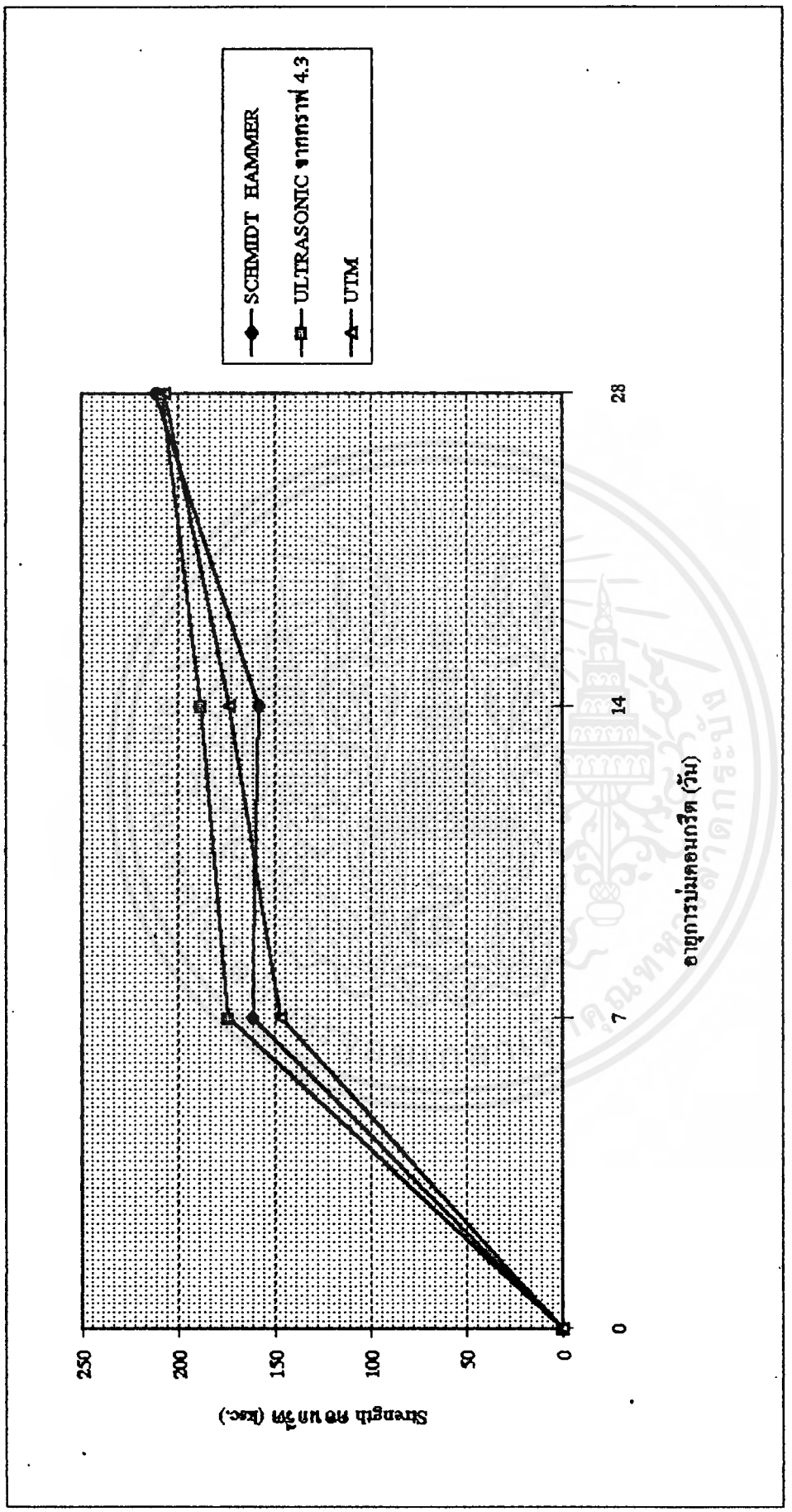
รูปที่ 5.28 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strengh ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 450 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



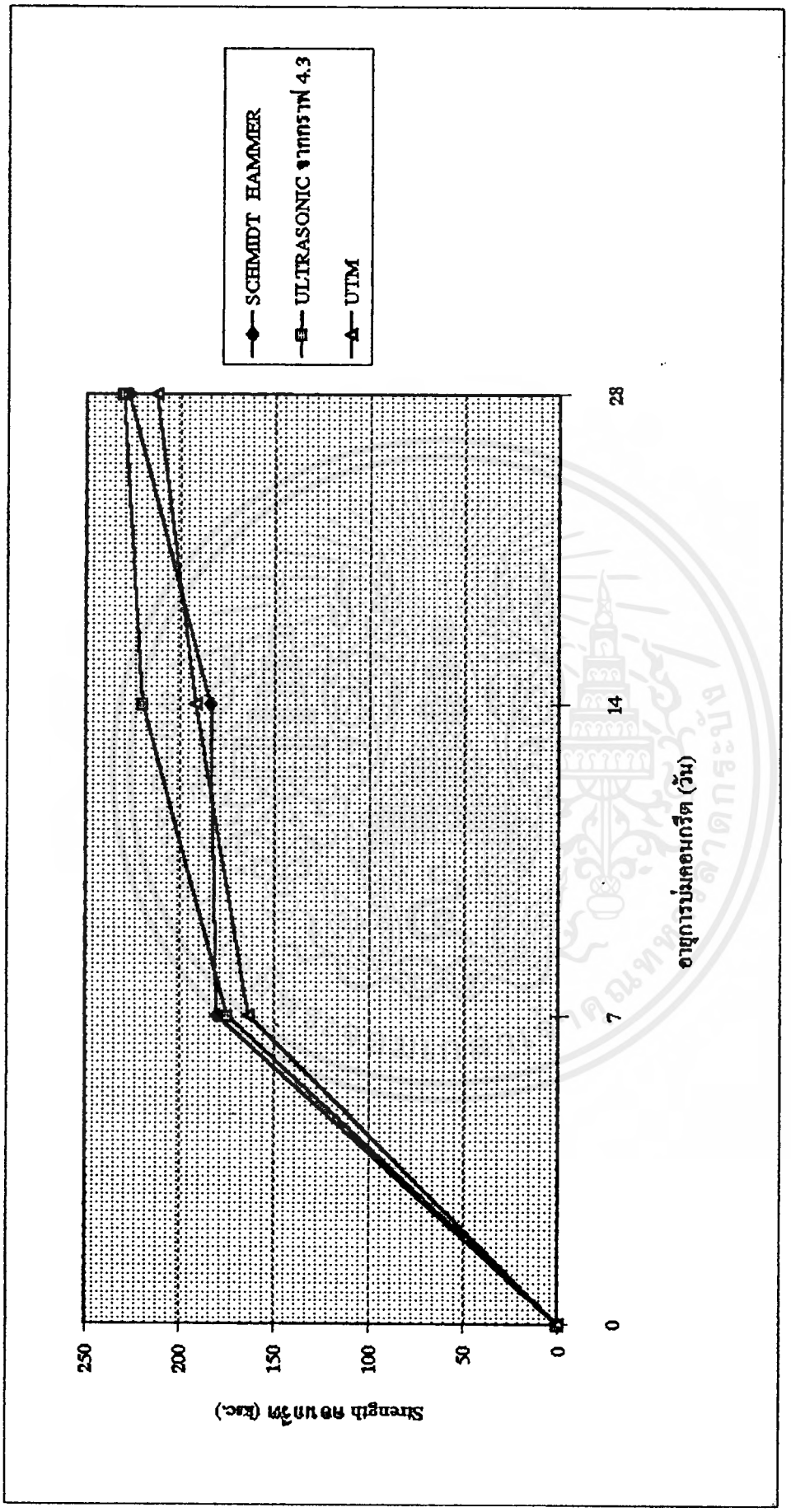
รูปที่ 5.29 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 150 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



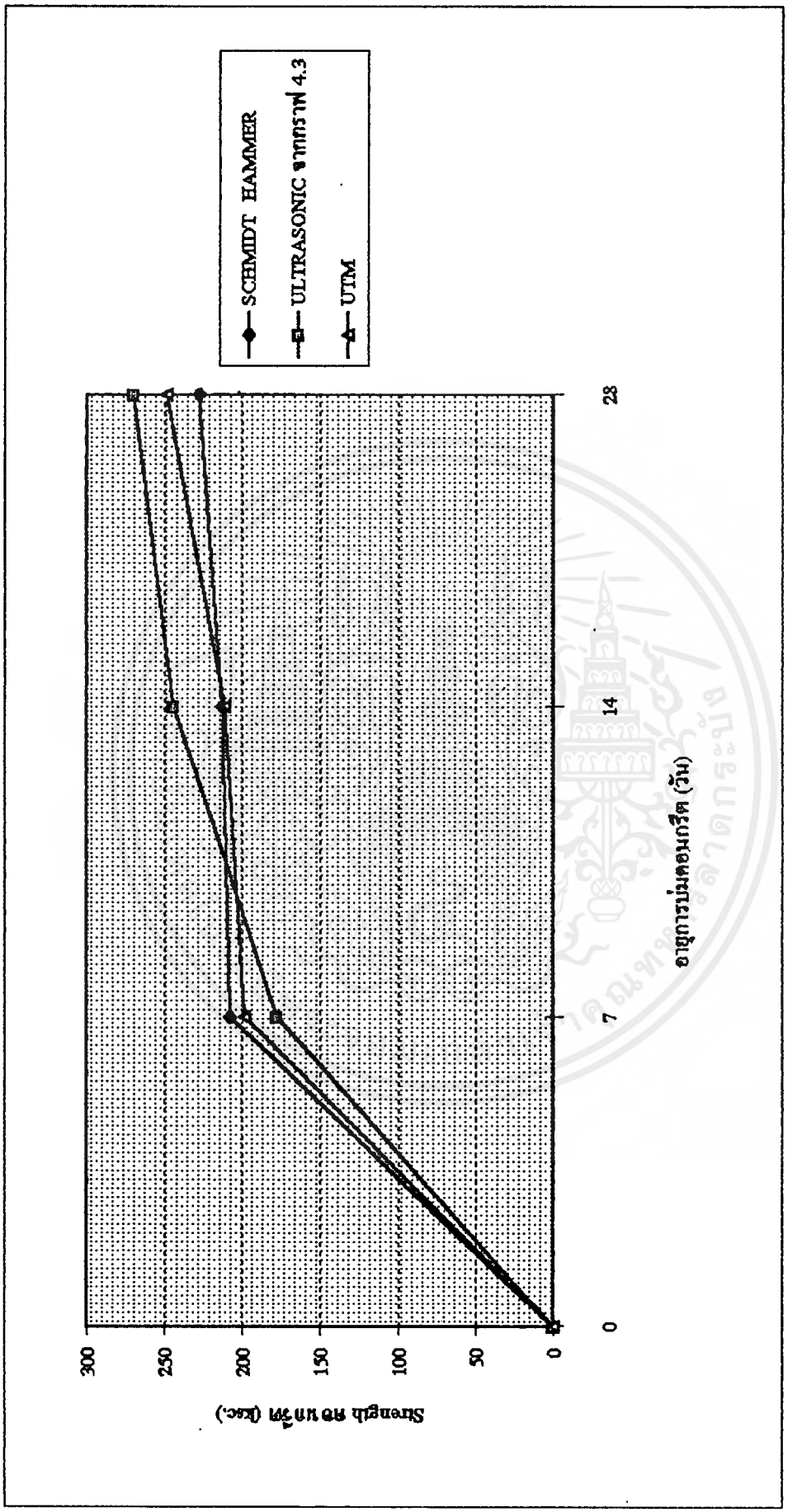
รูปที่ 5.30 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 200 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



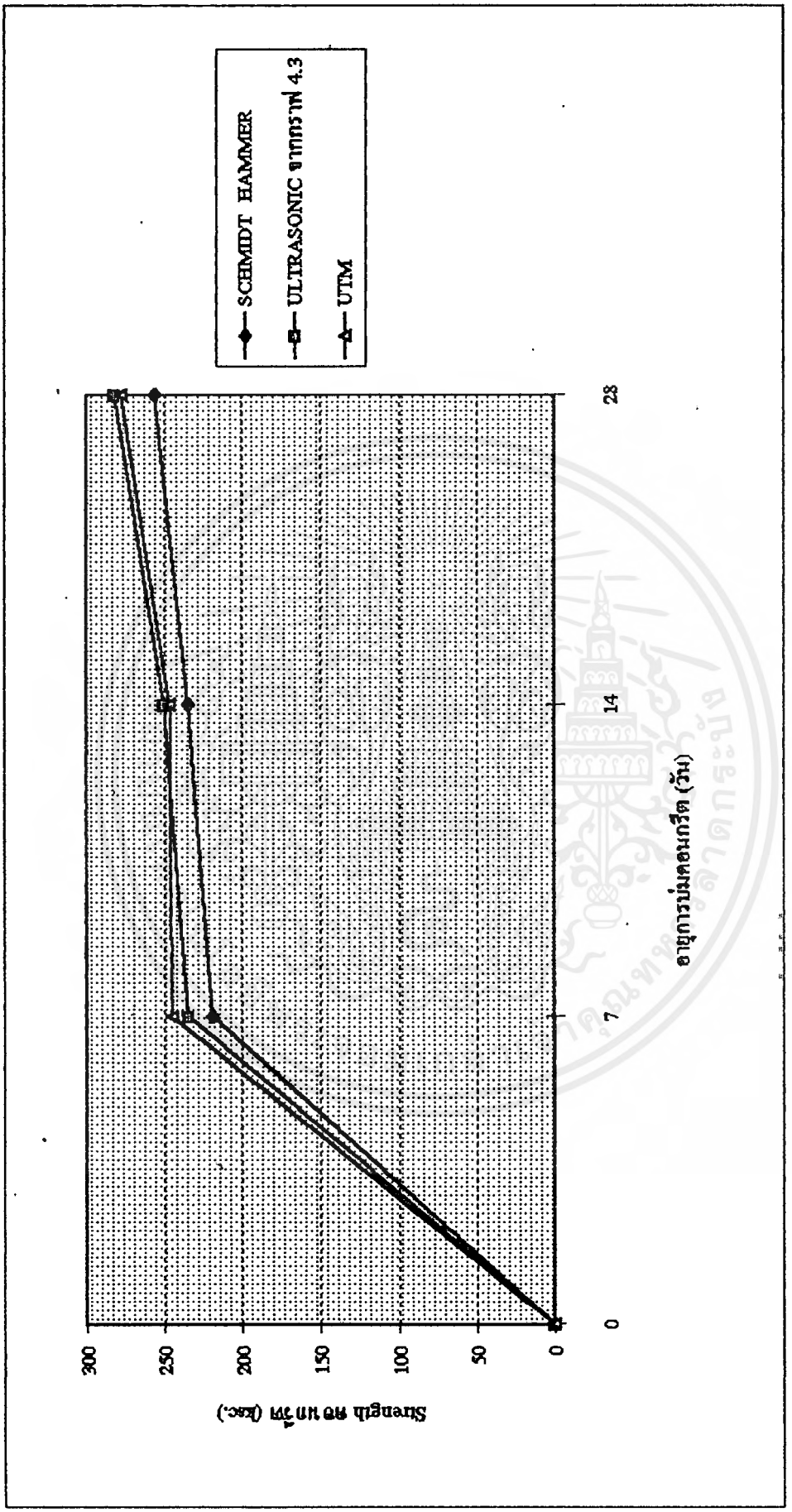
รูปที่ 5.31 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 250 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



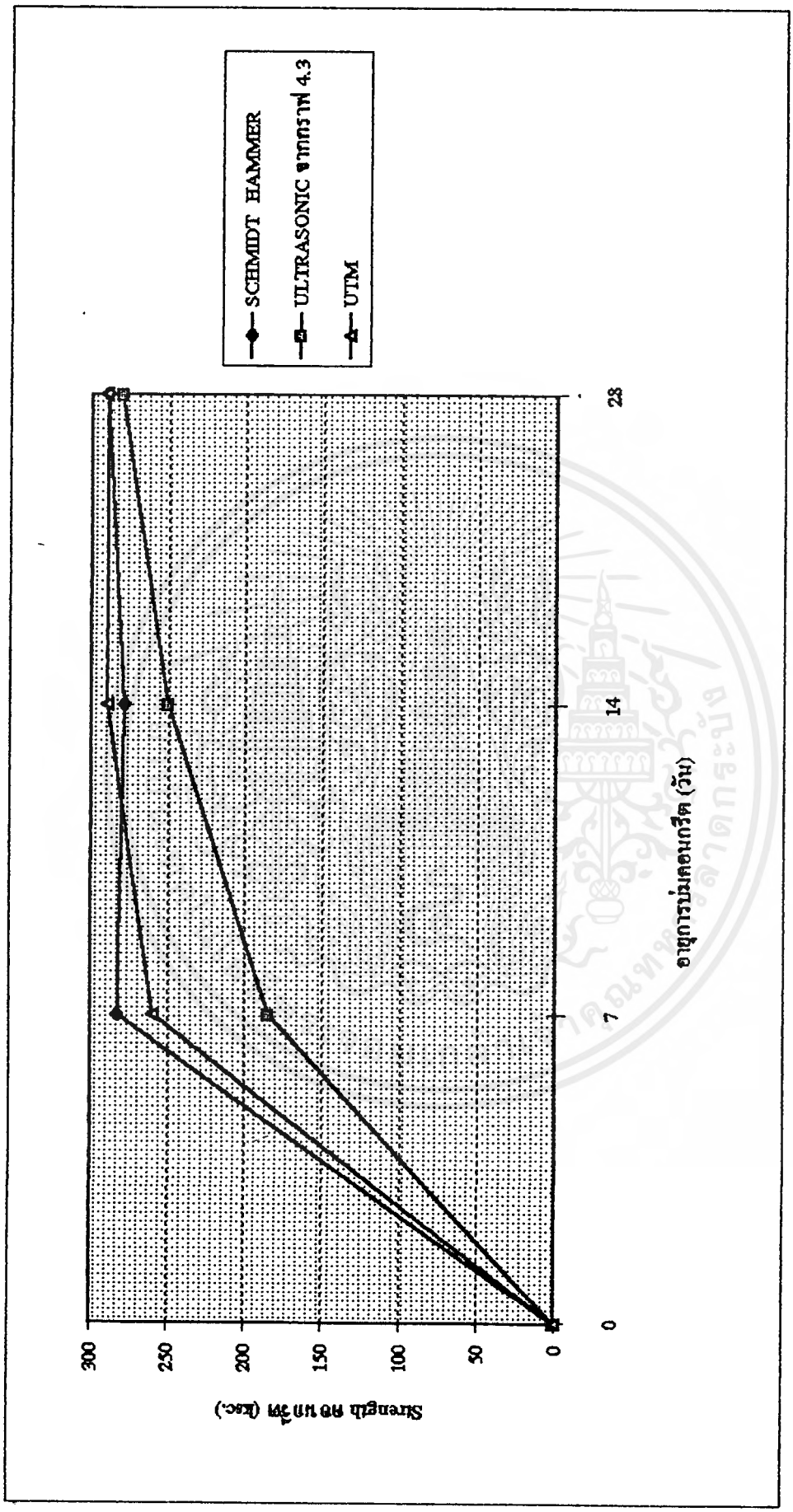
รูปที่ 5.32 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 300 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



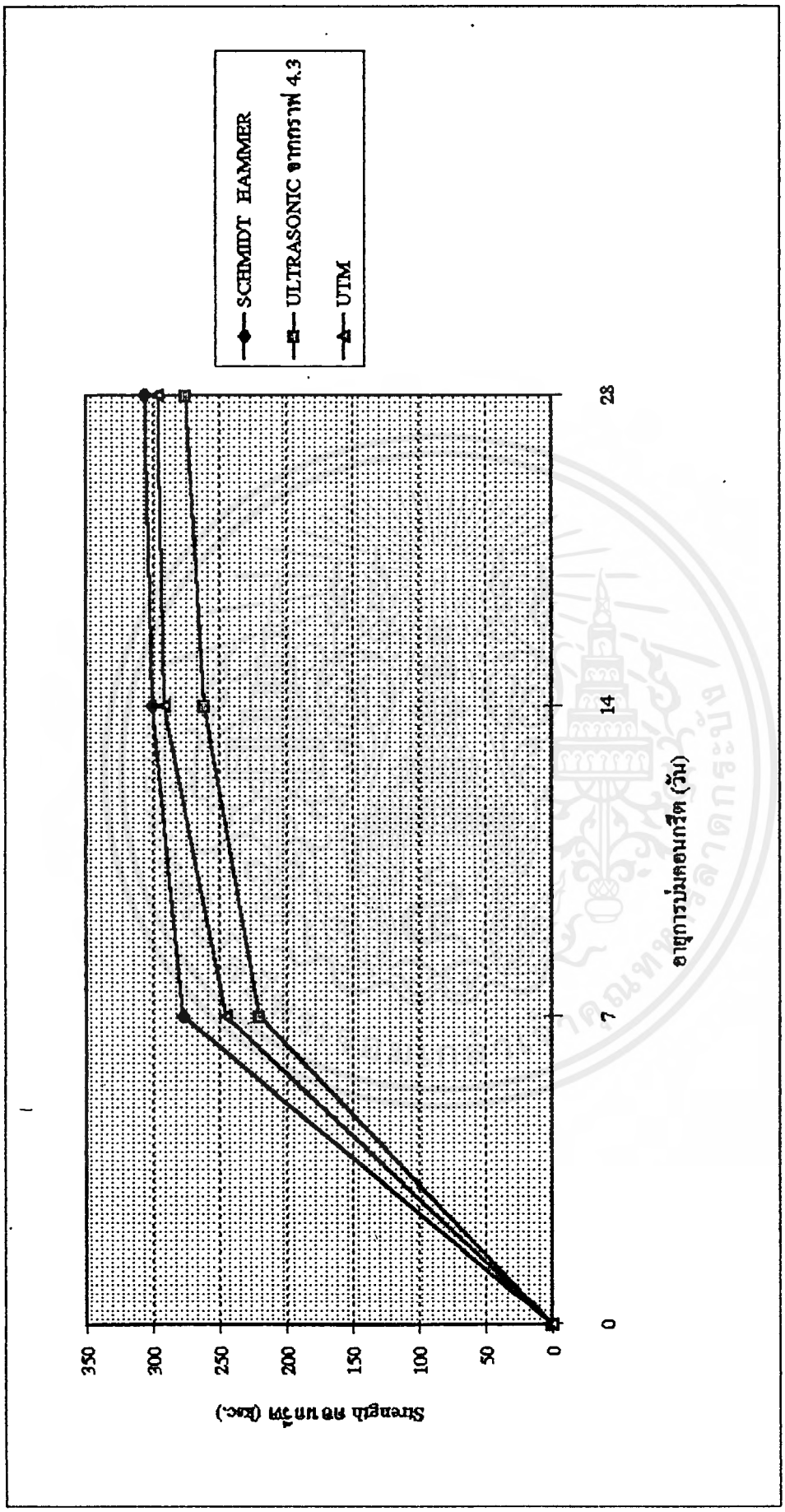
รูปที่ 5.33 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 350 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



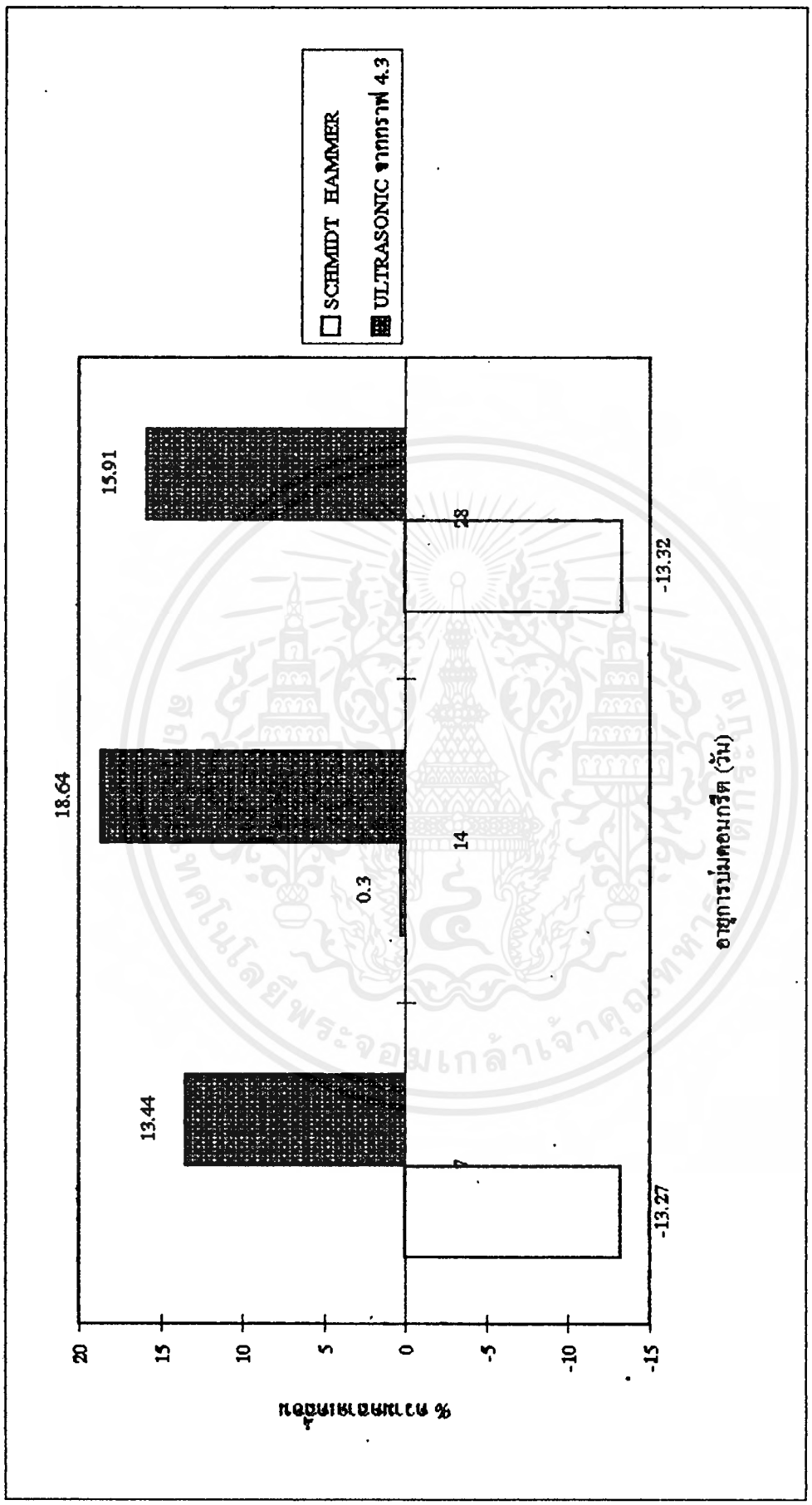
รูปที่ 5.34 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 400 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



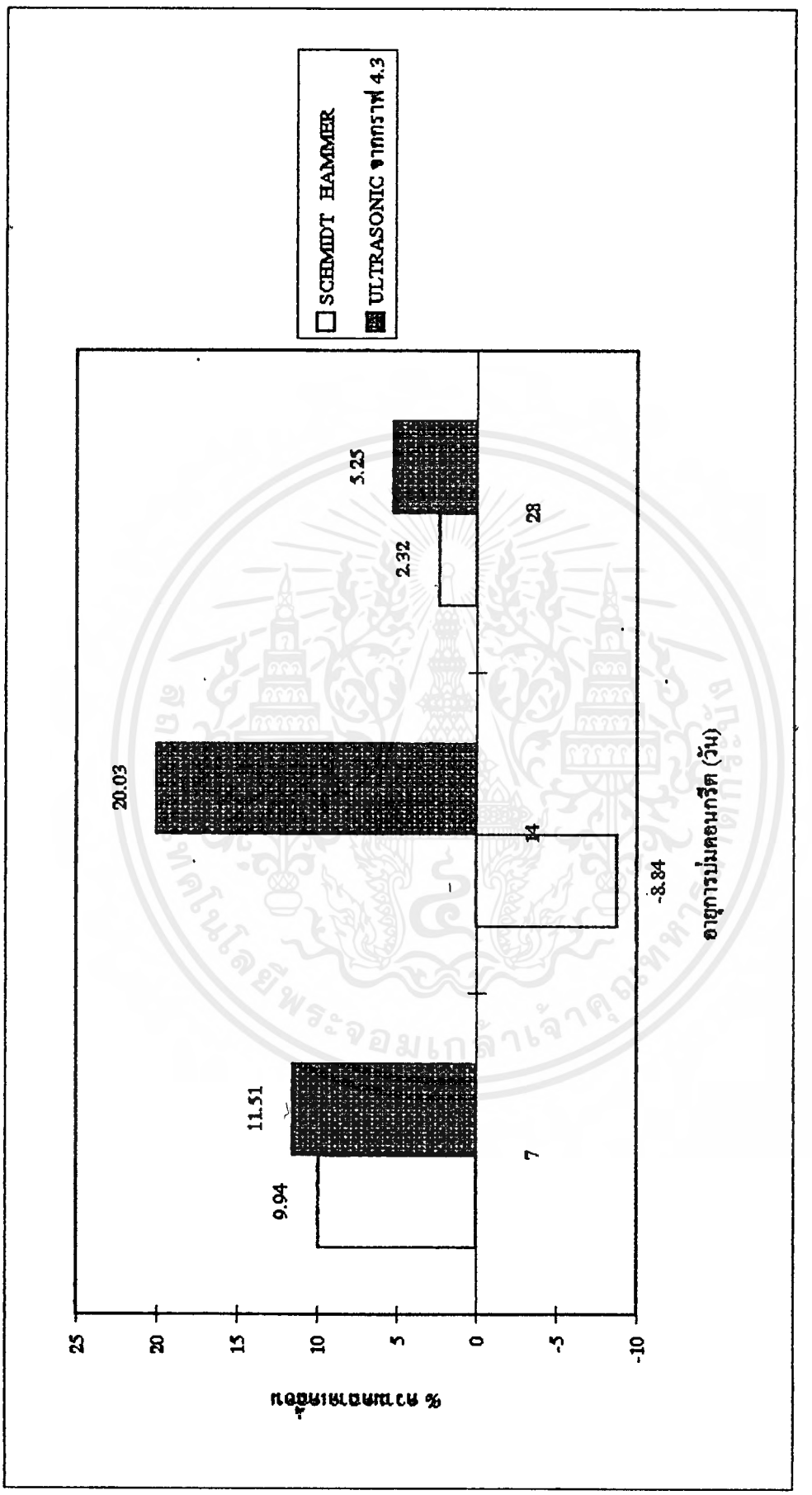
รูปที่ 5.35 กราฟเปรียบเทียบ Strength คอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่อายุการบ่มต่างๆ mixdesign คอนกรีต 450 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



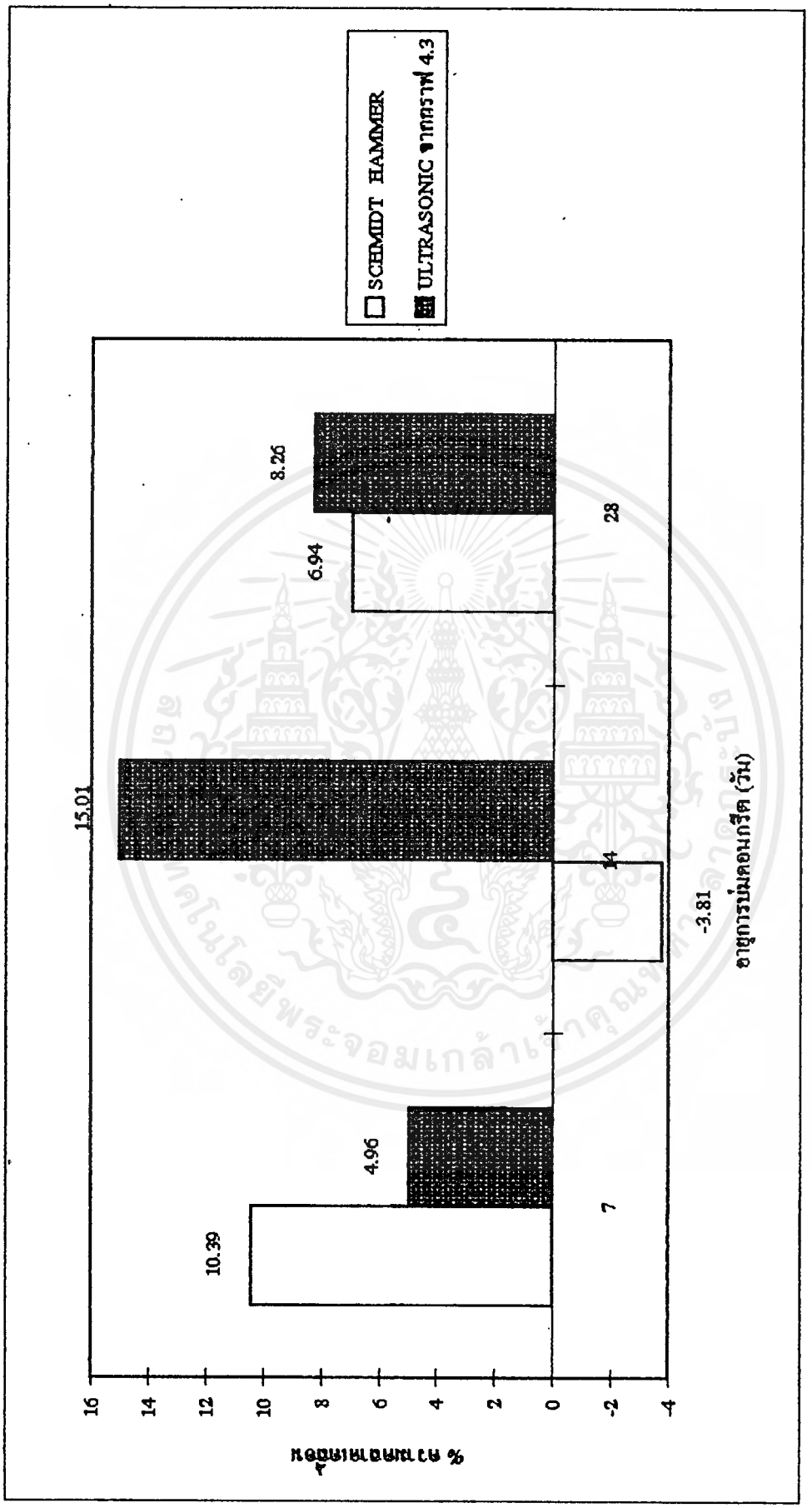
รูปที่ 5.36 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strengh ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 150 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



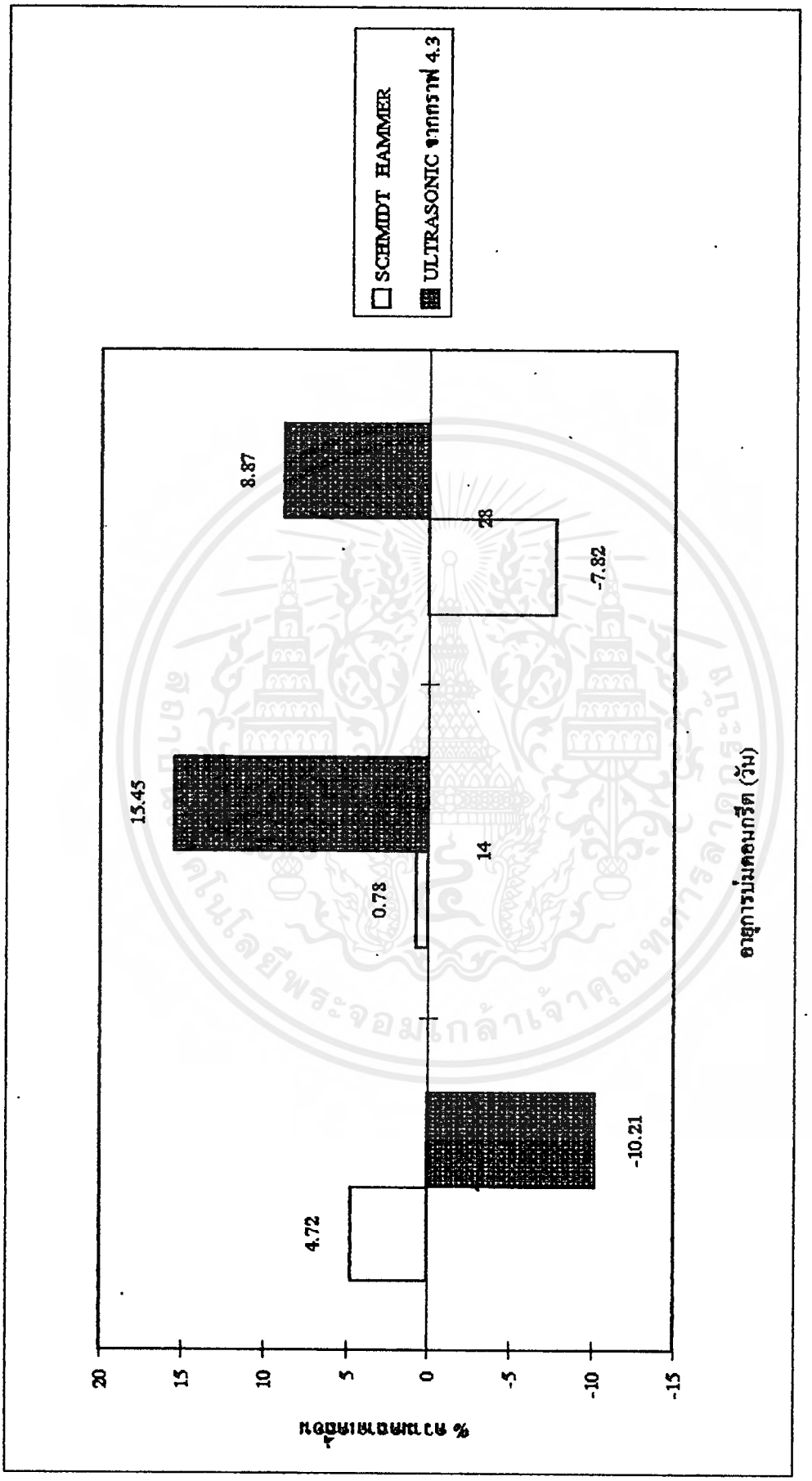
รูปที่ 5.37 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 200 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



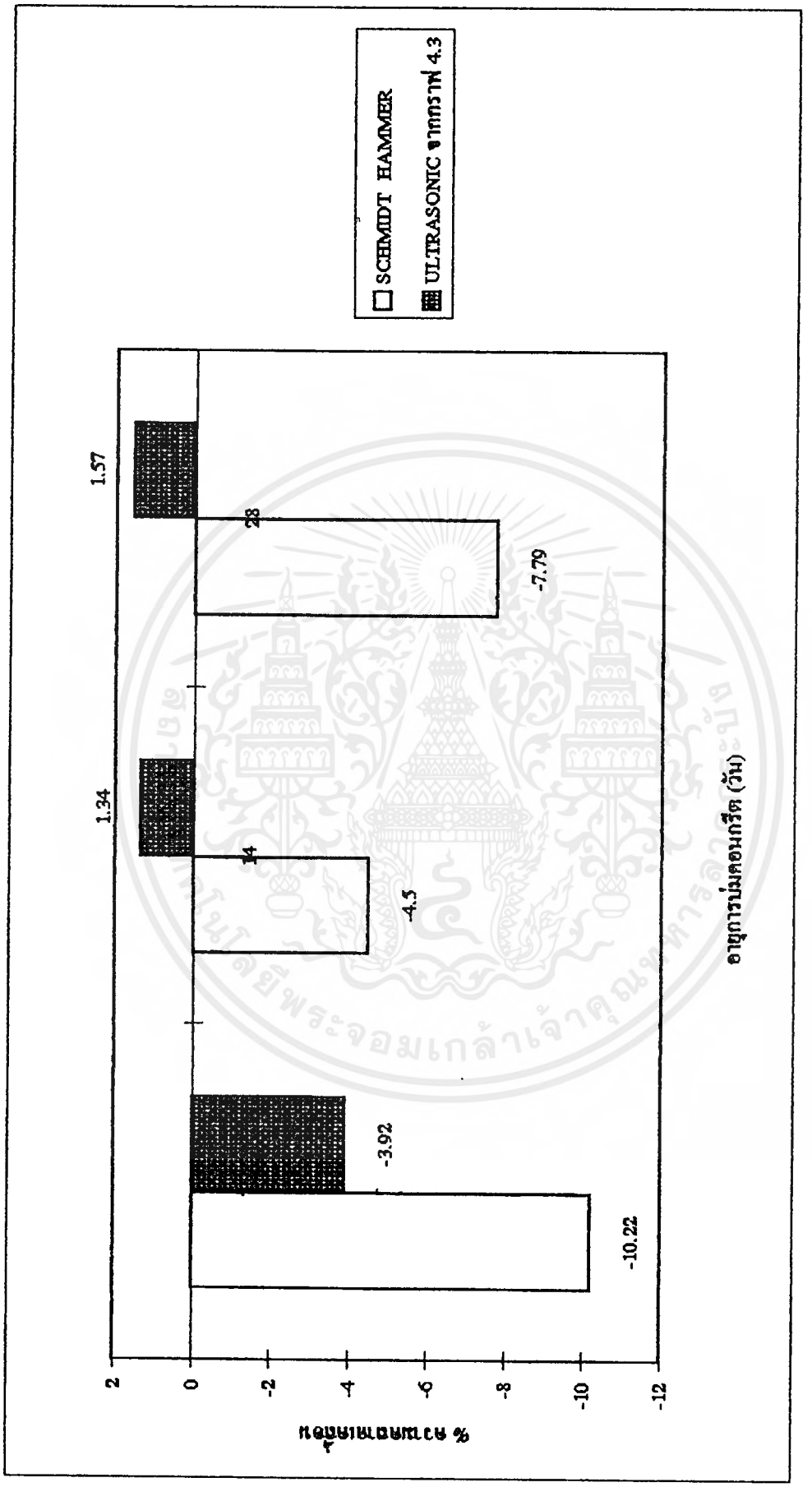
รูปที่ 5.38 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Stength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 250 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



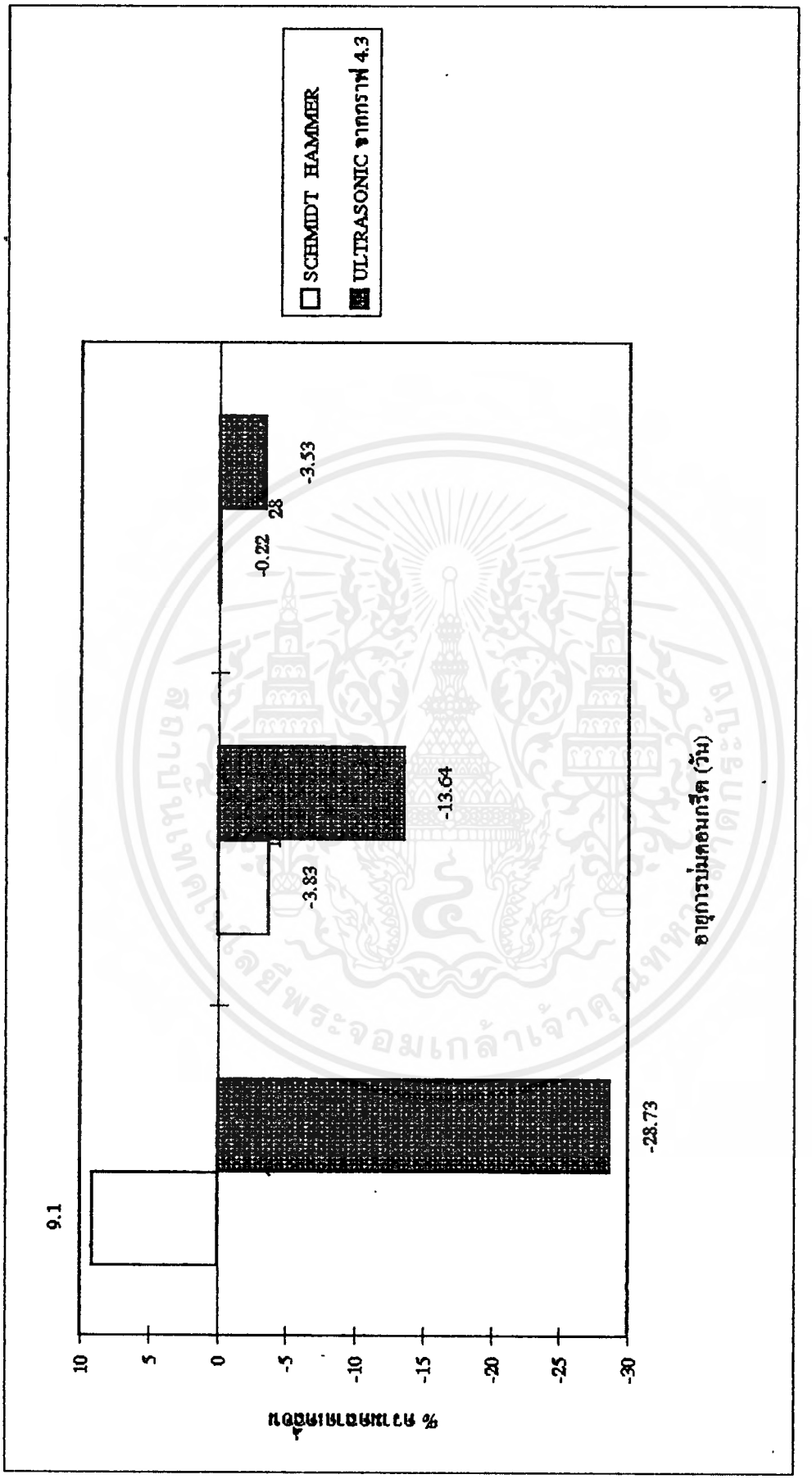
รูปที่ 5.39 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strngth ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 300 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



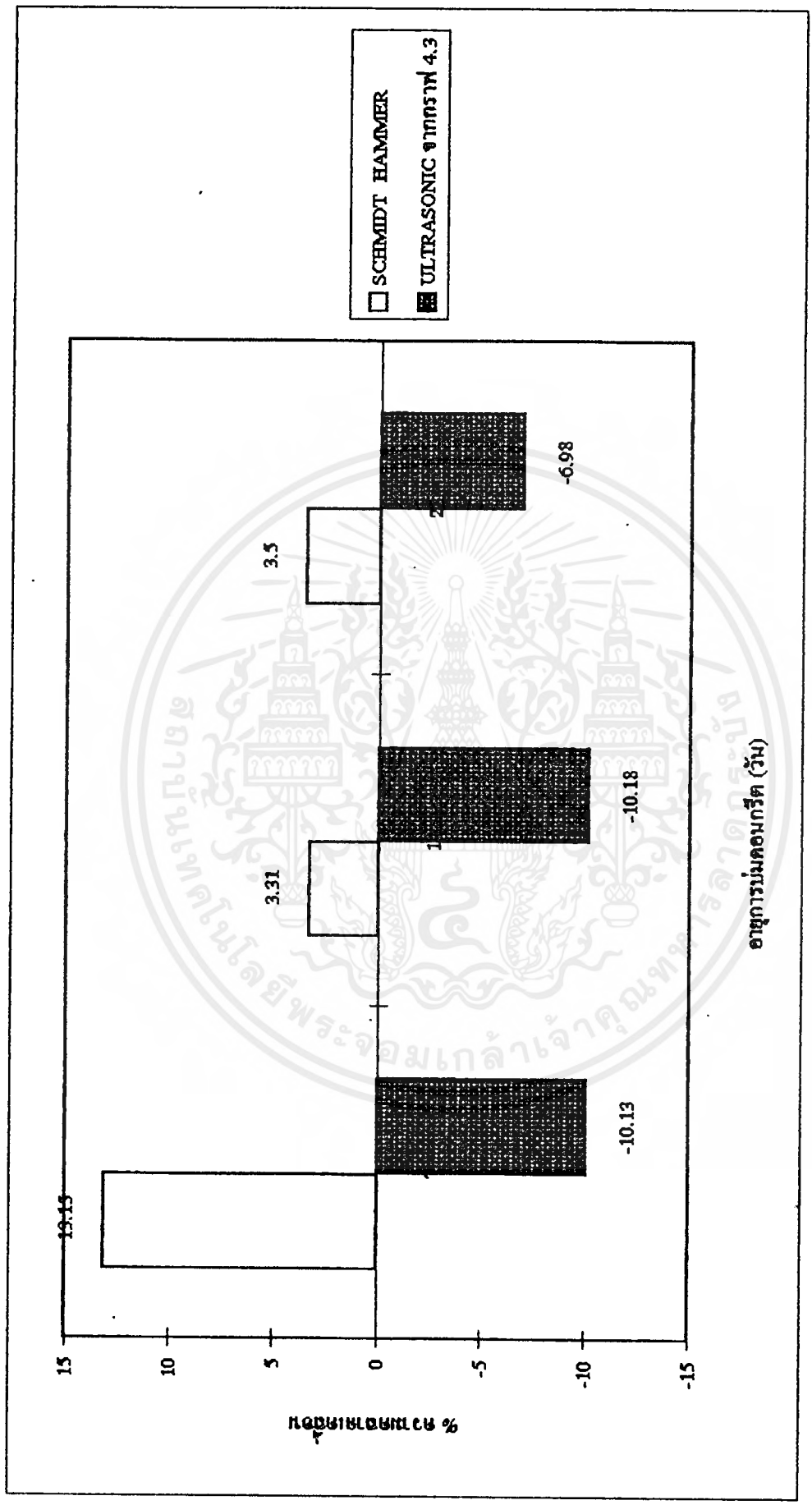
รูปที่ 5.40 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Streagh ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 350 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



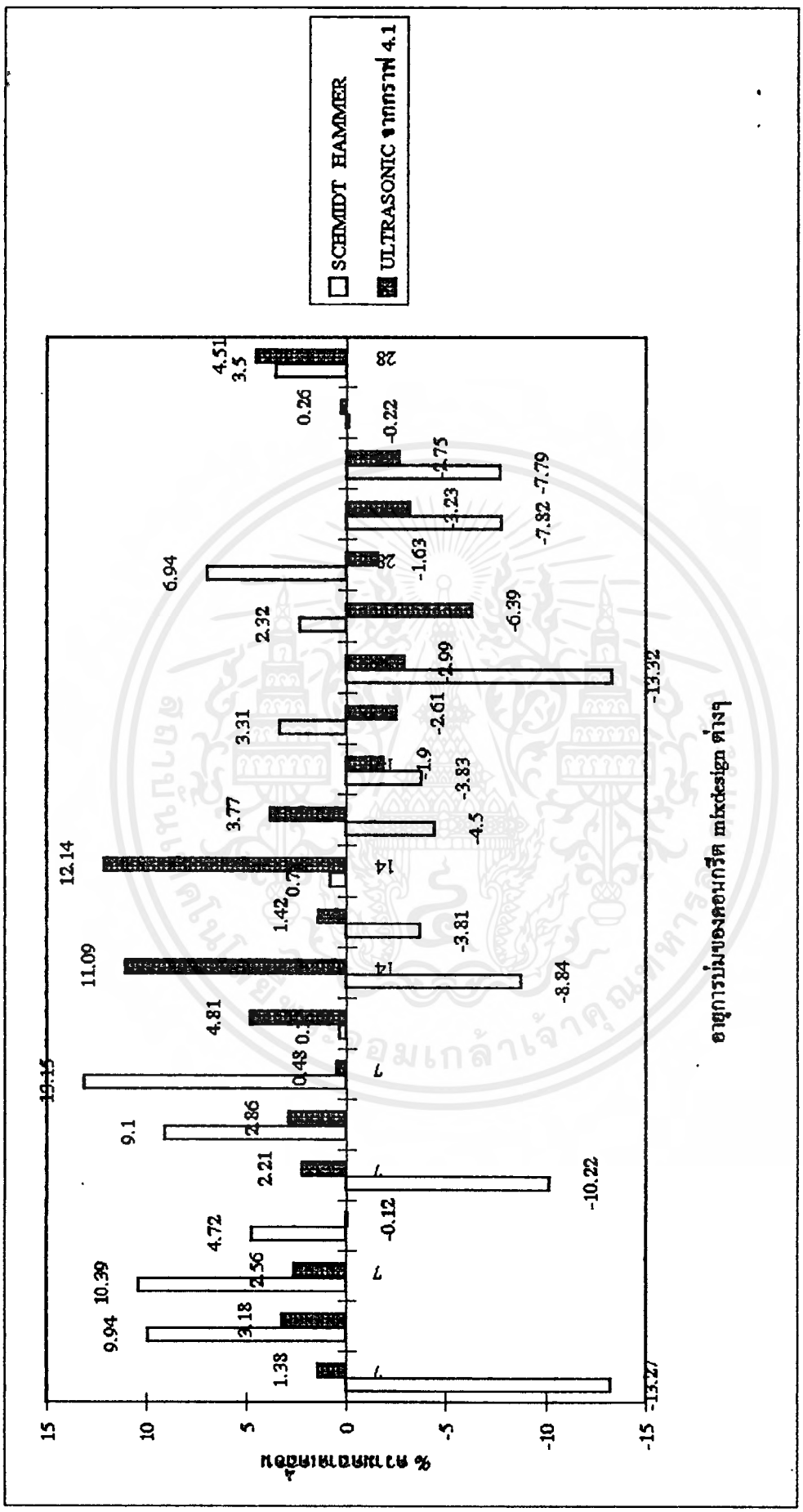
รูปที่ 5.41 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strength ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 400 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



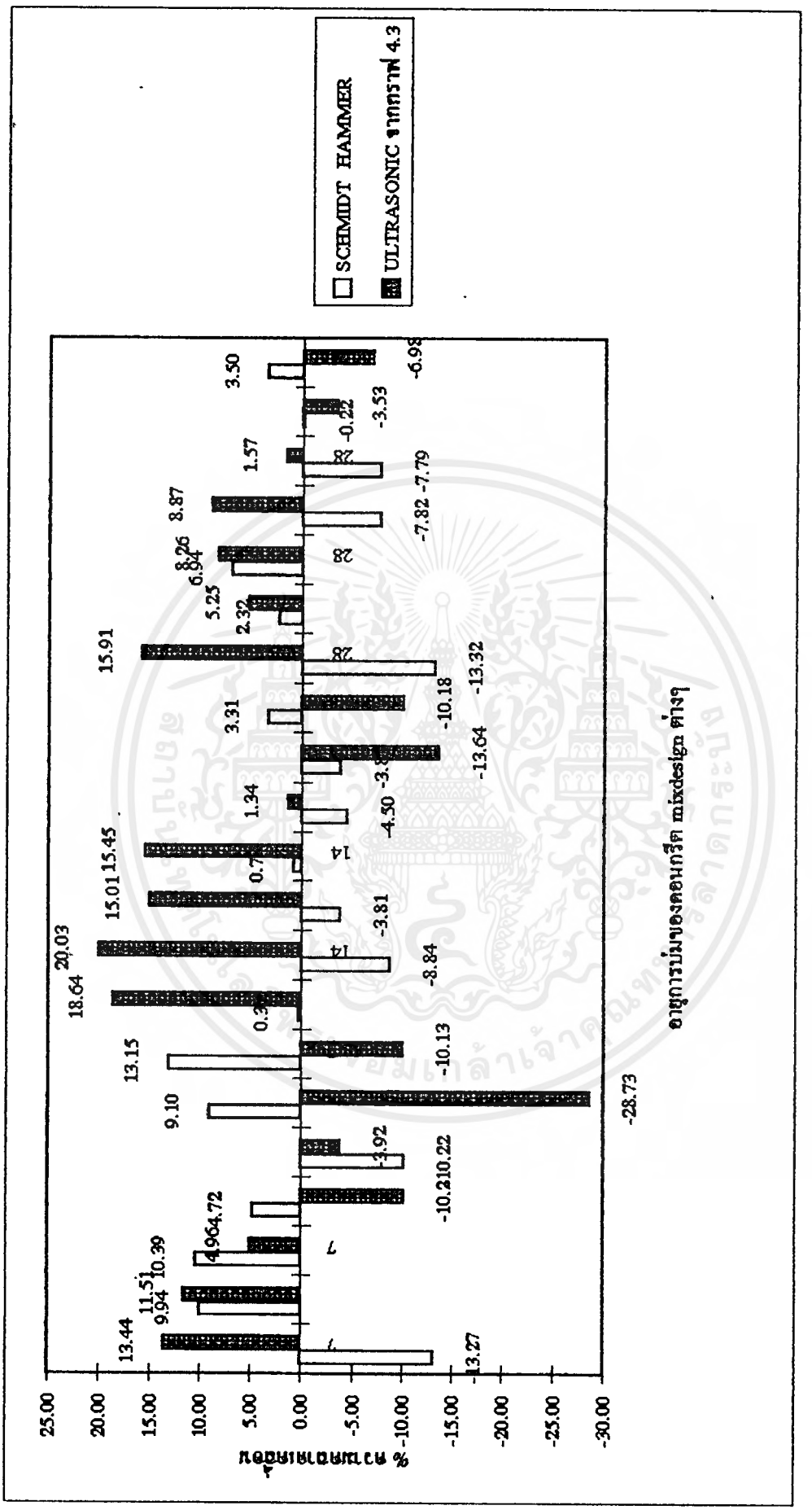
รูปที่ 5.42 แผนภูมิเปรียบเทียบ % ความคลาดเคลื่อนของ Strngth ที่วัดด้วยวิธีต่างๆ เทียบกับวิธีการให้แรงอัดโดยตรง mixdesign คอนกรีต 450 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



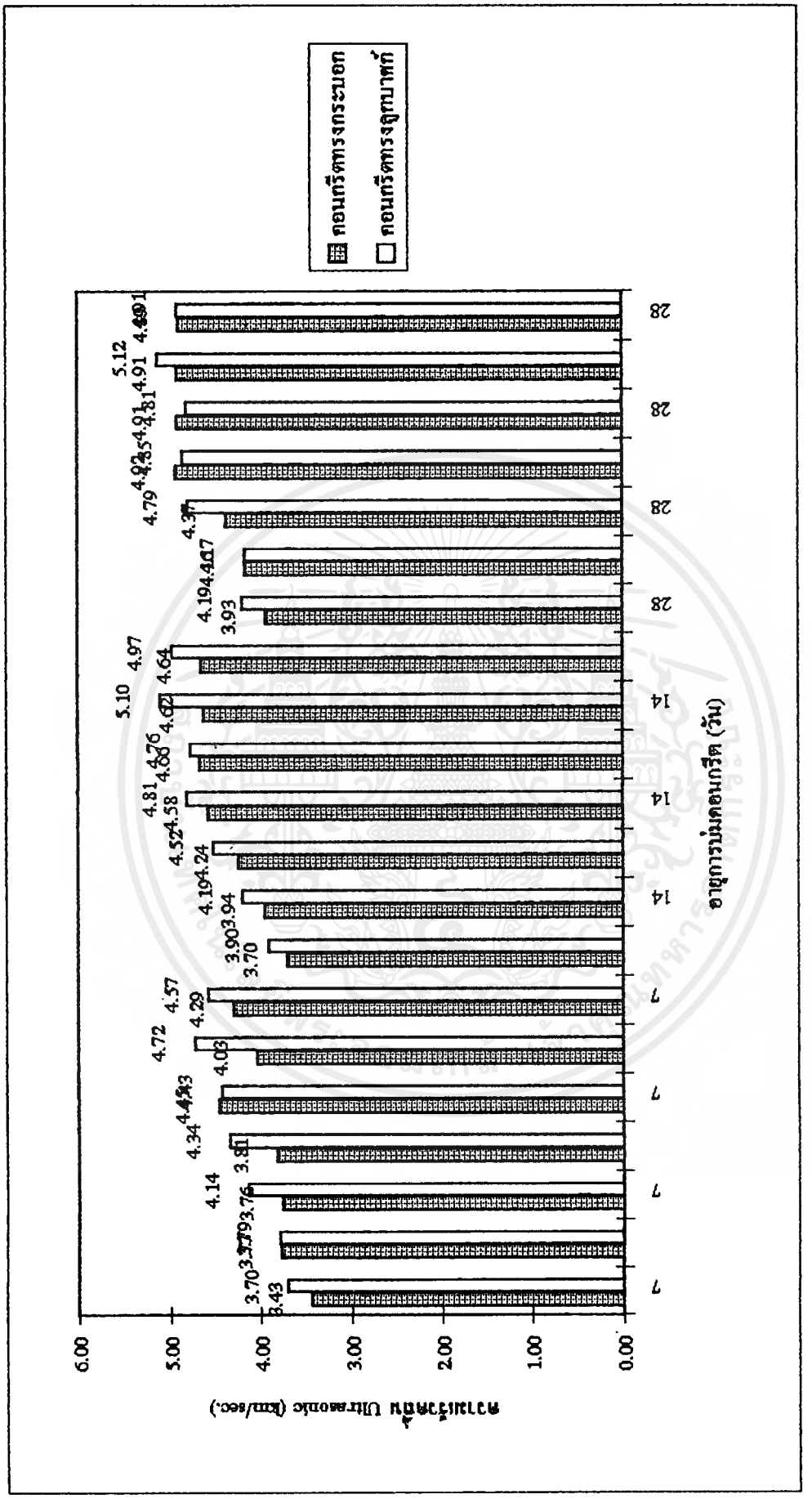
รูปที่ 5.43 แผนภูมิแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการทดสอบคอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่ mixdesign และอายุการบ่มต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



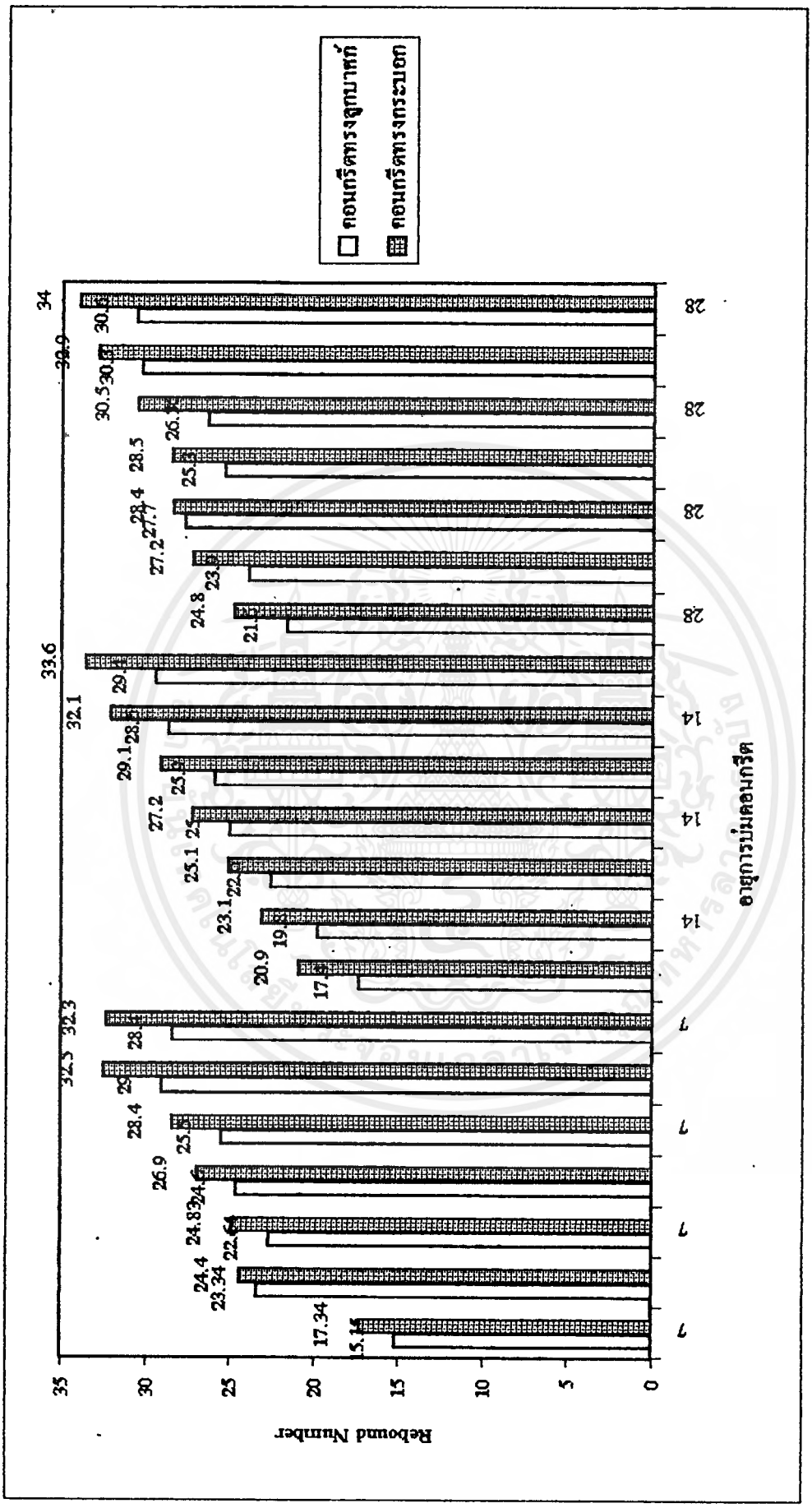
รูปที่ 5.44 แผนภูมิแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการทดสอบคอนกรีตทรงกระบอก (ไม่เสริมเหล็ก) ที่ mixdesign และอายุการบ่มต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.45 แผนภูมิเปรียบเทียบความเร็วคลื่นอุลตราโซนิกที่เดินทางผ่านคอนกรีตเสริมเหล็กและไม่เสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.46 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า Rebound Number ที่ทดสอบได้ ของคอนกรีตรูปทรงกระบอกและทรงลูกบาศก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง

จากการทดลองหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตโดยใช้วิธีการวัดทั้ง 3 วิธีคือ ใช้เครื่องมือ Schmidt Hammer, Ultrasonic และทดสอบด้วยวิธีการกดอัดโดยตรงด้วยเครื่องมือ UTM พบว่ามีปัญหาและอุปสรรคในหลายๆ ขั้นตอน เป็นผลให้ผลการทดลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

สาเหตุอาจมาจากสิ่งต่อไปนี้

1. ความชำนาญในการใช้เครื่องมือโดยเฉพาะเครื่อง Ultrasonic ซึ่งต้องพยายามกดหัวปล่อยคลื่นให้แนบสนิทกับแท่งคอนกรีตมากที่สุด เพื่อให้ได้ค่าเวลาที่คลื่นเดินทางผ่านที่ถูกต้องมากที่สุด ในการทดลองแต่ละครั้ง หัวส่งคลื่น อาจกดแนบกับแท่งคอนกรีตไม่เท่ากัน เป็นผลให้ได้ค่าเวลาคลื่นเดินทางผ่านที่คลาดเคลื่อนอยู่บ้าง

2. ความชื้นที่อยู่ในคอนกรีต มีผลให้การทดสอบด้วยเครื่องมือ Ultrasonic และ Schmidt Hammer มีความคลาดเคลื่อนได้ กล่าวคือ ความชื้นในปริมาณมากนั้นมีผลให้ค่า Rebound ที่อ่านจาก Schmidt Hammer มีค่าลดลง และค่าเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางผ่านคอนกรีต ซึ่งอ่านจากเครื่อง Ultrasonic มีค่าลดลงเพราะคลื่นเดินทางผ่านคอนกรีตชื้นได้เร็วกว่านั้นเอง ในการทดลองแต่ละครั้งสภาพอากาศในวันที่ทำการทดสอบ มีสภาพไม่เหมือนกัน เป็นผลให้ความชื้นที่อยู่ในคอนกรีตมีค่าต่างกัน ผลการทดสอบความแข็งแรงที่ทดสอบในอายุการบ่ม 7,14,28 วันมีความคลาดเคลื่อนได้

3. สภาพของผิวสัมผัสคอนกรีต มีผลต่อค่า Rebound ที่อ่านออกมาได้ด้วย ผิวสัมผัสที่หยาบและมีรูพรุน จะมีผลให้ค่า Rebound มีค่าออกมาต่ำกว่าที่ควรเป็น ในการทดสอบได้ใช้ผิวคอนกรีตด้านที่ติดกับแบบหล่อคอนกรีตซึ่งเรียบในการทดสอบ แต่ค่าที่ออกมาอาจมีความคลาดเคลื่อนได้บ้างในบางจุดที่ทำการทดสอบเพราะรูพรุนที่มีอยู่บ้างในบริเวณผิว

4. ในการทดสอบด้วยเครื่อง Ultrasonic เมื่อต้องทำการทดสอบต่อเนื่องกันเป็นเวลานานๆ แบตเตอรี่ ในเครื่องอาจมีกำลังอ่อนลง ถ้ากำลังไฟลดลงมากจะเป็นผลให้ค่าเวลาคลื่นเดินทางผ่านมีค่าแปรปรวน อาจทำการแก้ไขได้โดยต่อสายไฟเข้าชาทล์แบตเตอรี่สักครู่ก่อนจากนั้นจึงใช้เครื่องต่อไปได้ และควรเสียบสายไฟกับเครื่องเอาไว้ตลอด

5. ในการใช้เครื่อง Ultrasonic ต้องมีจาระบีทาที่ผิวของหัวปล่อยและรับคลื่นก่อนแล้วจึงกดหัวปล่อยคลื่นให้สนิทกับคอนกรีต จาระบีที่ทาหนาเกินไปอาจทำให้กดหัวปล่อยคลื่นให้สนิทกับคอนกรีตได้ยาก ค่าที่อ่านออกมาได้ก็จะมีความคลาดเคลื่อนได้ จาระบีที่ใช้ควรเป็นจาระบีที่คุณภาพดี ไม่เหนียวเป็นยางยืดเพราะจะทำให้ทำงานได้สะดวกขึ้น

6. แท่งคอนกรีตที่จะทำการทดสอบ Rebound ต้องวางพื้นที่เรียบ เพื่อกันการกระดกของแท่งคอนกรีตในเวลาที่ใช้ Schmidt ยิงทดสอบ มิฉะนั้นค่าที่อ่านจะน้อยผิดปรกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การทดสอบด้วย Ultrasonic นั้นต้องนำค่าความเร็วที่คลื่นเดินทางผ่านกับกับค่าหน่วยแรงอัดที่ได้จากการทดสอบด้วย UTM มาเขียนเป็นกราฟเพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการหาหน่วยแรงกดที่ต้องการหาจริง ค่าที่อ่านได้จากกราฟนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนได้เพราะเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น

8. การ cap หัวคอนกรีต มักจะมีปัญหาว่าเมื่อ cap แล้วแท่งคอนกรีตบางแท่งไม่ได้ระนาบ มีผลให้ค่าที่ได้จากการกดอัดด้วยเครื่อง UTM มีค่าน้อยผิดปรกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การทดสอบโดยใช้คลื่น Ultrasonic

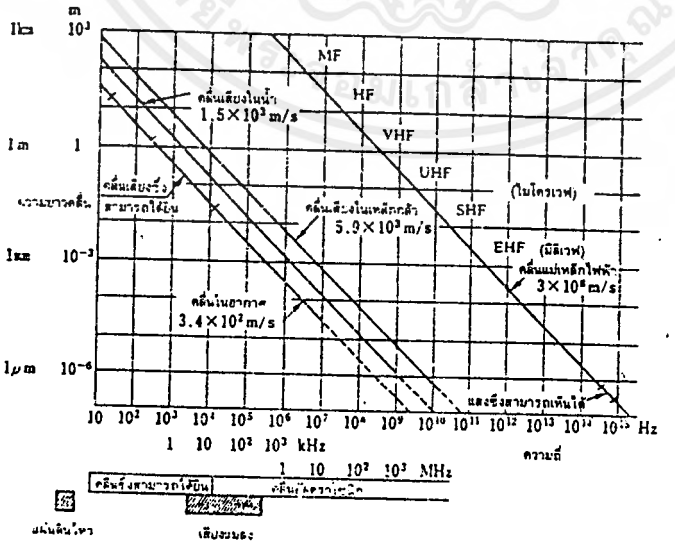
คลื่นเสียง Ultrasonic

คำนิยาม

คำว่าคลื่นเสียง Ultrasonic โดยทั่วไปจะหมายถึง " คลื่นเสียงความถี่สูงซึ่งหูมนุษย์ไม่สามารถได้ยินได้ " สำหรับคลื่นเสียงที่หูมนุษย์สามารถจะได้ยินนั้นจะมีความถี่อยู่ระหว่าง 20 - 20,000 Hz (Hz เป็นหน่วยวัดความถี่มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที) แต่ว่าที่ความถี่ 20,000 Hz นั้น คนบางคนอาจจะได้ยินหรือไม่ได้ยินก็ได้ขึ้นอยู่กับอายุและคุณสมบัติส่วนบุคคลนั้น ๆ อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปคลื่นเสียง Ultrasonic จะถูกนิยามไว้ว่าคือ เสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 Hz หรือ 20 kHz.

บางท่านอาจจะเคยได้ทราบว่ามีแมลงบางชนิดและสัตว์จำพวกค้างคาวสามารถปล่อยและรับคลื่นเสียงในช่วง Ultrasonic ได้ ในแง่ของปรากฏการณ์ทางกายภาพแล้ว คลื่นเสียงซึ่งมีความถี่สูงหรือต่ำกว่า 20 kHz จะมีคุณสมบัติไม่แตกต่างกันเลย แต่ที่กำหนดให้เสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz เป็นคลื่น Ultrasonic นั้นก็เพื่อความสะดวกในการเรียกชื่อเท่านั้นเอง

คุณสมบัติจำเพาะของคลื่น Ultrasonic



รูปที่ 1ก กราฟเปรียบเทียบความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นเสียงกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1ก แสดงความถี่และความยาวคลื่นเสียงที่เป็นตัวกลางที่เป็นตัวแทนของก๊าซ ของเหลว และของแข็งซึ่งได้แก่อากาศ (ความเร็วคลื่นเสียง 340 m/s) น้ำ (1500 m/s) และเหล็กกล้า (5,900 m/s) ตามลำดับนอกจากนั้นยังแสดงถึงความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศเพื่อเป็นการเปรียบเทียบด้วยจากรูปกราฟดังกล่าวจะเห็นได้ว่า

1) เมื่อเทียบกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วคลื่นเสียงมีความเร็วน้อยกว่ามากในอัตราส่วน (0.5 - 10 x 100,000 เท่า)

2) ดังนั้นคลื่นเสียงจะมีความยาวคลื่นสั้นกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาก

3) การที่คลื่นเสียงจะส่งผ่านจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้นั้นจำเป็นจะต้องอาศัยตัวกลางในการส่งผ่าน แต่สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วไม่จำเป็น ถึงแม้ว่าในสูญญากาศคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็ยังส่งผ่านไปได้

4) ทั้งคลื่นเสียงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถส่งผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศได้ยกเว้นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 1,000 kHz. ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่น Ultrasonic จะไม่สามารถส่งผ่านตัวกลางอากาศได้

5) สำหรับในน้ำ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความถี่ต่ำมาก ๆ (ต่ำกว่า 30 kHz) จึงจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ แต่ว่าสำหรับคลื่นเสียงแล้วสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้โดยง่าย

6) สำหรับโลหะ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก ๆ หรือกัมมันตรังสีเท่านั้นจึงจะเคลื่อนที่ผ่านไปได้ แต่ว่าสำหรับคลื่นเสียงแล้วสามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางโลหะไปได้ดีกว่าและไกลกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย

7) ในกรณีของคลื่นเสียงจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายเหมือนอย่างเช่นคลื่นกัมมันตรังสีพวกรังสีเอกซ์ หรือรังสีแกมม่า

8) พลังงานอันเกิดจากคลื่นเสียง Ultrasonic ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งที่มีชีวิตได้นั้นจะต้องมีค่าเกินกว่า 0.1 W / cm^2 (หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) แต่ว่าพลังงานของคลื่นเสียง Ultrasonic ที่ใช้ทดสอบแบบไม่ทำลายหรือใช้ในทางการแพทย์นั้นจะมีค่าต่ำกว่า 0.1 $m W / cm^2$ (หน่วยเป็นมิลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องห่วงว่าคลื่น Ultrasonic จะมีผลร้ายต่อร่างกายอย่างใด

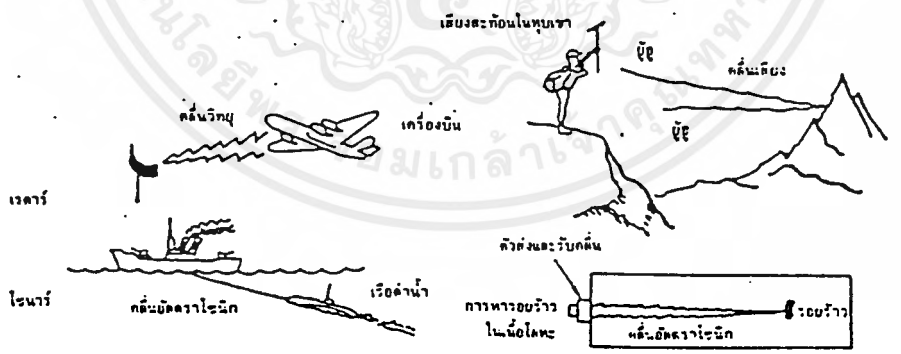
การใช้ประโยชน์จากคลื่น Ultrasonic

ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้คลื่น Ultrasonic ในอุตสาหกรรมแขนงต่าง ๆ อย่างมากมาย เช่น การล้างทำความสะอาดด้วยคลื่น Ultrasonic (สำหรับชิ้นส่วนนาฬิกา , แว่นตา , เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพชรพลอย และอาหาร ฯลฯ) การใช้คลื่น Ultrasonic ในการผลิต (วัสดุที่แข็งแต่เปราะเช่น พวกเพชร เป็นต้น) การเชื่อมด้วยคลื่น Ultrasonic (สำหรับแผ่นเหล็กบาง , ลวดเส้นเล็ก ๆ หรือในการต่อเชื่อมเส้นลวดในชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์) การใช้คลื่น Ultrasonic ช่วยให้เกิดในการสั่นสะเทือน (เช่น ในการทำให้เกรนของโลหะเล็กลง , การไล่ๆฟองอากาศ เป็นต้น) ตัวอย่างการใช้งานของคลื่น Ultrasonic ที่ยกตัวอย่างมาทั้งหมดนี้ อาศัยพลังงานที่เกิดจากคลื่นมาใช้ประโยชน์โดยตรง เหมือนกับการนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในลักษณะทางไฟฟ้ากำลัง

นอกจากการนำพลังงานที่เกิดจากคลื่น Ultrasonic มาใช้ให้เป็นประโยชน์โดยตรงแล้ว ยังมีวิธีการอีกอย่างหนึ่งซึ่งใช้คลื่น Ultrasonic เป็นตัวกลางในการตรวจหาข้อมูลหรือข่าวสารของเนื้อวัตถุในตัวกลางคลื่นที่ผ่านไป ซึ่งเปรียบเหมือนการใช้ประโยชน์จากไฟฟ้าในลักษณะของไฟฟ้าสื่อสาร ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการนำเอาคลื่น Ultrasonic มาใช้ประโยชน์ในทางทหารตั้งแต่ก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยทหารเรือ ซึ่งจะใช้เครื่องมือนี้ในการค้นหาตำแหน่งของเรือดำน้ำของศัตรู (ในลักษณะเดียวกับการค้นหาตำแหน่งของเครื่องบินโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในเรดาร์) ตัวอย่างของการใช้คลื่น Ultrasonic ในการหาตำแหน่งของเรือดำน้ำ หรือการหารอยร้าวในเนื้อวัตถุอาศัยหลักการเดียวกันหมด คือ การสะท้อนกลับของคลื่น สำหรับเครื่องมือสำหรับตรวจจับวัตถุซึ่งอยู่ใต้น้ำเช่น เครื่องตรวจจับเรือใต้น้ำ เครื่องมือตรวจหาฝูงปลา เครื่องวัดความลึกของท้องทะเล และเครื่องตรวจชั้นดินใต้สมุทรเหล่านี้ จะถูกเรียกรวม ๆ กันว่า เครื่องโซนาร์ (Sonar) (ดูรูปที่ 2ก)



รูปที่ 2ก การหารอยร้าวในเนื้อของโลหะด้วยคลื่น Ultrasonic มีหลักการเหมือนกับ เรดาร์ และโซนาร์

<u>หลักการ</u>

ความเร็วของคลื่น Ultrasonic ที่เคลื่อนที่ผ่านไปในตัวกลางที่เป็นของแข็ง จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น (Density) ความยืดหยุ่น (Elastic properties) ของวัสดุนั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพของวัสดุในบางครั้งมีความสัมพันธ์กับความยืดหยุ่นในวัดสุที่แข็งแกร่งดังนั้น การวัดความเร็วของคลื่น Ultrasonic ในวัสดุเช่นนี้จึงสามารถที่ใช้เป็นดัชนีตัวชี้ถึงคุณภาพของวัสดุในทางอ้อมเหมือนกับการวัดความยืดหยุ่นของวัสดุโดยตรง วัสดุที่สามารถใช้คลื่น Ultrasonic นี้ในการทดสอบ ได้แก่ คอนกรีต ท่อนไม้ (Timber)

หลักการทดสอบโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคในการทดสอบคอนกรีตกับทดสอบโลหะจะแตกต่างกันในการทดสอบโลหะส่วนมากจะศึกษาเกี่ยวกับการหาตำแหน่งซึ่งผิดปกติภายในเนื้อโลหะ ซึ่งจะส่งคลื่นเข้าไปแล้วตรวจรับคลื่นที่สะท้อนกลับ โดยใช้หลักการสะท้อนกลับของคลื่น Echoes back แล้วตรวจจับด้วยตัวรับ เวลาที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าไปแล้วสะท้อนกลับออกมาสามารถที่จะคำนวณหาตำแหน่งที่ผิดปกติขึ้นในเนื้อโลหะได้

แต่หลักการนี้ไม่สามารถที่จะนำมาทดสอบพวกวัสดุที่เป็นของผสม (Heterogeneous) อย่างเช่นพวกคอนกรีตถ้าใช้หลักการสะท้อนกับพวกวัสดุ พวกคอนกรีต จะเกิดการสะท้อนภายในเนื้อวัสดุเหล่านั้น ซึ่งมีความต่างเฟส และมีรอยต่อของวัสดุนั้นมากมายทำให้คลื่นที่สะท้อนออกมามีหลายทิศทางไม่แน่นอน

1) ความเร็วของคลื่น Ultrasonic ในวัสดุ (Velocity of longitudinolpulses in elastic solids)

คลื่น Ultrasonic เป็นคลื่นตามยาว ความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปในตัวกลางวัสดุสามารถเขียนความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$V = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

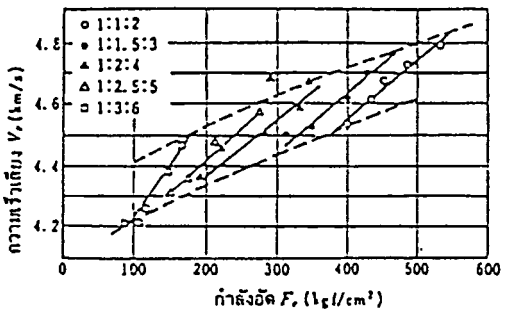
โดย E = ค่ายังโมดูลัส (Dynamic Elastic Modulas)

ρ = ค่าความหนาแน่น (Density)

ν = ค่าปัวซอง (Dynamic Poisson' s Ratio)

กำลังต้านทานแรงอัดสามารถประมาณได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเสียงกับกำลังต้านทานแรงอัด ซึ่งสร้างไว้ล่วงหน้าดังตัวอย่าง รูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3ก ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความเร็วเสียง

2) ความถี่ของคลื่น (Frequency of pulse vibration)

ความถี่ของคลื่นที่ใช้ในการทดสอบคอนกรีตจะมีค่าน้อยกว่าความถี่คลื่นที่ใช้ในการทดสอบโลหะซึ่งต้องใช้ความถี่สูง และมีช่องที่คลื่นผ่านแคบเล็กมากจากตัวส่งคลื่น แต่ถ้าใช้คลื่นความถี่สูงมาทดสอบคอนกรีตจะทำให้เกิดสัญญาณลดทอนมากเมื่อผ่านวัสดุทดสอบที่เป็นคอนกรีต

ความถี่ของคลื่นที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดสอบคอนกรีตนี้จะอยู่ในช่วง 20 - 250 kHz แต่ส่วนมากจะเลือกใช้ที่ 50 kHz ในการทดสอบคอนกรีตความถี่ช่วงนี้จะมีความยาวคลื่นจาก 200 mm. ถึง 16 mm. ที่ความถี่สูง

3) วิธีทดสอบ (Method of testing)

ในการทดสอบคุณภาพของวัสดุด้วยคลื่น Ultrasonic จะวัดให้ได้ความแม่นยำจำเป็นที่จะต้องเลือกตัวกำเนิดคลื่นที่ดี และสามารถวัดเวลาของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่ทดสอบได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เมื่อทราบค่าระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางก็จะได้ความเร็วคลื่นจากสมการ

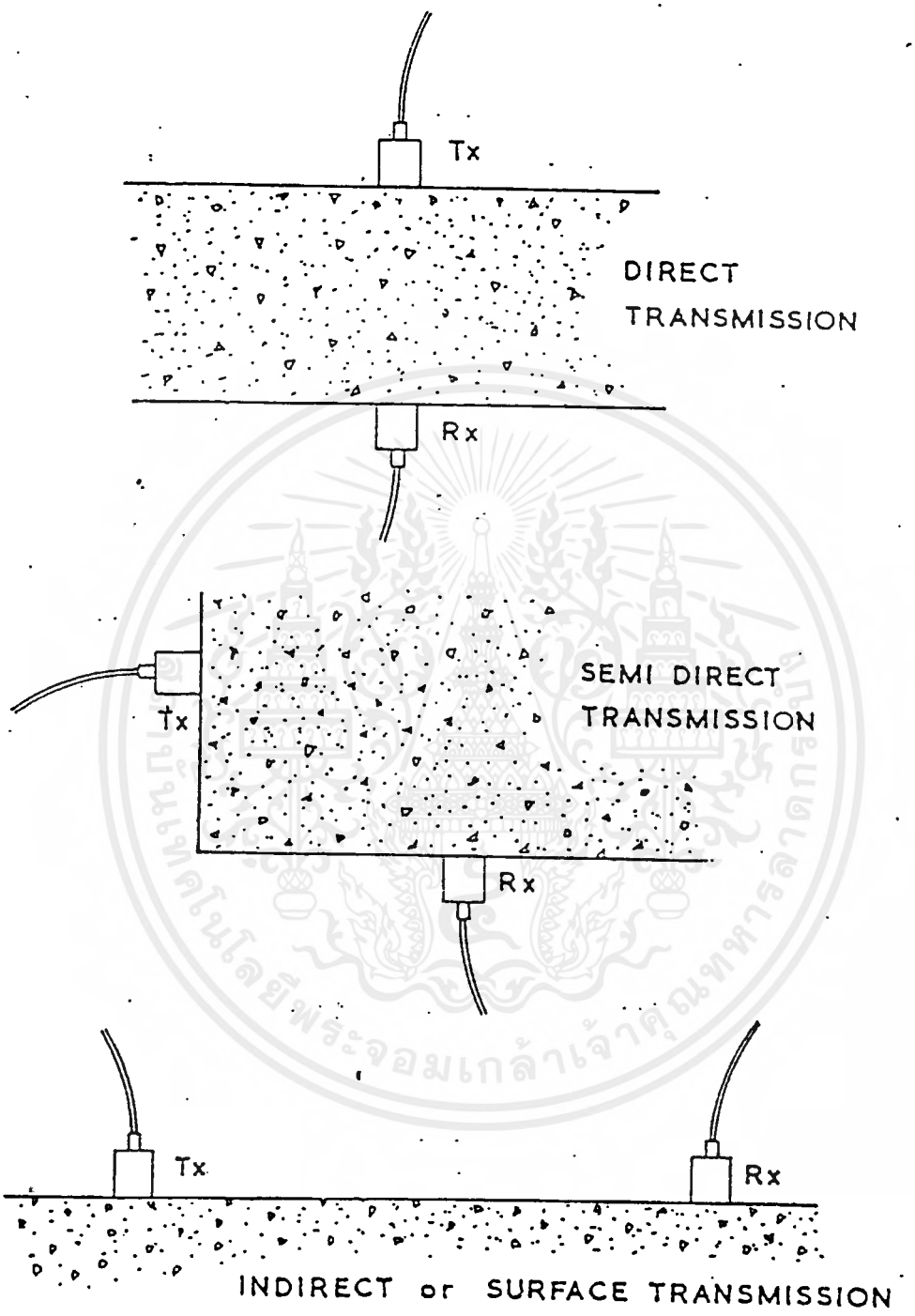
$$\text{ความเร็วคลื่น} = \frac{\text{ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่}}{\text{เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่}}$$

ค่าระยะทางและเวลาควรวัดให้ได้ความแน่นอนคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 1 %

เครื่องมือวัดและบอกค่าเวลาจะทำการบอกค่าเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่จากตัวส่งผ่านตัวกลางจนกระทั่งถึงตัวรับคลื่น ค่าจะถูกต้องเมื่อเลือกวางตัวรับและตัวส่งคลื่นในตำแหน่งที่เหมาะสมบนผิวของวัสดุที่ทดสอบซึ่งสามารถจัดตำแหน่งในการวัดได้หลายรูปแบบ ดังนี้

1. DIRECT TRANSMISSION
2. SEMIDIRECT TRANSMISSION
3. INDIRECT OR SURFACE TRANSMISSION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4ก แสดงวิธีการจัดตำแหน่งในการวัดความเร็วแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคอนกรีตโดยคลื่นอัลตร้าโซนิคชนิด Pundit

1. ลักษณะทั่วไป

เครื่อง Pundit สามารถอ่านค่าเวลาในการเคลื่อนที่ของการเคลื่อนผ่านวัสดุทดสอบได้ในช่วง 2 ช่วง คือ 0.1 μsec ถึง 999.9 μsec ถ้าเลือกขนาดหน่วย 0.1 μsec และ 1 μsec

ถ้าตัวรับไม่ได้รับสัญญาณจากตัวส่งในกรณีที่เคลื่อนย้ายตำแหน่งของตัวรับออกจากตำแหน่งที่จะทดสอบจะไม่มีสัญญาณไฟจาก LCD และถ้าตัวเลือกสวิตช์ไปที่ 0.1 μsec ช่วงหลักสิบจะไม่มีสัญญาณปรากฏให้เห็น Standard reference bar ที่ใช้กับเครื่องคลื่นจะเคลื่อนที่ผ่านใช้เวลา 26 μsec

สัญญาณ pulse ของตัวกำเนิดคลื่นสามารถเลือก EHT โวลต์เตจได้ 1200 v หรือ 500 v โดยการทำการเลือกสวิตช์ที่อยู่ด้านหลังของเครื่อง โดยทั่วไปในการทดสอบถ้าคอนกรีตมีขนาดยาวช่วงระยะที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านมีค่ามากควรจะเลือก 1200 v แต่ถ้าต้องการจะตรวจหาจุดรอยแตกร้าวที่มีขนาดเล็ก ๆ ควรจะเลือก EHT 500 v จะมีค่าความถี่ของคลื่นสามารถส่งออกไปซ้ำกันหลายครั้ง ความถี่ที่ส่งเลือกได้ 2 อย่าง คือ 10 pps หรือ 100 pps โดยทำการเลือกสวิตช์ที่อยู่ด้านหลัง ค่า 100 pps ควรเลือกเมื่อเครื่องวัดนั้นถูกใช้รวมกับ p&s Transducer และจอสโครป (cro) หรือสำหรับเมื่อเชื่อมโยงสัญญาณกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง RS 232 LCD จะแสดงค่าการอ่านเร็วขึ้นเป็น 2 เท่า เมื่อเทียบกับ 10 pps แต่อย่างไรก็ตาม RS 232 สามารถทำงานได้ในช่วง 2 pps ถึง 20 pps ขึ้นอยู่กับการเลือก PRF

ส่วนขยายสัญญาณของภาครับสัญญาณเป็นแบบ High Input Impedance สามารถนำไปใช้กับตัวจับแบบ Piezo - electric และ ferro - eletric transducers ซึ่งสามารถใช้ความถี่ในช่วง 5 kHz ถึง 1 MHz

ถ้าต้องการนำเครื่องมือวัด Pundit ไปใช้ในภาคสนามสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ NiCd ซึ่งทำการชาตจ์ไฟ 12 ชั่วโมงต่อเนื่องเมื่อต้องการใช้ที่เครื่องวัดจะมีตัวตรวจสอบสภาพของแบตเตอรี่ถ้าไฟใกล้หมดจะมีสัญญาณจาก LCD กระพริบให้เห็นโดยมีความถี่ 1 ครั้งต่อวินาที ถ้าเครื่องมือวัดใช้กับไฟกระแสสลับ AC ตามบ้านต้องการจะชาตจ์ถ่านให้หมุนสวิตช์ไปที่เครื่องหมาย CH โดยสังเกตเครื่องหมายได้ที่หน้าเครื่องแล้วปล่อยทิ้งไป 16 ชั่วโมง

สัญญาณ Pulse ที่ส่งออกไปจะมีคาบเวลาเท่ากับสัญญาณเวลาของจุด Analog Voltage โดยมีสัดส่วนแปลงตามสัญญาณเวลา ทำการต่อ Out Put ของ Unit ควรเลือก PRF ไปที่ 10 pps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าต้องการดูรูปสัญญาณ เช่น Transittime , pulse waveform หรือ สัญญาณลดทอน สามารถทำได้โดยต่อจุด CRO โดยใช้สายสัญญาณแบบ BNC เข้าสโครป OUT PUT OPTION (สัญญาณออก)

สามารถเชื่อมโยงสัญญาณติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยทาง RS232 โดยมีจุดต่อแบบ 25 pin " D " อยู่ด้านหลังซึ่งเป็นการเชื่อมโยงแบบ Serial (อนุกรม) สามารถทำการต่อกับเครื่องพิมพ์ชนิดที่มี Serial port หรือ กับคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลลงใน Disk และนำ Data Processing (การประมวลต่อไป)

2. โครงสร้างของเครื่องมือวัด Pundit

วงจรอิเลคโทรนิคเป็นแบบ High - Speed จาก IC (CMOS) ส่วนวงจรนั้นประกอบด้วยส่วนที่ใช้ในการทำ EHT Pulse Generator และวงจรภาคขยายส่วนรับสัญญาณ จะประกอบอยู่กับแผงวงจรที่ติดอยู่กับฐานที่เป็น PVC ยึดกับอะลูมิเนียมและเหล็กเป็นกล่อง

3. Transducer and leads (ส่วนตัวรับและตัวส่งคลื่น)

ตัว Transducer ภายในเป็น lead ziconate (PZT4) Ceramic piezo มีส่วนที่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งอยู่ภายในโดยมีสัสดุสแตนเลสเป็นที่บรรจุอยู่ภายนอก องค์ประกอบนี้จะยึดติดอยู่ส่วนผิวหน้าด้านในที่บรรจุ ซึ่งคลื่นอัลตร้าโซนิคสามารถส่งผ่านได้โดยมีประสิทธิภาพสูง ทรานดิวเซอร์นี้มีรูปร่างแข็งแรงที่สามารถทนกับผิววัสดุทดสอบที่ขรุขระเมื่อตัวกำเนิดคลื่นส่งสัญญาณกระตุ้นมาที่ตัวทรานดิวเซอร์จะเกิดการสั่นจากความถี่ที่สร้างเอาไว้ ซึ่งความถี่นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและคุณสมบัติภายในของตัวทรานดิวเซอร์ ถ้าขนาดของ Piezo electric ต่างกับความถี่ที่ให้ออกมาก็จะต่างกันไปด้วย

ตัวทรานดิวเซอร์แต่ละตัวจะยึดติดกับสายเคเบิลโดยมีเชื่อมต่อกันด้วย Socket ควรคำนึงถึงความยาวของสายเคเบิลที่ต่อด้วยเพราะจะทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณและเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่จะมากขึ้น แต่ปัญหาความยาวของสายเคเบิลสามารถแก้ไขได้โดยการทำ RE - Zerode เช่น ถ้าสายเคเบิลทางด้านตัวส่งและตัวรับยาวข้างละ 30 เมตร ควรจะทำไว้ 0.8 μsec

4. บทสรุปคุณสมบัติเฉพาะเครื่องมือวัด Pundit Transit Time Measurement Range

ความสามารถในการวัดเวลาในการเคลื่อนที่ของคลื่นในวัสดุทดสอบเลือกได้ 2 ช่วง ของขนาดหน่วยคือ 0.1 μsec หรือ 1 μsec

ช่วงของเวลาสามารถวัดได้ 0.1 μsec ถึง 999.9 μsec สัญญาณ Pulse ได้มาจากวงจรกำเนิดสัญญาณจากดิจิตอลขนาด 10 MHz.

ความแม่นยำ = 0.1 μsec (จะสามารถเลือกความยาวทดสอบได้ 400 mm) ถ้า Over Range เกินขนาดจะมีสัญญาณบอกขึ้นที่หน่วยแสดงผล LCD ทั้งสามหลัก ถ้าเกิด Lost Signal ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเข้าหน่วยแสดงผลจะว่าง INPUT SENSITIVITY (ความไวในการรับสัญญาณเข้า 250 μvolt ในช่วง 5 kHz ถึง 1 Mhz ถ้าสัญญาณภายนอกมีความถี่ไม่อยู่ในช่วงนี้ค่าความไวของภาครับจะลดลง IMPEDANCE 500 kΩ (กิโลโอห์ม)

TRANSMITTER (ตัวส่งคลื่น) สามารถเลือกขนาดสัญญาณในการส่งได้ 2 ช่วงคือ 1.2 kV หรือ 500 V Discharge time ขึ้นอยู่กับชนิดของทรานดิวเซอร์และความยาวของสายเคเบิล ถ้า 24 , 37.54 และ 82 kHz (ตัวทรานดิวเซอร์) และมีความยาวของสายเคเบิล 15 เมตร จะมี Discharge time ประมาณ 1.5 μsec

PRF สามารถเลือกได้ 2 ช่วงคือ 10 PPS และ 100 PPS

POWER SUPPLY ภายในมีแบตเตอรี่ชนิด NiCd สามารถชาตจ์ได้ต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง และใช้กับเครื่องได้นาน 10 ชั่วโมงขณะที่มี RS - 232 ต่ออยู่ด้วยเมื่อแบตเตอรี่ไฟหมดจะมีสัญญาณไฟจาก LCD กระพริบ 1 ครั้งต่อวินาที สามารถทำการชาตจ์แบตเตอรี่ได้จากไฟกระแสสลับตามบ้าน

AC 95 / 125 V

190 / 250 V

50 - 60 Hz

หน่วยแสดงผลเป็นตัวเลข 4 หลัก ขนาด 12 mm. จากตัว LCD

อัตราการอ่านผล 2 / sec

ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ 0 - 40 องศาเซลเซียส

Output - Analogue pulse

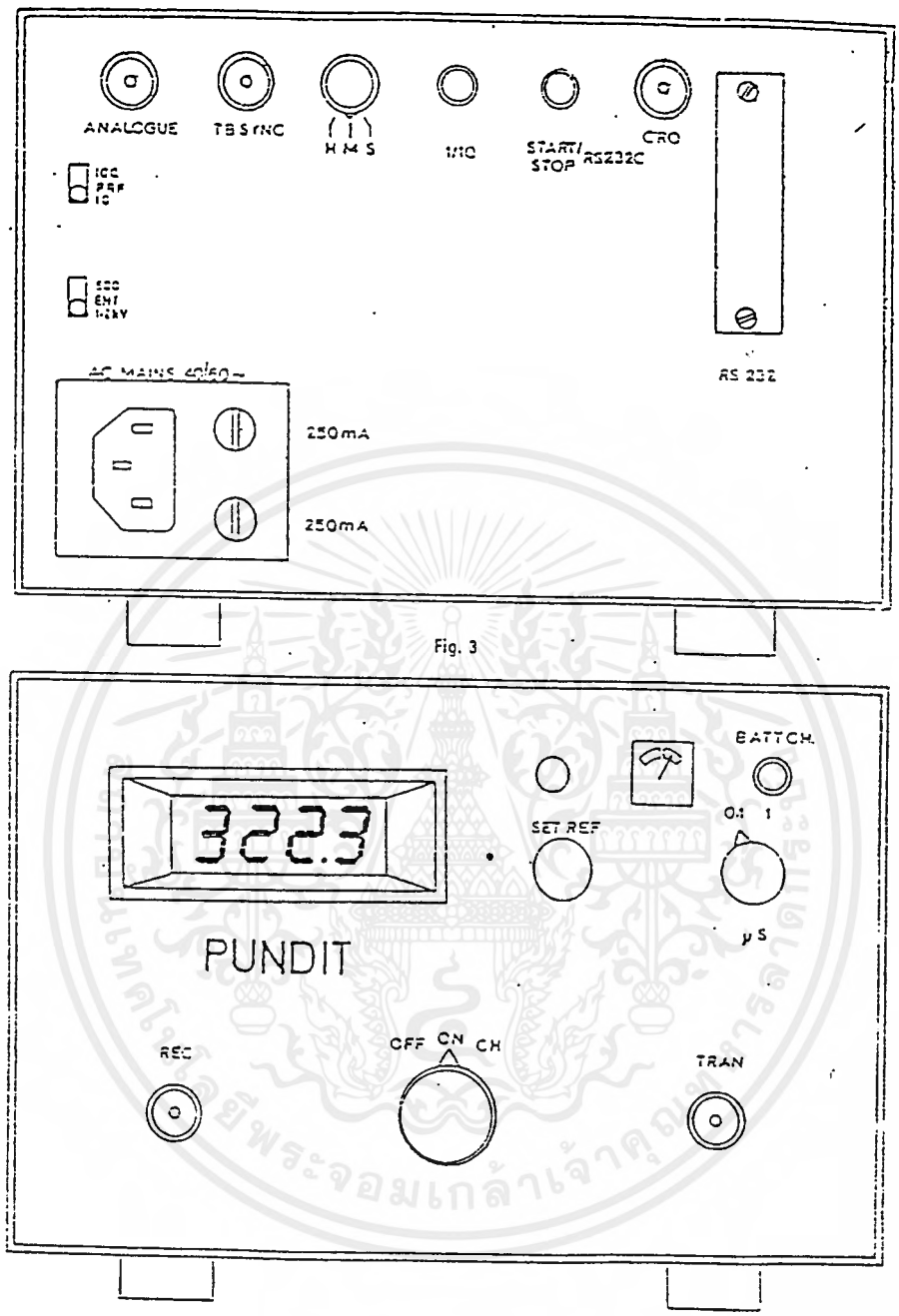
- CRO output

Output option 1 RS - 232C

Baud rate Fixed at 9600 baud

Parity None

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5ก แสดงภาพด้านหน้า ด้านหลังของเครื่อง PUNDIT

5. คำสั่งในการดำเนินการ (Operating Instruction)

5.1 Front panel (ด้านหน้าของเครื่อง) จะมีปุ่ม Power ON Switch (เปิด , ปิด) - โดยจะมีตำแหน่งสวิตช์หมุนเลือกได้ 3 ตำแหน่งคือ OFF , ON, CH เมื่อต่อไฟ AC เข้ากับเครื่องวัดแล้วให้หมุนสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาที่ ON เมื่อต้องการเปิดเครื่องวัด ถ้าหมุนสวิตช์เลือกไปที่ CH เพื่อต้องการชาตจ์ไฟให้กับแบตเตอรี่ ช่วงนี้เครื่องวัดจะไม่ทำงานถ้าสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง ON แต่ไม่ได้ต่อไฟ AC เครื่องจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในการทำงาน

Neon Indicating lamp - เมื่อใช้ไฟ AC จะมีสัญญาณไฟจากหลอดนีออนติดให้เห็น

Red Led - เมื่อชาตจ์ไฟเต็มที่แล้วจะมีไฟจาก LED สีแดงติดให้เห็น

Set Reference - เมื่อใช้เวลาในการควบคุม การทำงานของระบบเพื่อใช้ในการวัดค่า Transit time

REC. Socket - เป็นจุดต่อระหว่าง ตัวรับคลื่น กับเครื่องมือวัดเพื่อรับสัญญาณเข้า

TRAN. Socket - เป็นจุดต่อระหว่างตัวส่งคลื่น กับเครื่องมือวัดเพื่อส่งสัญญาณไปกระตุ้นตัวทรานดิวเซอร์ให้สั่นและส่งคลื่นออกไป

Meter Indicator - เป็นตัวชี้แสดง สภาวะของแบตเตอรี่ liquid Crystal Display (LCD) เป็นหน่วยแสดงผล

- เพื่อบอกค่าของ Transit time สามารถบอกเป็นตัวเลขได้ 4 หลัก
- เพื่อบอกสภาวะของ Over Range
- เพื่อบอกสภาวะไม่มีสัญญาณไฟเข้า
- เพื่อบอกสภาวะของแบตเตอรี่ ว่าไฟหมด โดยจะกระพริบ 1 ครั้งต่อวินาที

5.2 Rear Panel (แผงหน้าปัดด้านหลัง)

- ปลั๊กเสียบ 3 ทาง เพื่อต่อไฟฟ้ากระแสสลับ AC เข้าเครื่องวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- EHT เป็นสวิตช์เลื่อนได้ เพื่อเลือกสัญญาณในการส่งขนาด 500 V หรือ 1.2 kV ปกติใช้ 1.2 kV
- PRF เป็นสวิตช์เลื่อนได้ เพื่อเลือก PRF 10 PPS หรือ 100 PPS โดยปกติใช้ 10 PPS
- Analogue BNC Socket เพื่อใช้ Transis time ในรูป Analogue
- CRO BNC Socket รับสัญญาณและส่ง Output ไปที่ CRO (สโครป) "Y" Amplifier
- T.B. SYNC BNC Socket + 3.5 Sync pulse to CRO time base
- 25 Way "D" type Connector ใช้ในการส่งสัญญาณ BCD หรือ RS - 232 Output
- 250 mA fuse (ฟิวส์) ขนาด 20 mm. mains fuse (lower)

5.3 สายไฟเข้าเครื่องวัด

สีน้ำตาล	เป็นสาย Live
สีน้ำเงิน	เป็นสาย NEUTRAL
สีเขียว/สีเหลือง	เป็นสาย GRATH/GROUND

5) ปัจจัยที่มีผลกระทบกับความเร็วเสียง

(1) ชนิด ถ.พ. เนื้อหิน ของวัสดุโครงสร้าง : มีอิทธิพลต่อความเร็วเสียง

(2) การผสม : แม้ความเร็วเสียงจะคำนวณเท่ากันก็ตามแต่ ถ้าเป็นคอนกรีตผสมแข็ง กำลังต้านทานแรงอัดจะมาก ถ้าเป็นคอนกรีตผสมอ่อน กำลังต้านทานแรงอัดจะน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) อายุคอนกรีต : ถ้าคอนกรีตมีอายุมากกว่า 3 เดือนขึ้นไป อัตราการเพิ่มความเร็วของเสียงจะน้อยลง เมื่อเทียบกับความแข็งที่เพิ่มขึ้น และถ้าความแข็งแรงไม่เพิ่มขึ้นความเร็วเสียงก็จะลดน้อยลง

(4) อัตราส่วนของน้ำที่มี : เมื่อแห้ง ความเร็วเสียงจะลดน้อยลง เช่น อัตราส่วนของน้ำที่มี เมื่อลดลง 1 % จะทำให้ความเร็วเสียงลดลง 50 - 90 cm/s

(5) รอยแตกร้าว : ถ้าบริเวณระหว่างตัวรับและตัวส่งคลื่นมีรอยแตกร้าว ความเร็วเสียงจะลดลง

(6) ผิวสัมผัสระหว่างตัวรับและตัวส่งคลื่นกับคอนกรีต : ถ้าผิวสัมผัสระหว่างตัวรับและตัวส่งคลื่นกับคอนกรีตเป็นรอยนูนหรือรอยบุ๋ม มีฝุ่นหรือเม็ดทราย จะทำให้ความเร็วเสียงลดน้อยลง

(7) อุณหภูมิ : ความเร็วเสียงจะไม่เปลี่ยนแปลงช่วงอุณหภูมิระหว่าง 5 - 30 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิสูงขึ้นความเร็วเสียงจะลดลง ถ้าอุณหภูมิลดลงความเร็วเสียงจะเพิ่มขึ้น

(8) เหล็กเสริม : ถ้าตำแหน่งการวัดความเร็วเสียงขนานกับเหล็กเสริมในคอนกรีตจะทำให้ความเร็วเสียงมากขึ้น

6) คุณสมบัติพิเศษของการทดสอบด้วยคลื่น Ultrasonic

ข้อดี : (1) วิธีการวัดและการใช้ง่าย

(2) สามารถเพิ่มจุดตรวจวัดได้ง่าย

(3) ไม่จำเป็นต้องซ่อมแซมจุดที่ทำการตรวจวัด

ข้อเสีย : (1) ความเร็วเสียงเปลี่ยนแปลงได้มากตามเงื่อนไขและชนิดของคอนกรีต

(2) เครื่องมือทดสอบมีราคาแพง

(3) ต้องใช้ความชำนาญของผู้ใช้เครื่องมือมากเป็นพิเศษ

(4) กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว กับ กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตแต่ละชนิดทำการสร้างมาได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตโดยเครื่องมือ Schmidt hammer

เครื่อง Schmidt hammer เป็นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในปี 1948 และมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะว่าเครื่องมือชนิดนี้ไม่มีความซับซ้อนมากนัก การทดสอบจะทำการสะท้อนกลับของฆ้อนเหล็กกล้าที่กระทบกับคอนกรีตโดยอาศัยสปริง เนื่องจากไม่มีความสัมพันธ์ในทางทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนกลับของฆ้อนเหล็กกล้ากับความแข็งแรงของคอนกรีตจึงได้จากการทดลอง ซึ่งเครื่อง Schmidt hammer มีหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 1ข

ชนิดอุปกรณ์	ประเภทของคอนกรีตที่ใช้วัด	พลังงานกระแทก (kgf.cm)	ขอบเขตการวัด (kgf/cm^2)	หมายเหตุ
แบบ N	คอนกรีตธรรมดา	0.225	150 - 600	แบบอ่านจำนวนครั้งการสะท้อนโดยตรง
แบบ NR	คอนกรีตธรรมดา	0.225	150 - 600	แบบบันทึกจำนวนครั้งการสะท้อนในตัว
แบบ L	คอนกรีตชนิดเบา	0.075	100 - 600	แบบจำนวนครั้งกานสะท้อนโดยตรง
แบบ LR	คอนกรีตชนิดเบา	0.075	100 - 600	แบบบันทึกจำนวนครั้งการสะท้อนในตัว
แบบ P	คอนกรีตประเภทความแข็งแรงต่ำ	0.09	50 - 150	แบบลูกแกว่ง
แบบ M	แมสคอนกรีต	3.00	600 - 1000	แบบอ่านจำนวนครั้งการสะท้อนโดยตรง

ตารางที่ 1ข ชนิดของ Schmidt hammer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตโดยเครื่องมือ Schmidt hammer ชนิด N

สำหรับเครื่อง Schmidt hammer ชนิด N (พลังงานการอัด = 0.225 mkg) ใช้สำหรับทดสอบคอนกรีตในอาคาร และสะพานปกติทั่วไป ใช้สำหรับทดสอบคอนกรีตในโครงสร้างที่ทำการก่อสร้างเสร็จสิ้นแล้ว โดยการทดสอบจะเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย เมื่อเราทำการทดสอบนั้น จำนวนครั้งของการสะท้อนจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของมอร์ต้า (คอนกรีตที่ไม่มีส่วนผสมของวัสดุหยาบ) ซึ่งความแข็งแรงของมอร์ต้าหมายถึงความแข็งแรงของคอนกรีตด้วย

ข้อดีของการทดสอบแบบนี้ คือ สามารถทำการทดสอบได้ในเวลาอันรวดเร็วและสามารถพิจารณาคุณสมบัติของคอนกรีตได้ในส่วนของโครงสร้างที่แตกต่างกันไปโดยไม่ต้องทำลายโครงสร้าง แต่วิธีการทดสอบนี้ก็ได้ผลคลาดเคลื่อนจากการทดสอบแบบทำลายโดยตรงไปบ้าง

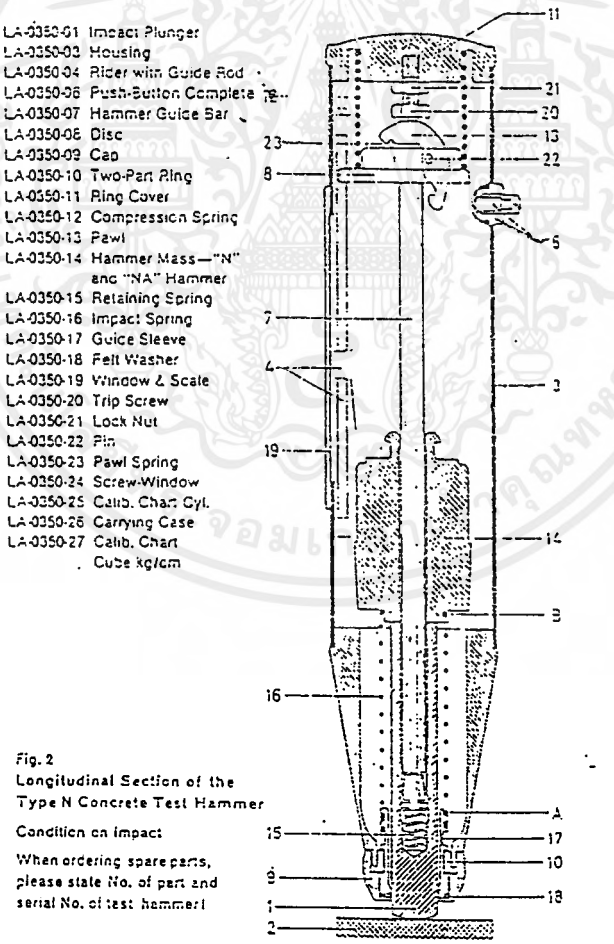


Fig. 2
Longitudinal Section of the Type N Concrete Test Hammer
Condition on impact
When ordering spare parts, please state No. of part and serial No. of test hammer!

รูปที่ 1ข แสดงส่วนประกอบของเครื่อง Schmidt hammer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เมื่อทำการกดเบา ๆ ที่หัวกด plunger (1) ตัว plunger จะเคลื่อนที่ออกด้วยตัวของมันเองจากเปลือกที่หุ้มอยู่ (3)

2. ตัว plunger จะถูกกดลงบนผิวคอนกรีต ณ. จุด ๆ หนึ่ง เพื่อทำการทดสอบแล้วตัว plunger ก็จะหดเข้าไปอยู่ให้เปลือกหุ้ม (3) ทั้งหมด ฆ้อนจะถูกทำให้ออกมา ซึ่งมีผลมาจากการเพิ่มความดันอย่างช้า ๆ ให้กับเปลือกหุ้ม ในขณะที่ทำการกระแทก ฆ้อนจะต้องถืออยู่ในมุมที่ถูกต้อง (มุมที่ฆ้อนกระทำต่อพื้นผิวที่ทำการกระแทก) ระวังอย่าสัมผัสกับปุ่มกด (6)

3. หลังจากที่ทำการกระแทก ฆ้อนจะสะท้อนกลับไปมา โดยมีจำนวนครั้งที่แน่นอนซึ่งจำนวนนั้นจะปรากฏบน scale (19) โดยเข็มวัด (4) จะเป็นตัวชี้ค่า ค่าที่อ่านได้จากตำแหน่งของเข็มวัดจะบอกถึงค่าการสะท้อนกลับเป็นเซ็นต์ของการเคลื่อนที่ของฆ้อน

4. เมื่อเรานำฆ้อนออกจากจุดที่ทำการทดสอบ หลังจากที่ทำการทดสอบแล้วแท่งกด (1) รวมทั้งตัวบังฆ้อน (7) และฐาน (8) จะถูกล็อคตามสภาพครั้งหลังสุด โดยปุ่มกด (6) การล็อคนั้นจะกระทำหลังจากที่ทำการกระแทกแล้ว และยังไม่ได้ยกตัว plunger ขึ้นมา และที่ล็อคนั้นก็มีไว้สำหรับทำการล็อคค่าการสะท้อนที่อ่านได้ในครั้งท้ายสุด

5. ฆ้อนที่ทำการทดสอบนี้จะถูกใช้ในการวัดขนาดการกระแทกในแนวนอนสำหรับการทดสอบในแนวตั้งหรือเอียง ค่าการสะท้อนที่ได้จะต้องปรับแก้ให้เหมาะสมตามตาราง

<u>ข้อกำหนดเกี่ยวกับความแข็งแรงของคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก</u>

1. การเลือกตำแหน่งที่จะทำการทดสอบ : สำหรับพื้นผิวของคอนกรีตที่เป็นช่วงรอยต่อของแบบและพื้นผิวที่เป็นรูพรุนควรจะหลีกเลี่ยง สำหรับส่วนของโครงสร้างที่แคบบาง (พื้นและผนังที่หนาน้อยกว่า 4 นิ้ว , เสาที่หนาน้อยกว่า 5 นิ้ว) ควรได้รับการปฏิบัติดูแลเป็นพิเศษ ซึ่งค่าที่ได้อาจจะผิดพลาดจากความเป็นจริงไปบ้าง สำหรับคอนกรีตคุณภาพต่ำก็จะเป็นเหตุให้จำนวนครั้งการสะท้อนและความแข็งแรงของคอนกรีตลดลงจากด้านล่างสู่ด้านบน ดังนั้นเพื่อความเชื่อถือได้จึงไม่ควรที่จะทำการทดสอบพื้นผิวด้านล่างเพียงอย่างเดียว แต่ควรจะทำการทดสอบหลาย ๆ จุดบนพื้นผิวทางแนวตั้งด้วย

2. การเตรียมตำแหน่งที่จะใช้ทดสอบ : ก่อนที่จะทำการทดสอบ วัสดุที่ใช้ฉาบหรือดลุมต่าง ๆ ควรจะนำออกไปเสียก่อน สำหรับพื้นผิวที่ไม่เรียบสม่ำเสมอกันควรจะทำให้เรียบสม่ำเสมอกันก่อน พื้นผิวด้านบนสุดของคอนกรีตเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมแก่การทดสอบถ้าได้มีการนำซีเมนต์ที่ทำการฉาบออกไปแล้ว ซึ่งข้อนี้ควรจะได้รับการระมัดระวังเป็นพิเศษ สำหรับคอนกรีตที่เก่า (อายุมากกว่า 6 เดือนขึ้นไป) พื้นผิวที่แข็งมากเกินไปบางชั้นควรจะทำการกระเทาะออกโดยมีความลึกประมาณ 5 มิลลิเมตร (1 / 4 นิ้ว) โดยอาจจะใช้เครื่องขัดแบบใช้มือที่มีน้ำหนักเบาและความเร็วสูง (กำลังโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 150 วัตต์ , ความเร็วโดยประมาณ 600 รอบต่อนาที) โดยมี cup wheel เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว สำหรับพื้นที่ที่จะทำการทดสอบนั้นควรจะมีความกว้างสำหรับการทดสอบ 5 - 10 จุด ที่จะทำการกดทดสอบ และจะต้องเป็นผิวมอร์ต้าโดยไม่กระทบกับส่วนที่เป็นส่วนผสมหยาบ ซึ่งควรมีพื้นที่ 4 x 4 นิ้วโดยประมาณถึงจะเพียงพอ หรือมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 6 นิ้ว (150 มิลลิเมตร) สำหรับคอนกรีตที่จะนำมาเปรียบเทียบกันควรจะมีอายุและสภาพความชื้นที่ใกล้เคียงกัน สำหรับคอนกรีตที่แห้งนั้นจะให้ค่าการสะท้อนกลับมากกว่าคอนกรีตที่เปียกชื้น และพื้นผิวที่เป็นชั้นของ carbonated ก็จะให้ค่าการสะท้อนกลับที่สูงกว่าด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงควรทำการผึ่งคอนกรีตทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงก่อนทำการทดสอบเพื่อทำให้ผิวคอนกรีตแห้ง

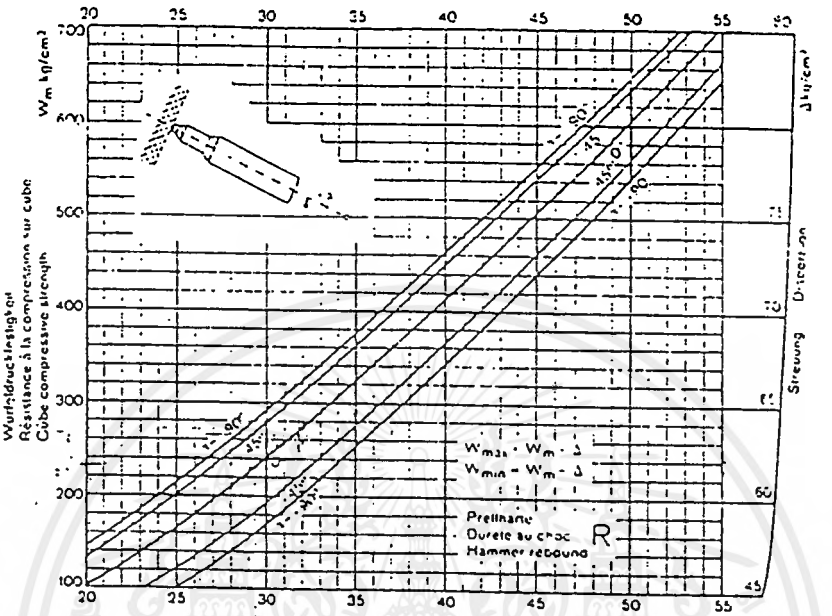
3. ทำการทดสอบพื้นที่ ๆ เตรียมไว้ 5 - 10 จุด โดยใช้ระดับระนาบแนวนอนของแกนเครื่องเป็นมาตรฐาน ในกรณีกระแทกแนวล่างปรับค่าบวก ในกรณีกระแทกแนวบน ปรับค่าลบ (ดูตารางที่ 2ข ประกอบ) อ่านค่า β ที่ได้แต่ละครั้งที่ทำการทดสอบ นำค่าที่ได้มาอ่านจากกราฟ ถ้าค่าที่อ่านได้มีค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยอื่น ๆ มากกว่า 5 หน่วย ก็ให้ตัดค่านั้นทิ้งและให้ใช้ค่าจากการทดสอบในครั้งต่อ ๆไป ซึ่งเหตุการณ์นี้มักจะเกิดจากการที่เราทำการกระแทกไปโดนส่วนผสมหยาบเข้าหรือโดนพื้นผิวที่เป็นรูพรุน และค่า β ที่ได้นี้เรียกว่า Rebound Number

4. ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด Wm และค่าที่น้อยที่สุด Wmin ของการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแบบลูกบาศก์ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3ข ซึ่งในตารางที่ 3ข นี้ได้แสดงวิธีคำนวณค่าค่า β เพื่อแปลงเป็นค่า W ซึ่งมีหน่วยเป็น ksc หรืออาจหาค่าการรับกำลังอัดได้จากรูปที่ 2ข ก็ได้เช่นเดียวกัน

Rebound Number ($\beta\alpha$)	Correction for inclination angle α			
	upwards		downward	
	+ 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

ตารางที่ 2ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกระแทก α กับค่าปรับ $\Delta\beta$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

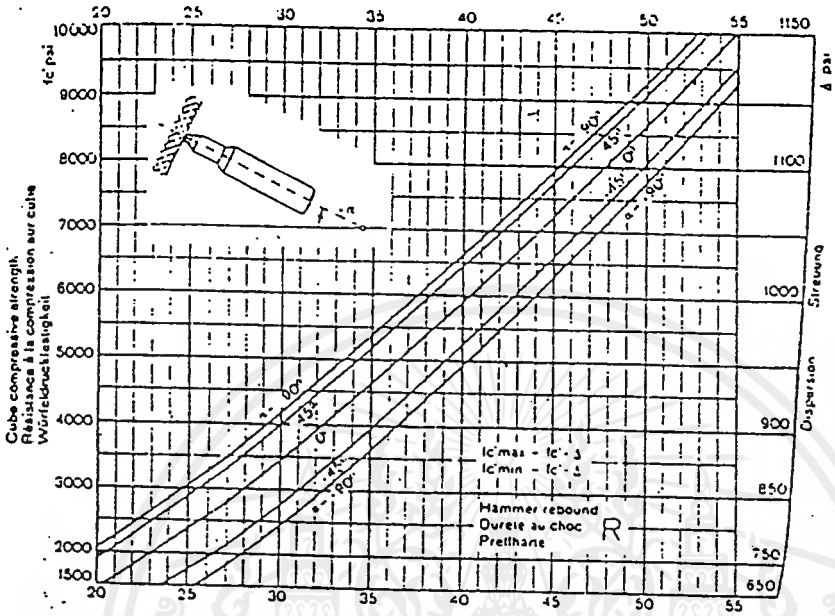
W_m = most likely value of the cube compressive strength in kg/cm².

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"!

รูปที่ 2ข กราฟแสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (ksc) กับค่า Rebound Number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

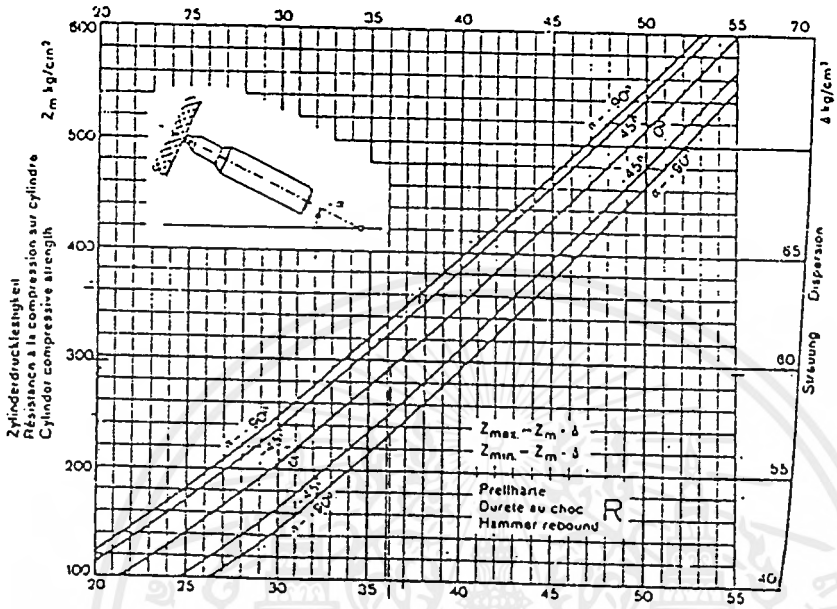
fc' = most likely value of the cube compressive strength in psi.

The dispersion limits fc'max. and fc'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"!

รูปที่ 2.1ข กราฟแสดงกำลังของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (psi) กับค่า Rebound Number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

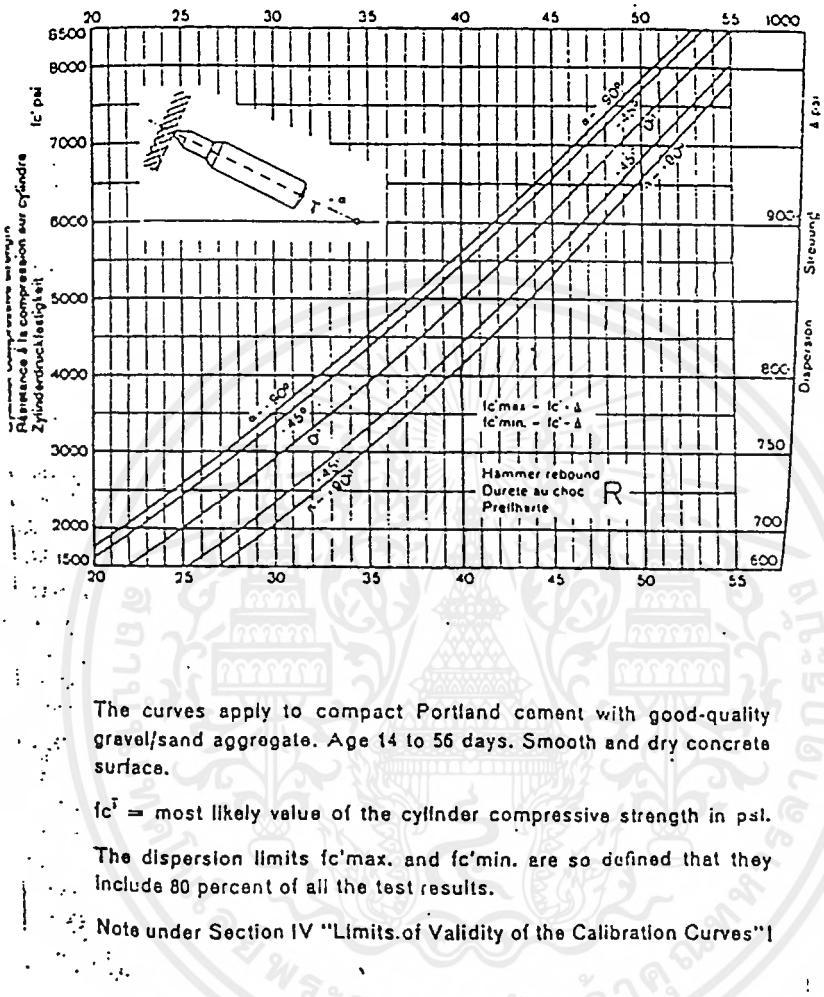
Z_m = most likely value of the cylindor compressive strength in kg/cm².

The dispersion limits Zmax. and Zmin. are so defined that they include 80 percent of all the test results.

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

รูปที่ 2.2ข กราฟแสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ksc) กับค่า Rebound Number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

fc' = most likely value of the cylinder compressive strength in psi.

The dispersion limits fc'max. and fc'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"!

รูปที่ 2.3ข กราฟแสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (psi) กับค่า Rebound Number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table II .Cube Compressive Strength W in kg/cm² as a Function of the Rebound Number R Type N Test Hammer.

R	Age of Concrete			
	14 to 56 days		7 days	
	Wm	Wmin.	Wm	Wmin.
20	101	54	121	74
21	113	64	132	83
22	126	75	145	94
23	139	86	157	104
24	152	98	169	115
25	166	110	183	127
26	180	122	196	138
27	195	135	210	150
28	210	149	225	164
29	225	163	239	177
30	241	178	254	191
31	257	193	269	205
32	274	209	285	220
33	291	225	300	234
34	307	240	315	248
35	324	256	331	263
36	342	273	348	279
37	360	290	365	295
38	377	307	381	311
39	395	324	398	327
40	413	341	416	344
41	432	359	434	361
42	450	377	451	378
43	469	395	470	396
44	488	414	488	414
45	507	432	507	432
46	526	451	526	451
47	546	470	546	470
48	565	489	565	489
49	584	508	584	508
50	604	527	604	527
51	623	546	623	546
52	643	565	643	565
53	663	584	663	584
54	683	603	683	603
55	703	622	703	622

Cylinder Compressive Strength = 0.85 × Cube Compressive Strenght
100 kg/cm² = 1420 psi

ตารางที่ 3ข แสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (ksc) กับค่า Rebound Number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดของ Calibration Curves

Calibration Curves ของการทดสอบคอนกรีตด้วยวิธีนี้ (ตารางที่ 3ข และรูปที่ 2ข) ได้จากการทดสอบลูกคอนกรีตจำนวนมากโดยวิธี Schmidt hammer ก่อนและนำไปกดทดสอบโดยวิธีทดสอบโดยตรง ซึ่งคอนกรีตที่นำมาทดสอบนั้นเป็นคอนกรีตที่มีคุณภาพดีซึ่งประกอบไปด้วยส่วนผสมหยาบคือ ทราย กรวด และปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ซึ่งในการทดสอบแต่ละครั้งจะทำการทดสอบอย่างน้อย 10 จุด และจากประสบการณ์ที่ผ่านมา Calibration Curves นี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณซีเมนต์ที่อยู่ในคอนกรีต ส่วนผสมหยาบซึ่งได้แก่ กรวดและทราย หรืออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เลย

จากประสบการณ์ที่ผ่านมาความคลาดเคลื่อนที่ผิดไปจาก Calibration Curves โดยปกติอาจเกิดขึ้นได้จากกรณีต่อไปนี้คือ

1. ส่วนประกอบที่สำคุญของคอนกรีตซึ่งได้แก่ หินและทราย สำหรับคอนกรีตเบาและผนังที่บางควรใช้เครื่องทดสอบชนิด L ซึ่งจะดีกว่า

2. สำหรับส่วนผสมของคอนกรีตที่เป็นหินที่ไม่แข็งแรง มีน้ำหนักเบาหรือแตกนั้น กำลังของคอนกรีตที่ได้จะต่ำกว่าที่ได้จาก Calibration Curves ซึ่งในกรณีนี้เราก็ต้องทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของการสะท้อนและกำลังของคอนกรีตในวัสดุชนิดต่าง ๆ กันไปโดยทำการทดสอบ

3. สำหรับส่วนผสมของคอนกรีตที่มีผิวที่เรียบและลื่นนั้น จะไม่มีผลต่อการรับกำลังของคอนกรีตในกรณีทำการทดสอบแบบนี้ เพราะจำนวนครั้งของการสะท้อนนั้นขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของมอร์ต้าเท่านั้น

4. สำหรับคอนกรีตที่ทำการผสมโดยส่วนผสมต่าง ๆ นั้น ไม่สะอาดเพียงพอก็จะทำให้ความแข็งแรงของคอนกรีตลดลงแต่จำนวนครั้งการสะท้อนนั้นจะไม่มีผล

5. สำหรับคอนกรีตที่เพิ่งจะทำการถอดแบบและยังเปียกชื้นอยู่หรือคอนกรีตที่บ่มน้ำนั้นถ้านำมาทำการทดสอบขณะยังเปียกชื้นอยู่จะได้ค่า β ที่ต่ำกว่าความจริงมาก ฉะนั้นเมื่อจะนำคอนกรีตมาทดสอบควรทิ้งคอนกรีตไว้ให้แห้งเสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การทดสอบแบบทำลาย

การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตโดยเครื่อง Universal Testing Machine

กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีต เป็นตัวบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี เพราะค่ากำลังต้านทานหรือรับแรงแบบอื่นเป็นสัดส่วนกับกำลังต้านทานแรงอัด ด้วยเหตุที่คอนกรีตมีกำลังต้านทานต่อแรงอัดมากกว่ากำลังต้านทานต่อแรงดึงหลายเท่า ดังนั้น ในการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงออกแบบให้คอนกรีตรับเฉพาะแรงอัดเพียงอย่างเดียว ส่วนแรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมซึ่งหล่ออยู่ในคอนกรีตทำหน้าที่ต้านทาน

การทดสอบหาแรงอัดประลัยของคอนกรีตทำได้โดยการกดหรืออัดแท่งทดสอบมาตรฐาน (รูปทรงกระบอก หรือลูกบาศก์) ซึ่งบ่มขึ้นตามระยะเวลากำหนด ด้วยเครื่องทดสอบมาตรฐานจนกระทั่งคอนกรีตถูกอัดแตก น้ำหนักกดหรืออัดสูงสุดที่ได้หารด้วยเนื้อที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างจะเป็นค่าหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตนั้น ค่ากำลังต้านทานต่อแรงอัดนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมปริมาณน้ำ อายุของแท่งทดสอบ การบ่ม เป็นต้น

วัสดุ

วัสดุซึ่งใช้ในการเตรียมแท่งตัวอย่างคอนกรีตซึ่งประกอบด้วยซีเมนต์มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

เครื่องมือ

1) หล่อแบบแท่งทดสอบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม. สูง 30 ซม.

2) เครื่องทำให้แน่น ซึ่งอาจเป็นเครื่องเขย่าแบบโต๊ะ (Vibrating Table) หรือเครื่องเขย่าแบบแท่ง (Vibrating Rod) ซึ่งจะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 1 / 5 ของมิติของด้านที่เล็กสุดของแท่งทดสอบหรือแท่งกระทุ้ง (Tamping Rod) ซึ่งเป็นแท่งเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มม. ยาว 500 - 600 มม. ปลายมน

3) เครื่องทดสอบแรงกดมาตรฐานแบบไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เวอร์เนีย คาลิปเปอร์ (Vernier Caliper) อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มม.

5) เครื่องชั่ง อ่านได้ละเอียดถึง 1 กรัม

6) เครื่องมือเล็กที่จำเป็น เช่น พลั่ว เกรียง แปรง เป็นต้น

<u>การเตรียมแท่งทดสอบซึ่งได้จากการหล่อ</u>

1) ก่อนใส่คอนกรีตลงในแบบหล่อจะต้องเคลือบภายในแบบหล่อด้วยน้ำมันที่ไม่ทำปฏิกิริยากับคอนกรีต เพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตเกาะติดแบบหล่อ แล้ววางแบบลงบนพื้นที่ราบและมั่นคง

2) เทคอนกรีตลงในแบบหล่อเป็นชั้น ๆ โดยพยายามไม่ให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว

3) เขย่าคอนกรีตโดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

3.1 ใช้เครื่องเขย่าแบบโต๊ะ แบบหล่อจะต้องยึดแน่นกับโต๊ะเขย่าอย่างมั่นคง การเขย่าต้องดำเนินติดต่อกันและหยุดเมื่อถึงจุดที่ไม่ปรากฏฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้นมา และมีมอร์ต้าเป็นชั้นบาง ๆ ปรากฏขึ้นที่ผิวหน้าของคอนกรีต

3.2 ใช้เครื่องเขย่าแบบแท่ง แท่งเขย่าจะต้องอยู่ในแนวดิ่งและห่างจากแบบหล่อประมาณ 20 มม. เขย่าคอนกรีตในลักษณะนี้จนกว่าจะไม่ปรากฏฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้นมาและมีมอร์ต้าเป็นชั้นบาง ๆ ปรากฏขึ้นที่ผิวหน้าของคอนกรีต การนำแท่งเขย่าออกจากแบบหล่อให้นำออกอย่างช้า ๆ

3.3 ใช้แท่งกระทุ้งด้วยมือ คอนกรีตที่ใส่ในแบบหล่อให้ใส่เป็นชั้น ๆ ละประมาณ 100 - 150 มม. แต่ละชั้นกระทุ้งให้ทั่วด้วยแท่งเหล็ก โดยกระทุ้ง 1 ครั้ง ต่อพื้นที่ประมาณ 1,000 ตร.มม. ของพื้นที่หน้าตัดแบบหล่อ การกระทุ้งแต่ละครั้งต้องกระทุ้งให้จมลงไปเท่ากับความหนาของชั้นที่ใส่ลงไปใหม่

4) หลังจากเขย่าคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ตกแต่งผิวคอนกรีตให้เรียบด้วยเกรียง

<u>การเตรียมแท่งทดสอบซึ่งได้จากการเจาะ</u>

ให้เจาะแท่งทดสอบเมื่อคอนกรีตมีอายุไม่ต่ำกว่า 14 วัน แท่งทดสอบต้องอยู่ในสภาพดี ไม่มีรอยร้าว รอยบิ่นหรือโพรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบ่มแท่งคอนกรีตซึ่งได้จากการหล่อ

1) หลังจากหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้คลุมผิวบนด้วยแผ่นเหล็กหรือแผ่นพลาสติก เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ แล้วเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิประมาณ 16 - 27 องศาเซลเซียส และป้องกันไม่ให้มีการสั่นสะเทือนด้วย

2) ให้ถอดแบบออกหลังจากหล่อแท่งทดสอบระหว่าง 20 $\pm$ 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้บ่มแท่งตัวอย่างในที่ชื้นอุณหภูมิ 23 $\pm$ 1.7 องศาเซลเซียส จนกว่าจะถึงเวลาทดสอบ ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ต้องเช็ดผิดหน้าแท่งทดสอบให้แห้ง แล้วทดสอบภายใน 1 ชั่วโมงและถ้าแท่งทดสอบเป็นรูปทรงกระบอกต้องเช็ดผิวหน้าให้แห้ง เคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบ ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้น

การบ่มแท่งคอนกรีตซึ่งได้จากการเจาะ

ให้แช่ก้อนตัวอย่างในน้ำปูนขาวอิ่มตัวที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 40 ชั่วโมงก่อนทดสอบ นำขึ้นจากน้ำมาเคลือบแล้วจึงทดสอบต่อไป

การส่งแท่งตัวอย่างจากสนามไปยังห้องทดลอง

ในกรณีที่มีการส่งแท่งตัวอย่างจากสถานที่ก่อสร้างมาทำการทดสอบในห้องทดลอง ให้บรรจุแท่งตัวอย่างในภาชนะที่แข็งแรง และให้พยายามรักษาความชื้นของแท่งตัวอย่างโดยอาจใส่ทรายเปียกหรือขี้เลื่อยเปียกก็ได้ หลังจากนั้นเมื่อถึงห้องทดลองแล้วให้บ่มแท่งตัวอย่างในที่ชื้นที่อุณหภูมิ 23 $\pm$ 1.7 องศาเซลเซียส เพื่อรอการทดสอบต่อไป

การเคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบ

ในกรณีที่ผิวหน้าของแท่งทดสอบไม่เรียบ ให้เคลือบผิวหน้าของแท่งทดสอบด้วยส่วนผสมของกำมะถันกับผงแร่หรือซีเมนต์เพสต์ (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก 27 - 30 %) ซึ่งผสมไว้ 2 - 4 ชั่วโมงแล้ว

ในการเคลือบนั้น อุปกรณ์จะต้องตั้งอยู่ในแนวแกนของแท่งทดสอบและผิวหน้าด้านที่จะใช้ต้องมีมุมที่ถูกต้อง และขณะที่วัตถุที่ใช้เคลือบแข็งตัวต้องป้องกันการระเหยของน้ำ เช่น ใช้ผ้าเปียกคลุมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>วิธีทดสอบ</u>

1) วัดขนาดของแท่งคอนกรีต (กระทำก่อนการเคลือบผิวหน้า)

2) ทำความสะอาดแท่งคอนกรีตและผิวแท่นธาร (Bearing Faces) ทั้งบนและล่างของเครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine)

3) วางแท่งทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกด แล้วเลื่อนหรือหมุนผิวแท่นธานให้สัมผัสกับแท่งทดสอบสนิท

4) เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่อยู่ในเกณฑ์ช่วง 14 - 34 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ในระยะช่วงครึ่งแรกของน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบจะรับได้นั้น อาจใช้อัตราการกดสูงกว่าที่กำหนดได้ ส่วนในการควบคุมเครื่องทดสอบขณะที่แท่งทดสอบถึงจุดคลาก (Yielding) อย่างรวดเร็วทันทีก่อนเกิดถึงจุดประลัย (Ultimate) นั้น ห้ามปรับอัตราการกดหรือส่วนใด ๆ ของเครื่องทดสอบ

5) ให้กดจนกระทั่งแท่งทดสอบถึงจุดประลัย

6) บันทึกค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบสามารถรับได้

7) คำนวณหาความต้านทานแรงอัดของแท่งทดสอบ จากสูตร

$$f = \frac{Pu}{A}$$

โดยที่ f = ความต้านทานแรงอัดของแท่งทดสอบ (kg/cm^2)

Pu = น้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบรับได้ (kg)

A = พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของแท่งทดสอบ (cm^2)

หมายเหตุ

ถ้าแท่งทดสอบซึ่งได้จากการเจาะมีส่วนสูงน้อยกว่า 2 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางให้แก้ไขค่าการต้านทานแรงอัด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนความสูงต่อ เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งทดสอบ	ตัวคูณสำหรับแก้ไขค่า การต้านทานแรงอัด
2.00	1.00
1.75	0.99
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Concrete Mixed Design)

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ACI : (211.1 - 77)

ขอบเขต

วิธีและหลักการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่จะได้กล่าวถึงต่อไปนี้ ใช้กับคอนกรีตปกติทั่วไปที่ใช้ในโครงสร้างอาคารบ้านเรือน และใช้สำหรับกำหนดให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานได้เหมาะสมกับสภาพการเทหรือหล่อในที่ (cast - in - place construction)

กล่าวนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าคอนกรีตนั้น คือวัสดุผสมซึ่งมีวัสดุที่เป็นหลักอยู่ 3 ชนิด คือ ซีเมนต์ มวลรวมคละ (หยาบและละเอียด) และน้ำ นอกจากนี้ยังมีสิ่งอื่นเพิ่มเติมเข้ามาอีกได้แล้วแต่ต้องการ อาจจะเป็นการกระจายกักฟองอากาศ หรือสารผสมเพิ่ม (admixtures) ต่าง ๆ

สำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมนั้น มีข้อควรคำนึงอยู่ 2 ข้อ ที่มีความสำคัญเท่า ๆ กัน ข้อแรกคือ การประหยัดวัสดุที่สมเหตุสมผล อีกข้อหนึ่งก็คือ ความต้องการในความสามารถที่จะรับแรง ความสามารถในการทำงาน ตลอดจนความคงทน เป็นต้น

ความสัมพันธ์ขั้นมูลฐาน

จากที่กล่าวนำไปแล้วว่าการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมนั้น ข้อที่ควรคำนึงอีกประการหนึ่งนอกจากการประหยัดแล้ว ก็คือ ความสามารถในการทำงาน กำลังความคงทน สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน พอจะสรุปได้ย่อ ๆ ดังนี้

ความสามารถในการทำงาน (Workability) คำนี้ดูเหมือนจะให้คำจำกัดความลงไปอย่างแน่ชัดไม่ได้ โดยทั่วไปเรามุ่งถึงคอนกรีตที่เราสามารถจะทำได้ง่ายสำหรับการผสม การขนส่ง การเทลงในแบบหล่อ การอัดแน่น การตกแต่ง ตลอดจนความแข็งแรงของคอนกรีต

ความข้นเหนียว (Consistency) กล่าวง่าย ๆ ก็คือ ความเหลวหรือความเปียกของคอนกรีตสดนั่นเอง ความเหลวหรือความเปียกนี้สามารถตรวจสอบได้จากการยุบตัว (slump)คอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีความยุบตัสสูงก็จะมีความเหลวมาก ในการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตนั้น ปริมาณน้ำที่จะใช้เป็นสิ่งสำคัญซึ่งขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์หลายประการ

ความแข็งแรง (Strength) กำลังความแข็งแรงของคอนกรีตนับว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่ง ในสภาวะทั่วไปกำลังของคอนกรีตคำนวณจากปริมาณน้ำสุทธิที่ใช้เทียบกับปริมาณของซีเมนต์หนึ่งหน่วย ปริมาณน้ำสุทธิที่ว่านี้จะไม่รวมถึงน้ำที่ถูกซึมเข้าไปในมวลรวมคละ อย่างไรก็ตาม กำลังของคอนกรีตที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำกับซีเมนต์จำนวนหนึ่งนี้ อาจแตกต่างกันไปเนื่องจากขนาดของมวลรวมคละ รูปทรงของมวลรวม ความแกร่งของมวลรวม หรือการใช้ซีเมนต์ต่างชนิดกัน ตลอดจนกระทั่งปริมาณอากาศและการใช้สารผสมเพิ่ม

ความคงทน (Durability) คอนกรีตที่ดีจะต้องมีความสามารถในความคงทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในขณะที่อยู่ในกำลังใช้งาน อาจจะเป็นอากาศหนาวจัด ร้อนจัด ฝนตก หรือแดดออก หรือผลจากสารเคมี ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ควรจะมีการใช้สารเพิ่ม เพื่อให้คอนกรีตเกิดความคงทนภายใต้สภาวะดังกล่าวให้การกำหนดค่า water - cement ratio ต่ำ ๆ อาจมีส่วนช่วยยืดอายุคอนกรีตให้คงทนขึ้นได้มาก

ความหนาแน่น (Density) คอนกรีตบางชนิดอาจมีความจำเป็นที่ต้องใช้คุณสมบัติจากน้ำหนักของตัวมันเอง ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุหรือความหนาแน่นก็ควรจะให้เป็นไปตามความต้องการ

<u>ข้อมูลพื้นฐาน</u>

ในขั้นตอนการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีต จำเป็นต้องทราบข้อมูลพื้นฐานบางอย่างจากวัสดุที่จะนำมาเป็นส่วนผสม ดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมหยาบและละเอียดด้วยตะแกรง
2. ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ
3. ค่า Bulk specific gravities และค่าดูดซึมของมวลรวมคละ
4. ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้สำหรับการผสมคอนกรีต
5. ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกับอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลดังกล่าวอาจกำหนดได้จากตารางคำนวณเช่นข้อมูลที่ 4 และ 5 อาจดูได้จากตารางที่จะกำหนดไว้ให้ หรือข้อมูลที่ 3 อาจไม่จำเป็นต้องทราบเลยก็สามารถจะหาอัตราส่วนผสมคอนกรีตได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการคำนวณ

ขั้นตอนสำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตในที่นี้ควรกระทำไปตามลำดับขั้นตอน สิ่งแรกก็คือ ความต้องการหรือคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่จะใช้ ซึ่งมีดังนี้

1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด
2. ปริมาณซีเมนต์น้อยสุด
3. ปริมาณอากาศ
4. ค่ายุบตัว
5. ขนาดโตสุดของมวลรวมคละ
6. กำลังคอนกรีต
7. อาจมีความต้องการอื่น ๆ อีกนอกเหนือจากการคำนวณ เช่น สารผสมเพิ่มและซีเมนต์ชนิดพิเศษ เหล่านี้เป็นต้น

ข้อมูลสำหรับความจำเป็นเบื้องต้นเหล่านี้ มีหลักและวิธีการปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่ายุบตัว : หากค่ายุบตัวไม่ได้มีกำหนดไว้ในความต้องการของงาน อาจใช้ตารางที่ 1 ช่วยในการกำหนดได้ ค่ายุบตัวต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในตารางนี้เป็นค่ายุบตัวสำหรับการเทคอนกรีตที่ใช้เครื่องจี้สั่นสะเทือนให้คอนกรีตแน่น และเป็นส่วนผสมที่มีความข้นเหนียวเหมาะแก่สภาพงานอย่างยิ่ง

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดขนาดโตสุดของมวลรวม : มวลรวมคละที่มีขนาดเรียงประกอบด้วยขนาดใหญ่ที่มีจำนวนมาก ย่อมจะเกิดช่องว่างน้อยกว่ามวลรวมคละที่มีขนาดเรียงเม็ดเล็ก ๆ ทั้งนี้เพราะเมื่อคิดปริมาณคอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรแล้ว มวลรวมคละที่มีขนาดใหญ่ต้องการเนื้อปูนหรือมอร์ต้าน้อยกว่า อย่างไรก็ตามมีข้อกำหนดไว้ว่าขนาดของมวลรวมใหญ่สุดไม่ควรเกิน 1 / 5 เท่า ของขนาดโครงสร้างที่แคบที่สุด หรือ 1 / 3 เท่า ของความหนาแน่นพื้น หรือ 3 / 4 เท่าของระยะต่ำสุดของเหล็กเสริมที่อยู่ในแนวเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดปริมาณน้ำผสมและปริมาณอากาศ : ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตในหนึ่งหน่วยปริมาตรที่จะทำให้เกิดค่ายุบตัวตามกำหนดในขั้นตอนแรกนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดโตสุดรูปทรางและขนาดเรียงของมวลรวมคละ และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณฟองอากาศอีกด้วย ในตารางที่ 2ง เป็นตารางที่ช่วยในการประมาณการของจำนวนน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต สำหรับมวลรวมคละขนาดต่าง ๆ ทั้งเป็นคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตกักฟองอากาศเนื่องจากขนาดและรูปร่างของมวลรวมที่อาจวัดได้ไม่แน่นอน อาจทำให้ค่าในตารางที่ให้ได้ผิดพลาดไปบ้างเล็กน้อย แต่ก็คิดว่าจะยังคงถูกต้องเพียงพอสำหรับใช้ในการประมาณขั้นแรกนี้ และจำนวนน้ำที่แตกต่างกัน จากความที่น่าจะเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงเล็กน้อยนี้ ไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของคอนกรีตเลย ทั้งนี้เพราะยังมีแฟคเตอร์อื่น ๆ อีกมากมายนักที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 4 การเลือกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR) : ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต้องการใช้ในการผสมคอนกรีตนั้น มิใช่เพียงเพื่อให้คอนกรีตเกิดกำลังความต้องการเท่านั้น แต่ยังช่วยให้เกิดความคงทนและสามารถที่จะตกแต่งได้อีกด้วย จะเห็นว่าค่า WCR เดียวกันนี้จะทำให้คอนกรีตมีกำลังแตกต่างกันได้ ถ้าใช้มวลรวมคละหรือประเภทของซีเมนต์ที่แตกต่างกัน สิ่งนี้คือที่ควรจะได้ก่อให้เกิดการปรับปรุงหรือแก้ไขค่า WCR ให้สอดคล้องกันกับวัสดุที่นำมาใช้งานจริง ๆ สำหรับงานคอนกรีต

ตารางที่ 1ง - ค่ายุบตัวสำหรับงานประเภทต่าง ๆ

ประเภทของงาน	ค่ายุบตัว , ซม.	
	สูงสุด *	ต่ำสุด
ฐานรากค.ส.ล.	5	2
ฐานรากคอนกรีตล้วน , เคซองและผนังกันดิน	6	2
คานและกำแพงค.ส.ล.	10	2
เสาค.ส.ล.	10	2
แผ่นพื้นและถนน	6	2
คอนกรีตขนาดใหญ่	6	2

* อาจเพิ่มค่ายุบตัวได้อีก 3 ซม. หากใช้กรรมวิธีอื่นทำให้คอนกรีตแน่น นอกจากวิธีตามปกติ

ตารางที่ 2ง - ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต

ค่ายุบตัวของคอนกรีต	ปริมาณน้ำ , กก. / ม^3 สำหรับคอนกรีตที่มีมวลรวมคละขนาดโตสุดเป็นมม.							
ซม.	10	12.5	20	25	40	50	70	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตธรรมดา

3 ถึง 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 ถึง 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 ถึง 18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณอากาศที่เกิดในคอนกรีตธรรมดา, %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ

3 ถึง 5	180	175	165	150	145	140	135	120
8 ถึง 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 ถึง 18	215	215	190	185	170	165	160	-
ปริมาณอากาศที่ควรให้มี, %	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I โดยต้องการให้มีกำลังคอนกรีตต่าง ๆ นั้น จะดูได้จากตารางที่ 3.1 ง ค่าในตารางเป็นค่าประมาณของ WCR และกำลังคอนกรีตต่าง ๆ นั้นคิดจากคอนกรีตที่ได้รับการบ่มอย่างดีในห้องปฏิบัติการครบ 28 วัน ซึ่งจากข้อความนี้ แน่นอนเมื่อต้องการจะเลือกใช้ค่า WCR ในการทำงานจริง ๆ ควรเลือกใช้ค่า WCR ของกำลังคอนกรีตที่สูงกว่าต้องการไว้บ้าง ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ค่ากำลังเฉลี่ยในงานจริงต่ำกว่ากำหนด

สำหรับในสภาวะที่ทารุณเหลือหลาย (severe condition) ค่า WCR ควรจะต่ำยิ่งขึ้น เพื่อที่จะทำให้กำลังของคอนกรีตได้ตามต้องการ ซึ่งถ้าเป็นสภาวะเช่นนี้ให้ดูจากตารางที่ 3.2 ง

<u>ขั้นตอนที่ 5</u> การคำนวณปริมาณซีเมนต์ : ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรนั้นขึ้นอยู่กับค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ที่ผ่านมา โดยที่จำนวนซีเมนต์นี้จะเท่ากับจำนวนน้ำที่ใช้ผสม (ขั้นตอนที่ 3) หารด้วยค่า WCR (ขั้นตอนที่ 4)

$$\text{ปริมาณซีเมนต์} = \frac{\text{จำนวนน้ำที่ใช้ผสม}}{\text{ค่า WCR}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 6 การประมาณปริมาณรวมหยาบ : ปริมาณมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต หาได้จากตารางที่ 4ง คูณด้วยค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง (dry unit weight) ของมวลรวมซึ่งมีหน่วยเป็น กก. ต่อ $ม^3$. จะเห็นว่าสำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถในการทำงานที่เท่ากันนั้น ปริมาณของมวลรวมหยาบขึ้นอยู่กับขนาดมวลรวมหยาบขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวมหยาบและค่า Finess modulus ของมวลรวมละเอียดเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 7 การประมาณปริมาณมวลรวมละเอียด : การประมาณปริมาณมวลรวมละเอียดนั้น สามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ วิธีน้ำหนัก (the " weight " method) หรือวิธีปริมาตร (the " absolute volume " method)

วิธีน้ำหนัก (the " weight " method) นี้เริ่มต้นจากน้ำหนักของคอนกรีตจะต้องถูกสมมติขึ้นก่อน โดยอาจประมาณเอาจากประสบการณ์ จากนั้นน้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่ต้องการก็จะหาได้ง่าย จากการเอาน้ำหนักคอนกรีตสดหักออกจากน้ำหนักของวัสดุผสมต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตามอาจใช้ตารางที่ 5ง ช่วยในการประมาณน้ำหนักของคอนกรีตก็จะได้ค่าที่ใกล้เคียงขึ้น

ตารางที่ 3.1ง - ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคอนกรีตกับอัตราส่วนของน้ำ - ซีเมนต์

กำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน กก. / ซม.^{2*}	อัตราส่วนน้ำ - ซีเมนต์โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตธรรมดา	คอนกรีตกระจายฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

* กำลังคอนกรีต คิดจากตัวอย่างทรงกระบอกขนาด ∅ 15 + 30 ซม. บ่มชื้นจนได้อายุ 28 วันที่อุณหภูมิ 23 $\pm$ 1.7° C ถ้าเทียบตัวอย่างลูกบาศก์ค่าจะสูงกว่าประมาณ 20 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2ง - อัตราส่วนน้ำ - ซีเมนต์ที่ยอมให้สำหรับงานภายใต้สภาวะพิเศษ

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกชื้นตลอดเวลาหรือทนต่ออากาศหนาว	คอนกรีตสัมผัสน้ำทะเลหรือซัลเฟต
ชิ้นส่วนเล็ก ๆ อาทิ ราว , ขอบกั้น , บัวหรือหน้าตัดที่มีระยะหุ้มต่ำกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างทั่วไป	0.50	0.45

* ควรใช้คอนกรีตชนิดสารกระจายฟองอากาศ

ตารางที่ 4ง - ปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร

หินขนาดโตสุด	ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของทรายที่มีค่าแห่งความละเอียดแตกต่างกัน			
มม.	2.40	2.50	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.45	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.66	0.62	0.60
25	0.71	0.68	0.68	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.78	0.74	0.72
70	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

ค่าแห่งความละเอียดของทราย = ผลรวมของสัดส่วนสะสมที่ค้างบนตะแกรงขนาด 0.149 , 0.297 , 0.593 , 1.78 , 2.38 และ 4.76 มม.

ตารางที่ 5ง - น้ำหนักคอนกรีตสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มม.	น้ำหนักคอนกรีตสด , กก. / ม.^{3}	
	คอนกรีตธรรมดา	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
10	2285	2190
12.5	2315	2235
20	2355	2280
25	2375	2315
40	2420	2355
50	2445	2375
70	2465	2400
150	2506	2435

สำหรับน้ำหนักคอนกรีตสดถ้าต้องการจะคำนวณให้ได้ค่าจริง จะหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$U_M = 10\, G_a\, (100 - A) + (C_m\,(1 - G_a / G_c) - W_m\,(G_a - 1)$$

ที่ซึ่ง

U_M = น้ำหนักคอนกรีตสด , กก. / ม.^{3}

G_a = ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของมวลรวมคละ (หยาบ + ละเอียด)

G_c = ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ (ทั่วไปเท่ากับ 3.15)

A = ปริมาณอากาศ , %

W_m = ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับผสมคอนกรีต , กก./ ม.^{3}

C_m = ปริมาณซีเมนต์ , กก. / ม.^{3}

สำหรับวิธีปริมาตร (the " absolute volume " method) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาปริมาณของมวลรวมละเอียดที่ได้ค่าแน่นอนขึ้นไปอีก ซึ่งแน่นอนย่อมเกี่ยวข้องกับปริมาตรส่วนผสมต่าง ๆ ที่อยู่ในคอนกรีต ในที่นี้คือ น้ำ , อากาศ , ซีเมนต์และมวลรวมหยาบ นำปริมาตรเหล่านี้ไปหัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกจากปริมาตรของคอนกรีต ก็จะได้เป็นปริมาตรของมวลรวมละเอียด ปริมาตรของวัสดุต่าง ๆ ที่อยู่ในคอนกรีต อาจหาได้โดยเอาน้ำหนักหารด้วยความหนาแน่นของตัวมันเอง

ขั้นตอนที่ 8 การปรับค่าสำหรับความชื้นในมวลรวมคละ : ปริมาณของมวลรวมคละที่ได้จากการชั่งน้ำหนักนั้น จะต้องอยู่ในขอบข่ายของความชื้นที่อนุญาตให้ในหน่วยมวลรวมคละ โดยทั่วไปมวลรวมคละจะต้องมีความชื้น โดยจะมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ถูกซึมและเคลือบผิวอยู่ ดังนั้นปริมาณน้ำที่จะใส่เข้าไปผสมจะต้องลดลงตามจำนวนของความชื้นในมวลรวมคละ

ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีต

คำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีตสำหรับงานหนึ่งที่ต้องการกำลังคอนกรีตโดย เฉลี่ย 250 กก. / ซม.^{2} ด้วยค่ายุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8 - 10 ซม. มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 40 มม. และหน่วยน้ำหนักแห้ง 1600 กก. / ม.^{3} นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่นอีกเช่น ปูนซีเมนต์ประเภท ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 3.15 bulk spec.gravity และอัตราการดูดซึมของมวลรวมหยาบเท่ากับ 2.68 และ 0.5 % ตามลำดับ ส่วนมวลรวมละเอียดมีค่า bulk spec.gravity 2.64 อัตราการดูดซึม 0.7 % และ fineness modulus 2.8

ขั้นตอนที่ 1 : ค่ายุบตัวกำหนดไว้ระหว่าง 8 - 10 ซม.

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมคละที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มม.

ขั้นตอนที่ 3 : คอนกรีตเป็นแบบธรรมดาทั่วไป เนื่องจากไม่ได้นำไปใช้ในสภาพที่เลวร้าย จากตารางที่ 2ง จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมสำหรับค่ายุบตัว 8 - 10 ซม. และขนาดโตสุดของมวลรวม 40 มม. เท่ากับ 175 กก. / ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 4 : ค่า WCR สำหรับคอนกรีตที่กำลัง 250 กก. / ซม.^{2} หาได้จากตารางที่ 2.1ง เท่ากับ 0.62

ขั้นตอนที่ 5 : จากค่าในขั้นตอนที่ 3 และ 4 จะสามารถนำมาหาปริมาณของซีเมนต์ได้คือ 175 / 0.62 = 282 กก. / ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบ หาได้จากตารางที่ 4ง สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. 2.8 และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 มม. จะได้ค่า 0.72 ม.^{3}

ดังนั้นน้ำหนักมวลแห้งเท่ากับ 0.72 x 1600 = 1152 กก.

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียดหรือทรายก็จะคำนวณได้ ทั้งเป็นน้ำหนักและปริมาตร ดังแสดงต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีน้ำหนักวิธี : จากตารางที่ 5ง น้ำหนักของคอนกรีตในหนึ่งลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีมวลรวมหยาบขนาดโตสุด 40 มม. เท่ากับ 2420 กก. สำหรับน้ำหนักวัสดุผสมอื่น ๆ ที่หามาได้แล้วมีค่าดังต่อไปนี้

น.น. น้ำ (สุทธิ)	175 กก.
น.น. ซีเมนต์	282 กก.
น.น. มวลรวมหยาบ	1152 กก.
น.น. รวม	1609 กก.

ดังนั้น น.น. ทรายจะหาได้จาก

$$2420 - 1609 = 811 \text{ กก.}$$

วิธีปริมาตร : จากตารางที่ 2ง ได้ปริมาณอากาศที่มีอยู่ในคอนกรีตอย่างประมาณได้ 1 % ดังนั้น ปริมาตรของวัสดุต่าง ๆ จะหาได้ดังต่อไปนี้

ปริมาตรน้ำ $= \frac{175}{1000} = 0.175$ ม.^{3}

ปริมาตรซีเมนต์ $= \frac{282}{3.15 \times 1000} = 0.090$ ม.^{3}

ปริมาตรมวลรวมหยาบ $= \frac{1152}{2.68 \times 1000} = 0.430$ ม.^{3}

ปริมาตรอากาศ $= 0.01 \times 1000 = 0.010$ ม.^{3}

ปริมาตรวัสดุผสมทั้งหมดยกเว้นทราย $= 0.705$ ม.^{3}

ปริมาตรของทรายที่ต้องการ $= 1.000 - 0.705 = 0.295$ ม.^{3}

ปริมาตรของทรายแห้งที่ต้องการ $= 0.295 \times 2.64$ ป $1000 = 779$ ม.^{3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการคำนวณที่ผ่านมาทั้งหมด เปรียบเทียบน้ำหนักของวัสดุต่าง ๆ ให้เห็นได้ดังตารางดังต่อไปนี้

	โดยน้ำหนัก กก.	โดยวิธีปริมาตร กก.
น้ำ (สุทธิ)	175	175
ซีเมนต์	285	282
มวลรวมหยาบ (แห้ง)	1152	115
ทราย (แห้ง)	811	779

ขั้นตอนที่ 8 : จากผลการทดลองปรากฏว่าค่าความชื้นรวมของมวลหยาบเป็น 2 % และของมวลรวมละเอียดเป็น 6 % ถ้าการผสมคอนกรีตคิดเป็นน้ำหนัก จำเป็นต้องปรับปริมาณของมวลรวมทั้งสองใหม่ ดังนี้

มวลรวมหยาบ (ชื้น) = 1152 (1.02) = 1175 กก.

มวลรวมละเอียด (ชื้น) = 811 (1.06) = 860 กก.

ส่วนปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อมวลรวมไม่เกี่ยวกับจำนวนน้ำที่ต้องใช้ผสม และอยู่นอกเหนือจากการที่จะปรับปริมาณน้ำใหม่ ดังนั้น น้ำที่เคลือบผิวของมวลรวมหยาบจะเป็นจำนวน 2 - 0.5 = 1.5 % และมวลรวมละเอียดเท่ากับ 6 - 0.7 = 5.3 % และปริมาณน้ำที่ต้องใช้ผสมจะเปลี่ยนแปลงเท่ากับ

175 - 1152 (0.015) - 811 (0.053) = 115 กก.

น้ำหนักของวัสดุผสมครั้งสุดท้ายสำหรับคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร คือ

น้ำ (ที่ต้องใส่)	115 กก.
ซีเมนต์	282 กก.
มวลรวมหยาบ (ชื้น)	1175 กก.
มวลรวมละเอียด (ชื้น)	860 กก.
รวมทั้งสิ้น	2432 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>คอนกรีตสำหรับงานเล็ก</u>

สำหรับคอนกรีตที่ใช้ในงานเล็ก ๆ ที่ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้การควบคุมอย่างเข้มงวดและต้องการคอนกรีตที่มี ความแข็งแรงพอประมาณ จำนวนน้ำที่ใส่เข้าไปผสมก็ไม่มากเกินไปที่จะทำให้คอนกรีตเหลว และมวลรวมคละที่ใช้ก็เป็นวัสดุที่มีขนาดผสมปานกลางทั่วไป อาจใช้ตารางที่ 6ง ช่วยในการกำหนดอัตราส่วนผสมได้

ตารางที่ 6ง - ส่วนผสมคอนกรีตสำหรับงานขนาดเล็กกก.

ขนาดหินโตสุด นิ้ว	น้ำหนักส่วนผสมในคอนกรีต 1 ลบ. , ปอนด์			
	แบบการผสม	ซีเมนต์	ทราย	หิน
1 / 2	A	25	51	54
	B	256	49	56
	C	25	47	58
3 / 4	A	23	48	63
	B	23	47	64
	C	23	45	65
1	A	22	45	40
	B	22	43	72
	C	22	41	74
$1^{1/2}$	A	20	45	75
	B	20	43	77
	C	20	41	79
2	A	10	45	79
	B	10	43	81
	C	10	41	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางจะเห็นว่าได้กำหนดอัตราส่วนผสมครั้งแรกไว้ 3 แบบ สำหรับมวลรวมแต่ละขนาดเมื่อกำหนดขนาดโตสุดของมวลรวมได้แล้ว ให้เริ่มที่อัตราส่วนผสมแบบ B ก่อน ถ้าอัตราส่วนผสมออกมารู้สึกว่าจะมีทรายมากเกินไป ก็ให้เปลี่ยนมาใช้แบบ C แต่ถ้ารู้สึกว่าทรายจะต่ำไปก็ให้เลื่อนขึ้นไปใช้แบบ A อย่างไรก็ตาม ค่าที่ให้ไว้ในตารางนี้เป็นค่าที่คิดเมื่อทรายแห้งหรือทรายผิวแห้ง ถ้าทรายที่ใช้ชื้นหรือเปียกก็จะต้องแก้ไขหรือปรับตัวเลขเสียใหม่ตามข้อกำหนดที่ให้ไว้ใต้ตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

(Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates)

AASHTO : T 27 - 78

ASTM : C 136

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาขนาดมวลรวมคละโดยใช้ตะแกรงขนาดมาตรฐาน สำหรับค่าพิกัดความละเอียด (Fineness modulus) ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของอนุภาคในมวลรวมที่กำหนดให้ นั่นคือ มวลรวมยิ่งหยาบ ค่าพิกัดความละเอียดยิ่งสูง

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มวลรวมละเอียด คือ ทราย ประมาณ 500 กรัม
2. มวลรวมหยาบ คือ หิน หรือกรวด ประมาณ 1000 กรัม
3. ตะแกรงขนาดมาตรฐาน เบอร์ 4 หรือ 3 / 16 " , 8 , 16 , 30 , 50 และ 100 สำหรับทราย
4. ตะแกรงมาตรฐานขนาด 3" , 2" , 1" , 3/4 " , 1/2", 3/8" และ No. 4 สำหรับหินหรือกรวด
5. เครื่องเขย่าตะแกรง
6. ตาชั่งขนาดใหญ่
7. เตาอบ

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การหาส่วนขนาดคละของทราย

1. เตรียมทรายสำหรับทดสอบด้วยการตรวจดูว่าชื้นหรือไม่ ปกติควรเป็นทรายที่แห้ง หากชื้นเกินไปควรอบเสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เตรียมชุดของตะแกรงด้วยการทำความสะอาดไม่ให้มีเศษฝุ่นผงค้างอยู่ภายในช่อง ชั่งน้ำหนักตะแกรงทุกขนาดและบันทึกไว้ พร้อมกับจัดเรียงซ้อนตามลำดับ และมีถาดรองอยู่ด้านล่างสุด

3. ค่อย ๆ เททรายที่เตรียมพร้อมไว้แล้วลงในชุดตะแกรง ปิดฝาให้สนิท แล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่า จับเวลาประมาณ 10 นาที

4. ถึงขณะนี้ทรายที่มีเม็ดขนาดต่าง ๆ จะถูกแยกไปอยู่ในตะแกรงขนาดต่าง ๆ เช่นกัน ให้นำตะแกรงที่มีทรายค้างอยู่นั้นไปชั่งและจดบันทึกไว้อีกครั้งหนึ่ง แล้วคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดต่อไป

ข) การหาส่วนขนาดคละของหิน

1. เตรียมหินสำหรับทดลองหากเป็นหินขนาดเล็ก คือ มีขนาดโตสุดไม่เกิน 1 1/2" ให้ใช้ประมาณ 5 กก. แต่หากเป็นหินใหญ่ควรใช้ประมาณ 20 กก.

2. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองของทรายตั้งแต่ข้อ 2 - 4

<u>หมายเหตุ</u>

1. ค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวม จะหาได้จากผลรวมของอัตราที่ค้างอยู่บนตะแกรงทั้งหมดหารด้วย 100

2. ทรายสำหรับใช้ในงานคอนกรีตทั่วไปควรมีค่าพิกัดความละเอียดระหว่าง 2.3 - 3.1

3. หิน หรือกรวดที่ใช้ในงานคอนกรีตควรมีค่าพิกัดความละเอียดระหว่าง 5.5 - 8

4. ในการทำ mix design ใช้ค่า F.M. ของทรายเป็นหลัก เนื่องจากมีผลทาง workability มาก ทรายที่มีความละเอียดมาก (F.M. ต่ำ) จะทำงานได้ดีกว่า ค่าของทรายที่ใช้งานจริงจะต้องไม่ต่างจากที่กำหนดใน mix design เกินกว่า 0.2 เพราะจะทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับ F.M. ของหินไม่ใช้ใน mix design

5. นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบการเรียงตัวของมวลรวมว่าเหมาะสมหรือไม่จากการพล็อตกราฟของ grading curve และเทียบกับเส้นค่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

grading limits

Fine		Coarse			
Sieve No.	% Passing	% Passing (Nominal Max.Size)			
		1 1/2"	1"	3/4"	1/2"
3/8"	100	95-100	100	-	-
No. 4	95 - 100	-	95-100	100	-
No. 8	80 - 100	35 - 70	-	90-100	100
No. 16				-	90 - 100
No. 30	25 - 60	10 - 30	-	20 - 55	40 - 70
No. 50	10 - 30	0 - 5	0 - 10	0 - 10	0 - 15
No. 100	2 - 10	-	0 - 5	0 - 5	0 - 5

$$\text{(Sand)F.M.} = \frac{\text{(Cumulative \% retained)}}{100}$$

$$\text{(Coarse) F.M.} = \frac{\text{(Cumulative \% retain , including No.4 + 500)}}{100}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

(Test for Unit Weight of Aggregate)

ASTM : C 29 - 76

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาน้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร ไม่ว่าจะเป็น ทราย หิน หรือมวลรวมผสมก็ตาม ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

1. มวลรวม อาทิ ทราย หิน และกรวด
2. ตาชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.3 % ของน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ
3. เหล็กกระทุ้ง เป็นแท่งเหล็กกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาวประมาณ 60 ซม. มีปลายด้านกระทุ้งมนเป็นลักษณะครึ่งวงกลม
4. ภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก อาจเป็นภาชนะรูปทรงกระบอก ควรมีมือจับทั้งสองข้าง ขนาดของภาชนะต้องเป็นไปตามตารางข้างล่างนี้

ปริมาตร	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	ความสูงภายใน	ความหนาน้อยสุด		ขนาดโตสุด
ลิตร	มม.	มม.	ก้นภาชนะ	ผนังข้าง	ของมวลรวม
3	155 ± 2	160 ± 2	5.0	2.5	12.5
10	205 ± 2	305 ± 2	5.0	2.5	25.0
15	255 ± 2	295 ± 2	5.0	3.0	37.5
30	355 ± 2	305 ± 2	5.0	3.0	100.0

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การหาหน่วยน้ำหนักของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เติมน้ำใส่ภาชนะให้เต็ม และทำให้ไม่มีฟองอากาศอยู่เลย พร้อมทั้งปิดฝาด้วยแผ่นกระจกใส

2. วัดอุณหภูมิของน้ำเพื่อนำไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนักโดยเทียบจากตารางข้างล่างนี้

3. หาค่าแฟคเตอร์ของภาชนะ โดยการหารหน่วยน้ำหนักของน้ำด้วยน้ำหนักน้ำในภาชนะ

ข) การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักเมื่อมวลรวมอัดตัวแน่น

1. โดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง (Rodding procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 37.5 มม. (1 1/2 นิ้ว)

ตารางแสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ

อุณหภูมิ ° C	กก. / ม^3
15.6	999.01
18.3	998.53
21.1	997.97
23.0	997.53
23.9	997.32
26.7	996.60
29.4	995.80

1.1 เทมวลรวมสำหรับทดลองในภาชนะให้สูงประมาณ 1/3 เท่า และเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบและใช้เหล็กกระทุ้งให้เกือบถึงก้น โดยแผ่กระจายให้ทั่วผิวหน้ารวม 25 ครั้ง จากนั้นใส่มวลรวมลงไปอีก 1/3 เท่า ทำการกระทุ้งเช่นเดียวกันและใส่ลงไปอีกเป็นชั้นสุดท้ายกระทุ้งอีก 25 ครั้ง เสร็จแล้วให้ปาดผิวหน้าของมวลรวมให้เรียบเสมอกับแนวขอบบนของภาชนะ อย่าให้ปุ่มหรือโปนเป็นอันขาด

1.2 ชั่งน้ำหนักภาชนะที่บรรจุมวลรวมดังกล่าวเพื่อคำนวณหาน้ำหนักเฉพาะของมวลรวมโดยแท้ โดยชั่งให้ได้ความละเอียดถึง 0.1 % แล้วคูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ ก) จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โดยวิธีกระแทกภาชนะ (Jigging Procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตสุดเกินกว่า 37.5 มม. แต่ไม่เกิน 100 มม. (4 “)

2.1 แบ่งเทมวลรวมใส่ภาชนะเป็น 3 ชั้น เช่นเดียวกับวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง แต่วิธีภาชนะควรถูกนำมาวางบนพื้นที่แข็ง เช่น พื้นคอนกรีต เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเมื่อเทมวลรวมแต่ละชั้นแล้วให้เอียงภาชนะเพื่อให้ด้านตรงข้ามสูงขึ้นจากพื้นไม่เกิน 50 มม. และปล่อยให้ตกลงกระแทกพื้นเป็นจำนวน 25 ครั้ง เสร็จแล้วเอียงกลับมาอีกด้านหนึ่งเพื่อให้ด้านที่ติดพื้นในตอนแรกนั้นยกลอยขึ้นมา 50 มม. บ้าง และปล่อยให้ตกกระแทกพื้นอีก 25 ครั้ง เช่นเดียวกัน ทำเช่นนี้ทั้ง 3 ชั้น จึงปาดผิวหน้ามวลให้เรียบ แล้วนำไปชั่ง

2.2 เมื่อได้น้ำหนักที่แท้ของมวลรวมแล้วคูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ ก) ก็จะได้หน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่นเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม

(Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying)

ASTM : C 566 - 67

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาอัตราของปริมาณความชื้นทั้งหมดที่มีอยู่ในมวลรวม โดยการทำให้มวลรวมแห้งด้วยการเผา ซึ่งจะทำให้ได้น้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมสำหรับชั่งผสมคอนกรีต

วัสดุและอุปกรณ์

1. มวลรวม ใช้ประมาณ 4 - 6 กก. สำหรับมวลรวมหยาบ และประมาณ 0.5 กก. สำหรับมวลรวมละเอียด
2. ตาชั่งที่วัดละเอียดถึง 0.1 %
3. เตาเผา
4. ภาชนะบรรจุตัวอย่าง เช่น ปี๊ป
5. แท่งเหล็กสำหรับคนมวลรวม

ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมชื้นที่จะนำมาทดสอบ แล้วเทลงในภาชนะบรรจุนำไปใส่วางบนเตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สม่ำเสมอ ใช้แท่งเหล็กคนมวลรวมเป็นระยะ ๆ เพื่อให้มวลรวมทุกก้อนได้รับความร้อนทั่วถึงกัน
2. เมื่อมวลรวมแห้งสนิทดีแล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง
3. ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวมจะหาได้จากสูตร

$$P = 100 (W - D) / D$$

โดยที่ P = ปริมาณความชื้น , %

W = น้ำหนักมวลรวมก่อนเผา

D = น้ำหนักมวลรวมแห้งหลังเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปริมาณความชื้นรอบผิวของมวลรวมจะหาได้จากค่าแตกต่างระหว่างปริมาณความชื้นรวมกับอัตราการดูดซึมของมวลรวมนั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ชัชวาล เศรษฐบุตร, "คอนกรีตเทคโนโลยี" , พิมพ์ครั้งที่ 1, 30 กรกฎาคม 2536

[2.] ศาสตราจารย์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร, "คอนกรีตเทคโนโลยี" , พิมพ์ครั้งที่ 7, พ.ศ.2539

[3] ศิริวัฒน์ ไชยชนะ, "ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี" , กรุงเทพฯ,พระจอมเกล้าลาดกระบัง, พ.ศ.2535

[4.] ฟูจิอิซาโตะ, "การทดสอบแบบไม่ทำลาย"

[5] สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน ร่วมกับ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย,"บทบาทของการทดสอบโดยไม่ทำลาย"

[6] เอกสารประกอบการใช้เครื่องมือ

- Ultrasonic, Pundit
- Schmidt Hammer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้