



การเปรียบเทียบการรับกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีทดสอบต่าง ๆ

Comparative of concrete compressive strength by different method of testings.

นายบุญลือ คู่คุ้ม 35104238
นางสาวหทัยจริ แสงประดิษฐ 35104514

วัน เดือน ปี..... 1 ก.ค. 2500
เลขทะเบียน..... 087/99
เลขเรียกหนังสือ..... T 38293. 157 ก

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปีการศึกษา 2538

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้คัดลอกไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COMPARATIVE OF CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH
BY DIFFERENT METHOD OF TESTINGS**



MR. BOONLUE TOONTHIM 35104238
MISS. HATAIJAREE SANGPRADIST 35104514

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

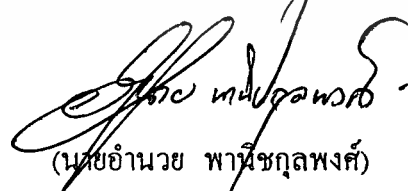
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การเปรียบเทียบการรับกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีทดสอบต่าง ๆ
Comparative of concrete compressive strength by different method
of testings.

นักศึกษา นายบุญลือ ตุ่นทิม รหัสประจำตัว 35104238
นางสาวหทัยจรี แสงประดิษฐ์ รหัสประจำตัว 35104514
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สุพจน์ ศรีนิล

คณะกรรมการการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ.สุพจน์ ศรีนิล อ.สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์ อ.คมสัน มาลีสี	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา รับรองแล้ว



(นายอำนาจ พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ.

หัวข้อโครงการพิเศษ การเปรียบเทียบการรับกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีทดสอบต่าง ๆ
 Comparative of concrete compressive strength by different method
 of testings.

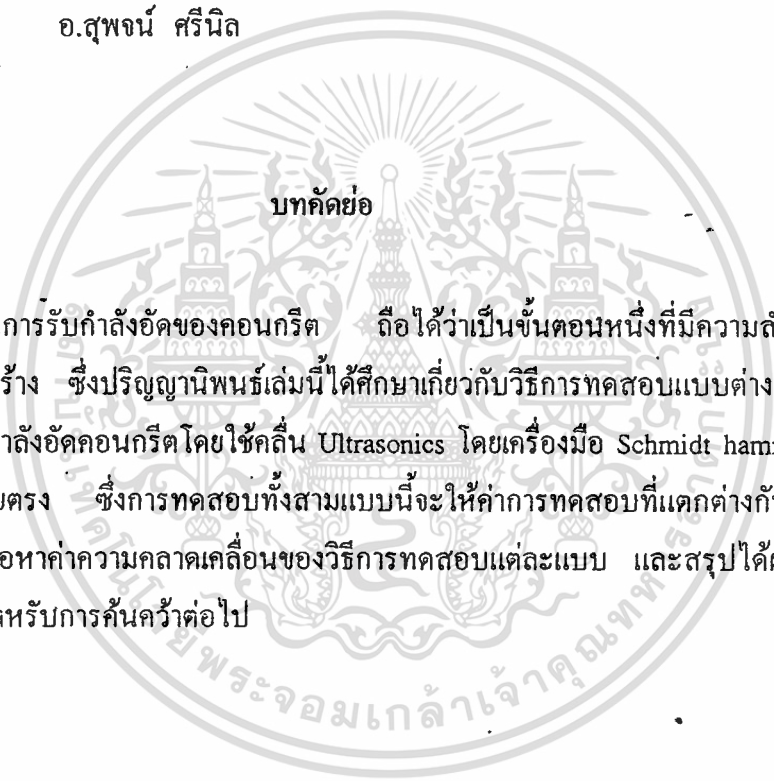
นักศึกษา นายบุญลือ คู่่นทิม รหัสประจำตัว 35104238

นางสาวหทัยจรี แสงประดิษฐ รหัสประจำตัว 35104514

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สุพจน์ ศรีนิล



บทคัดย่อ

การทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งของการก่อสร้าง ซึ่งปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการทดสอบแบบต่างๆดังนี้คือการทดสอบการรับกำลังอัดคอนกรีตโดยใช้คลื่น Ultrasonics โดยเครื่องมือ Schmidt hammer และการทดสอบแบบโดยตรง ซึ่งการทดสอบทั้งสามแบบนี้จะให้ค่าการทดสอบที่แตกต่างกันออกไป จึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีการทดสอบแต่ละแบบ และสรุปได้ผลไว้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการค้นคว้าต่อไป

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.

กิติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จล่วงไปด้วยดี มิได้เกิดจากกลุ่มผู้เขียนเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้นยังมีบุคคล บริษัท ผู้ซึ่งมีส่วนทำให้โครงการพิเศษนี้บรรลุผลตามเป้าหมายที่ได้วางไว้ จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณบุคคล และบริษัทผู้มีส่วนทำให้โครงการนี้เป็นรูปเป็นร่างขึ้นมา ดังนี้

อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน

บริษัท Soil Testing Siam CO.,Ltd. สำหรับคำแนะนำต่างๆ

บริษัท Pyramid Development International CO.,Ltd. สำหรับอุปกรณ์บางส่วนที่กรุณาให้ยืม



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	II
บทที่ 1. บทนำ	1
บทที่ 2. การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีต่าง ๆ	3
บทที่ 3. การทดลอง	24
บทที่ 4. ผลการทดลอง	50
บทที่ 5. สรุปและวิเคราะห์	95
บทที่ 6. ปัญหาและอุปสรรคการทดลอง	101
ภาคผนวก	
ก. การทดสอบโดยใช้คลื่น Ultrasonic	102
ข. การทดสอบโดยเครื่องมือ Schmidt Hammer	115
ค. การทดสอบแบบทำลายโดยเครื่อง UTM	125
ง. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	129
บรรณานุกรม	

รายการตารางที่ใช้ประกอบ

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของ Schmidt Hammer	4
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมกระแทก α กับค่าปรับ ΔR	6
ตารางที่ 3ข. แสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (ksc) กับค่า Rebound Number	123
ตารางที่ 1ง. ค่ายุบตัวสำหรับงานประเภทต่าง ๆ	132
ตารางที่ 2ง. ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต	132
ตารางที่ 3.1ง. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคอนกรีตกับอัตราส่วนของน้ำ-ซีเมนต์	134
ตารางที่ 3.2ง. อัตราส่วนน้ำ-ซีเมนต์ที่ยอมให้สำหรับงานภายใต้สภาวะพิเศษ	134
ตารางที่ 4ง. ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร	135
ตารางที่ 5ง. น้ำหนักคอนกรีตสด	135
ตารางที่ 6ง. ส่วนผสมคอนกรีตสำหรับงานคอนกรีตขนาดเล็ก	139



รายการรูปภาพที่ใช้ประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างภายในของค้อนแบบ N	3
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับจำนวนครั้งการสะท้อน	6
รูปที่ 2.3 วิธีวัดความเร็วคลื่นเสียง	7
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความเร็วเสียง	8
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสลักกับความแข็งแรงของคอร์	12
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความแข็งแรงทดสอบมาตรฐาน	12
รูปที่ 2.7 การทดสอบโดยวิธีดึงสลักแบบต่าง ๆ	13
รูปที่ 2.8 การทดสอบโดยวิธีการหักคอร์	14
รูปที่ 2.9 เครื่องวัดแรงดันและกำลังต้านทานแรงอัด (Break-off Test)	15
รูปที่ 2.10 อุปกรณ์ทดสอบการดึงคอร์ให้หัก	17
รูปที่ 2.11 แรงดึงให้หักของคอร์กับแรงกระบอกสูบ	17
รูปที่ 2.12 การทดสอบการบิดให้แตกหัก	18
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความแข็งแรงของวัสดุขึ้นทดสอบ	18
รูปที่ 2.14 ระดับการแข็งตัว (Maturity) กับความแข็งแรงของทรงกระบอก	19
รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังต้านทานแรงอัดคอนกรีตของ ISO โดยความเร็วเสียงและจำนวนครั้งการสะท้อน (SONRER)	22
รูปที่ 3.1 แสดงแบบหล่อแท่งคอนกรีต	37
รูปที่ 3.2 แสดงการผสมคอนกรีตในโมผสม	37
รูปที่ 3.3 แสดงการหล่อแท่งคอนกรีต	38
รูปที่ 3.4 แสดงบ่อบ่มคอนกรีต	38
รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องมือการทดสอบคอนกรีตชนิด Pundit	39
รูปที่ 3.6 แสดงการวัดความยาวของแท่งคอนกรีต	39
รูปที่ 3.7 แสดงการทาจารบีที่โพรบ	40
รูปที่ 3.8 แสดงการ Calibrate เครื่อง Pundit	40
รูปที่ 3.9 แสดงด้านหน้าของเครื่อง Pundit	41
รูปที่ 3.10 แสดงการวัดความเร็วของคลื่น Ultrasonic วิ่งผ่านแท่นคอนกรีต	41

รายการรูปภาพที่ใช้ประกอบ

หน้า

รูปที่ 3.11 แสดงการวัดความเร็วของคลื่น Ultrasonic แบบ Surface Transmission	42
รูปที่ 3.12 แสดงเครื่องมือ Schmidt Hammer ชนิด N	42
รูปที่ 3.13 แสดงเครื่องมือที่ใช้วัดและทำตำแหน่งที่จะทำการวัดแบบ Hammer	43
รูปที่ 3.14a แสดงการวัดหาค่า Rebound Number	43
รูปที่ 3.14b แสดงการวัดหาค่า Rebound Number	44
รูปที่ 3.15 แสดงค่า Rebound Number ที่อ่านได้บนจอสเกล	44
รูปที่ 3.16 แสดงการวัดค่า Rebound Number ของพื้นที่ที่จะทำการ Coring	45
รูปที่ 3.17 แสดงเครื่อง UTM	45
รูปที่ 3.18 แสดงการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งคอนกรีต	46
รูปที่ 3.19 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำหวมกรอบแท่งคอนกรีต	46
รูปที่ 3.20 แสดงทำหวมกรอบแท่งคอนกรีต	47
รูปที่ 3.21 แสดงการทดสอบหาค่าลึงอัด UTM	47
รูปที่ 3.22 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการ Coring	48
รูปที่ 3.23 แสดงแท่งคอนกรีตที่ได้จากการ Coring เทียบกับแท่งตัวอย่างทดสอบ	48
รูปที่ 3.24 แสดงปล่องที่เกิดจากการทำ Coring	49
รูปที่ 3.25 การทดสอบหาค่าลึงอัดแบบ UTM กับแท่งคอนกรีตที่ได้จากการ Coring	49
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและการรับค่าลึงอัด ของก้อนหล่อตัวอย่างทดสอบ	50
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและการรับค่าลึงอัด ของก้อนทดสอบที่ได้จากการ Coring	51
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงค่าลึงอัดคอนกรีตที่ส่วนผสมออกแบบ 210 ksc	95
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงค่าลึงอัดคอนกรีตที่ส่วนผสมออกแบบ 240 ksc	96
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงค่าลึงอัดคอนกรีตที่ส่วนผสมออกแบบ 280 ksc	96
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงค่าลึงอัดคอนกรีตที่ส่วนผสมออกแบบ 350 ksc	97

รายการรูปภาพที่ใช้ประกอบ

	หน้า
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการทดสอบการรับกำลังอัด ของคอนกรีตโดยคลื่น Ultrasonic	97
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการทดสอบการรับกำลังอัด ของคอนกรีตโดยใช้เครื่อง Schmidt Hammer	98
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของก้อนทดสอบที่ได้จากการ Coring	99
รูปที่ 1ก. กราฟเปรียบเทียบความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นเสียงกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	102
รูปที่ 2ก. การหารอยร้าวในเนื้อของโลหะด้วยคลื่นอัลตราโซนิก	104
รูปที่ 3ก. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความเร็วเสียง	105
รูปที่ 4ก. แสดงวิธีการจัดตำแหน่งในการวัดความเร็วแบบต่าง ๆ	107
รูปที่ 5ก. แสดงภาพด้านหน้าและหลังของเครื่อง Pundit	111
รูปที่ 1ข. แสดงส่วนประกอบของเครื่อง Schmidt Hammer แบบ N	116
รูปที่ 2ข. กราฟแสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (ksc) กับค่า Rebound Number	119
รูปที่ 2.1ข. กราฟแสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (psi) กับค่า Rebound Number	120
รูปที่ 2.2ข. กราฟแสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ksc) กับค่า Rebound Number	121
รูปที่ 2.3ข. กราฟแสดงกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (psi) กับค่า Rebound Number	122
รูปที่ 1ง. แสดงตระแกรงและเครื่องเขย่าตระแกรง	143
รูปที่ 2ง. แสดงเครื่องชั่งน้ำหนัก	144
รูปที่ 3ง. แสดงเตาอบ	149

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากการก่อสร้างต่าง ๆ นั้น กำลังของคอนกรีตเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง ถ้ากำลังของคอนกรีตที่นำมาใช้ในการทำการก่อสร้างมีกำลังไม่ตรงตามที่ได้กำหนดเอาไว้ในการออกแบบแล้ว อาจก่อให้เกิดปัญหากับตัวโครงสร้างได้ คือ อาจทำให้อาคารเกิดความเสียหาย ดังนั้นเราจึงต้องมีการทดสอบกำลังของคอนกรีตที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง เครื่องมือและวิธีการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตจึงเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่ง เพราะจะเป็นส่วนช่วยบอกให้เราทราบว่าคอนกรีตมีความสามารถในการรับกำลังอัดเพียงพอกับความต้องการหรือไม่ และในการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตนั้นเรามีวิธีการทดสอบที่แตกต่างกันไปหลายวิธี ดังนั้นการหาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตจึงมีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่ง

วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาค่าความแตกต่างของวิธีทดสอบกำลังอัดคอนกรีตแบบต่าง ๆ
2. เพื่อวิเคราะห์ว่าการทดสอบแบบใดให้ผลใกล้เคียงกับวิธีทดสอบแบบแรงอัดโดยตรงซึ่งใช้เป็นวิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบในโครงการพิเศษนี้

ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

ในการทดสอบแต่ละวิธีการนั้น ผลที่ได้รับจากวิธีการแต่ละวิธีการนั้นมีความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันออกไป ดังนั้นในการทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตในงานจริง เราจึงไม่สามารถทราบได้เลยว่า ค่าที่เราทดสอบได้จะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด ดังนั้นเราจึงต้องมาทำการทดลอง และวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการใช้วิธีการแต่ละชนิดในการทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีต

ขอบเขตของโครงการพิเศษ

ทำการวิเคราะห์และทดสอบเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตด้วยวิธีต่าง ๆ ที่ใช้กัน

ดังนี้คือ

1. การทดสอบแบบไม่ทำลาย แบ่งเป็น
 - 1.1 แบบ Rebound Test โดยเครื่องมือ Schmidt Hammer
 - 1.2 แบบ Ultrasound Test โดยเครื่องมือ Pundit
2. การทดสอบแบบทำลาย คือ การทดสอบแบบ Compressive strength Test โดยเครื่อง Universal Testing Machine



บทที่ 2

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีต่าง ๆ

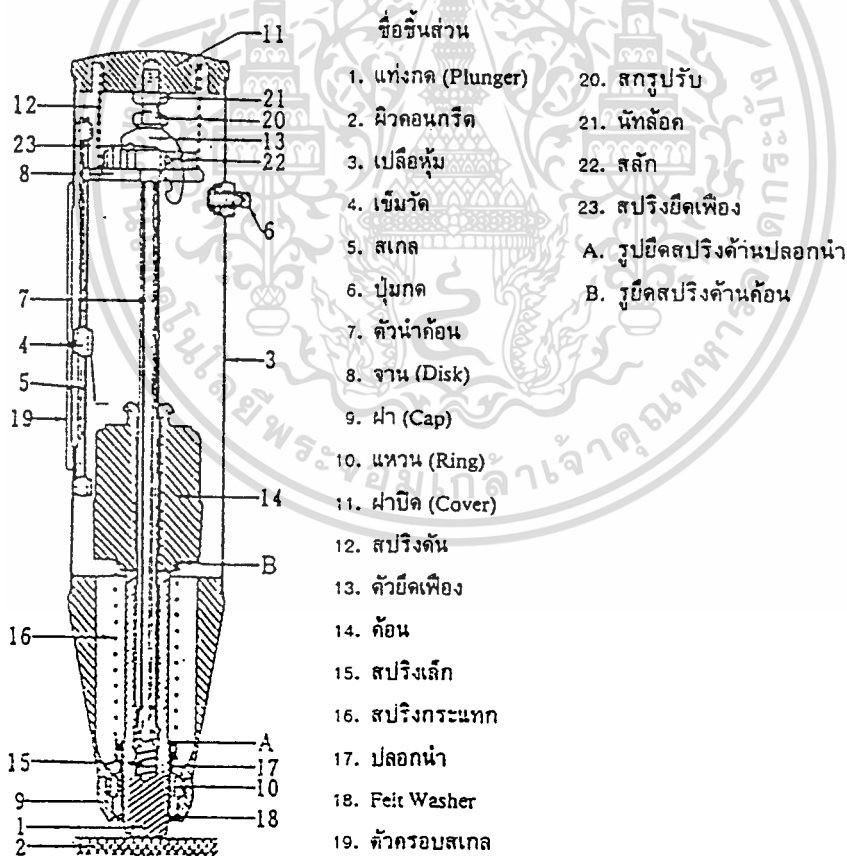
วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อกำหนดค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีต

วิธีนับจำนวนครั้งการสะท้อน (Rebound Hammer, Schmidt Hammer)

1. หลักการ

ใช้ลูกเหล็กกลมเล็ก ๆ กระแทกผิวคอนกรีต แล้ววัดจำนวนครั้งของการสะท้อน

(Rebound Number) ค่านี้จะเป็นอัตราส่วนกับโมดูลัสยืดหยุ่น



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างภายในของค้อนแบบ N

โมดูลัสยืดหยุ่นนี้จะเป็นอัตราส่วนโดยประมาณกับกำลังต้านทานแรงอัด ดังนั้นกำลังต้านทานแรงอัดจึงสามารถคาดคะเนได้จากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการสะท้อนกับกำลังต้านทานแรงอัดที่เตรียมไว้ล่วงหน้า

2. วิธีการ

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

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

ตารางที่ 2.1 ชนิดของ Schmidt Hammer

3. การใช้งาน

ประมาณค่ากำลังต้านทานแรงอัดของสิ่งก่อสร้างทำด้วยคอนกรีต

4. ข้อควรระวัง

(1) จำนวนครั้งของการกระแทกต่อตำแหน่งที่วัด ค่ามาตรฐาน 20 ครั้ง

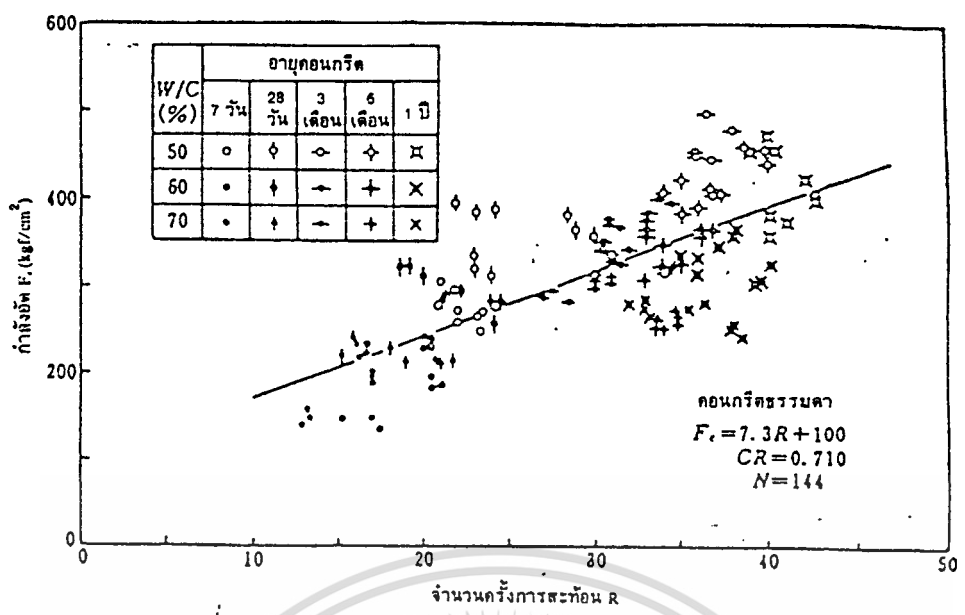
- (2) วิธีการกระแทก : ใช้ระดับระนาบแนวนอนเป็นมาตรฐาน ในกรณีกระแทกแนว
ล่าง ปรับค่าบวก ในกรณีกระแทกแนวนอน ปรับค่าลบ (ดูตารางที่ 2.1 ประกอบ)
- (3) อัตราส่วนของน้ำที่มีอยู่บนผิวคอนกรีต : แรงกระแทกของผิวคอนกรีตที่ขึ้นจะลด
น้อยลง 5 % เมื่อเปรียบเทียบกับผิวคอนกรีตแห้ง
- (4) อายุคอนกรีต : เมื่อเวลาผ่านไปนาน ความแข็งแรงเหมือนกัน แต่จำนวนครั้งการ
สะท้อนจะมากขึ้น ดังนั้น จึงต้องปรับค่าให้ถูกต้อง (ตัวอย่างเช่น มีรายงานว่า ถ้าอายุคอนกรีตเกินกว่า
8 ปี ขึ้นไป ให้ยกกำลัง 0.63 ของค่าความแข็งแรงที่ประมาณได้)
- (5) ความเรียบมันของผิวกระแทก : จำนวนครั้งการสะท้อนจะลดน้อยลงเมื่อกระแทก
บนผิวหยาบ
- (6) ความหนาของคอนกรีต : ถ้าความหนาคต่ำกว่า 10 ซม. จำนวนครั้งการสะท้อนจะ
ลดน้อยลงเร็วมาก ถ้าความหนาเกิน 30 ซม. จะคงที่
- (7) ความแข็งแรงของกำแพง เสา ตามแนวสูง : โดยทั่วไป บริเวณด้านบนจะมีความ
แข็งแรงน้อยกว่าบริเวณตรงกลางและบริเวณล่าง 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



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับจำนวนครั้งการสะท้อน

α R_0	+ 90°	+ 45°	- 45°	- 90°	หมายเหตุ
10	-	-	+ 2.4	+ 3.2	 แผนวกระแตก แผนวกระแตก เครื่องหมาย + ของมุม หมายถึง แนวบน เครื่องหมาย - หมายถึง แนวล่าง
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	

(ระวัง) การปรับค่าใช้สูตร

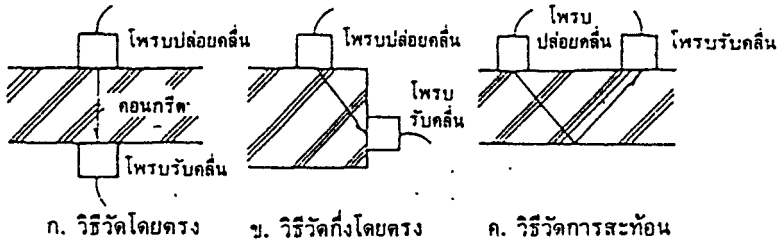
$$R = R_0 + \Delta R$$

R : ค่าปรับแสง, R : ค่าที่วัดได้, ΔR : ค่าปรับ

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมกระแตก α กับค่าปรับ ΔR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีใช้ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity)



รูปที่ 2.3 วิธีวัดความเร็วคลื่นเสียง

1. หลักการ

วัดความเร็วของคลื่นเสียงที่ผ่านคอนกรีต ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเสียงกับโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิก (Dynamic Elastic Modulus) สามารถเขียนเป็นฟังก์ชันได้ตามสมการ

$$E_D = \frac{V_p^2 \cdot \rho (1 + \nu_d) \cdot (1 - \nu_d)}{g(1 - \nu_d)} \quad (2.1)$$

เมื่อ E_D : โมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิก (Dynamic Elastic Modulus)

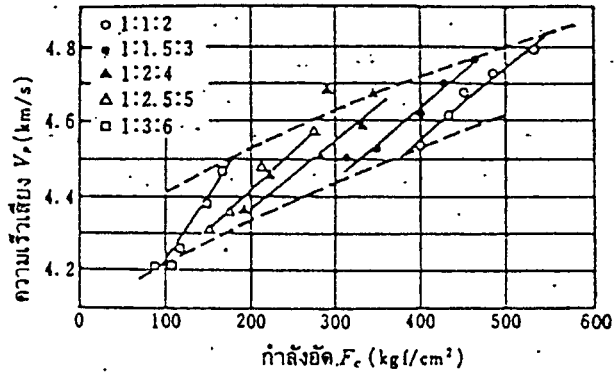
V_p : ความเร็วเสียง (ชม./วินาที²)

ν_d : อัตราส่วนปัวของไดนามิก (Dynamic Poisson's Ratio)

ρ : ความหนาแน่น (กก./ลบ.ชม.)

g : ความเร่งเกี่ยวกับแรงดึงดูดของโลก (980 ชม./วินาที²)

กำลังต้านทานแรงอัดจึงสามารถประมาณได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเสียงกับกำลังต้านทานแรงอัด ซึ่งสร้างไว้ล่วงหน้า (ดูรูปที่ 2.4 ประกอบ)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความเร็วเสียง

2. วิธีการ

ใช้ขั้ววัดหรือโพรบสัมผัสกับปลายข้างหนึ่งของคอนกรีต แล้วส่งสัญญาณเรื่องพัลส์อัลตราโซนิก ผ่านเข้าไปในคอนกรีต จับเวลาในการเดินทางของเสียงและวัดระยะทางที่เครื่องพัลส์ใช้จากโพรบส่งคลื่นไปยังโพรบรับคลื่นซึ่งนำไปคำนวณหาความเร็วของเสียงได้ วิธีการที่คล้ายคลึงกันคือ วิธีการแบบการส่งผ่านคลื่น (Wave Motion) วิธีทำให้เกิดคลื่นปะทะด้วยการตีด้วยค้อน (วิธีวัดการส่งผ่านผิวคลื่น) แต่ก็ไม่เป็นที่นิยมใช้กัน

3. การใช้งาน

- (1) ประมาณกำลังต้านทานแรงอัดของสิ่งก่อสร้างทำด้วยคอนกรีต
- (2) วัดความลึกของรอยแตกร้าวในคอนกรีต รวมทั้งความหนาและมิติหรือขนาด

ของชิ้นวัสดุ

- (3) ประมาณการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของวัสดุต่อเวลาที่เปลี่ยนไป

4. ข้อควรระวัง

- (1) ชนิด ถ.พ. เนื้อหิน ของวัสดุโครงสร้าง : มีอิทธิพลต่อความเร็วเสียง
- (2) การผสม : แม้ความเร็วเสียงจะคำนวณเท่ากันก็ตามแต่ ถ้าเป็นคอนกรีตผสมเพิ่มกำลังต้านทานแรงอัดจะมาก ถ้าเป็นคอนกรีตผสมอ่อน กำลังต้านทานแรงอัดจะน้อย
- (3) อายุคอนกรีต : ถ้าคอนกรีตมีอายุมากกว่า 3 เดือน ขึ้นไป อัตราการเพิ่มความเร็วของเสียงน้อยลง เมื่อเทียบกับความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น และถ้าความแข็งแรงไม่เพิ่มขึ้น ความเร็วเสียงก็จะลดน้อยลง

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

(5) รอยแตกร้าว : ถ้าบริเวณระหว่างโพรบมีรอยแตกร้าว ความเร็วเสียงก็จะลดน้อยลง

(6) ผิวสัมผัสของโพรบ : ถ้าผิวสัมผัสของโพรบเป็นรอยนูนหรือรอยบุ๋ม มีฝุ่นหรือเม็ดทราย จะทำให้ความเร็วเสียงลดน้อยลง ดังนั้น จึงควรทาจาระบีบริเวณผิวสัมผัสเพื่อป้องกันการลดความเร็วเสียงเนื่องจากผิวสัมผัส

(7) เหล็กเสริม : ถ้าตำแหน่งการวัดความเร็วเสียงขนานกับเหล็กเสริมในคอนกรีต จะทำให้ความเร็วเสียงมากขึ้น

5. คุณสมบัติพิเศษ

ข้อดี :

- (1) วิธีการวัด และการใช้ง่าย
- (2) สามารถเพิ่มจุดตรวจวัดได้ง่าย
- (3) ไม่จำเป็นต้องซ่อมแซมจุดที่ทำการตรวจวัด

ข้อเสีย :

- (1) ความเร็วเสียงเปลี่ยนแปลงได้มากตามเงื่อนไขและชนิดของคอนกรีต
- (2) เครื่องมือทดสอบมีราคาแพง

วิธีการแบบอุตราโซนิกแบบเรโซแนนซ์ (Ultrasonic Resonance Method)

1. หลักการ

วางชิ้นวัสดุคอนกรีตบนแท่นสั่น ใช้อุปกรณ์ปรับความถี่ของการสั่นเพื่อหาความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิกได้ตามสมการที่ (2.2)

$$E_D = C.Wf^2 \quad (2.2)$$

เมื่อ E_D : โมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิก (กก./ซม.²)

C : สัมประสิทธิ์ของชนิดการสั่น ลักษณะและสัดส่วนของชิ้นวัสดุทดสอบ

W : น้ำหนักของชิ้นวัสดุทดสอบ (กก.)

f : ความถี่เรโซแนนซ์ปฐมภูมิตามชนิดการสั่น (วินาที⁻¹)

การประมาณกำลังต้านทานแรงอัด สามารถหาได้จากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิก กับกำลังต้านทานแรงอัด ที่สร้างไว้ล่วงหน้า

2. วิธีการ

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

3. การใช้งาน

(1) ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิกต่ออายุคอนกรีตที่มีลักษณะรูปร่างคงที่

(2) ใช้ประมาณค่าความเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากการแข็งและหลอมตัว

4. ข้อควรระวัง

หัวข้อที่ควรระวังเช่นเดียวกับวิธีการใช้ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity)

5. คุณสมบัติพิเศษ

ข้อดี :

(1) ผลการทดสอบมีค่าที่กระจัดกระจาย (Dispersion) น้อย

(2) สามารถวัดผลออกมาได้ในรูปของโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิกของชิ้นวัสดุทดสอบ

เดียวกัน แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและความแข็งแรงต่อเวลาที่ผ่านไป

ข้อเสีย : ไม่สามารถใช้วัสดุคอนกรีตของสิ่งก่อสร้าง

วิธีการแบบวัดความต้านทานการทะลุทะลวง (Penetration Resistance Method)

1. หลักการ

ทุบสลักทำด้วยเหล็กพิเศษเข้าไปในเนื้อคอนกรีต ใช้ผงระเบิดช่วย แล้ววัดความลึกของสลักที่ฝังเข้าไปในคอนกรีต (โดยปกติจะวัดความยาวสลักส่วนที่ไม่ถูกฝังกับกำลังต้านทานแรงอัดที่สร้างไว้ล่วงหน้า

2. วิธีการ

วิธีการทดสอบกำหนดไว้ใน ASTM C 803 มาตรฐานวิธีการทดสอบความต้านทานการ

ทะลุทะลวงของคอนกรีตแข็ง (Stanar Test Method for Penetration Resistance of Hardened concrete) ปรกติใช้วิธีการทดสอบแบบวินเซอร์ (Winzer) อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยสลักทูป ปืนยิงผงระเบิด อุปกรณ์วัดความยาวของสลักส่วนที่ฝัง เป็นต้น

3. การใช้งาน

ตรวจสอบความสัมพันธ์ของความแข็งแรงสัมพัทธ์ของสิ่งก่อสร้างคอนกรีต และประมาณความแข็งแรงของอายุคอนกรีตที่หลุดจากแบบในช่วงเริ่มต้น

4. ข้อควรระวัง

- (1) ชนิด เนื้อหิน สกัดส่วนของวัสดุโครง : มีอิทธิพลต่อความลึกทะลุทะลวง
- (2) การผสม : ถ้าปริมาณสัมบูรณ์ของวัสดุโครงที่หยาบมีมาก ความลึกทะลุทะลวง

จะน้อยลง

5. คุณสมบัติพิเศษ

ข้อดี : เพิ่มจำนวนชุดการทดสอบได้ง่าย

ข้อเสีย :

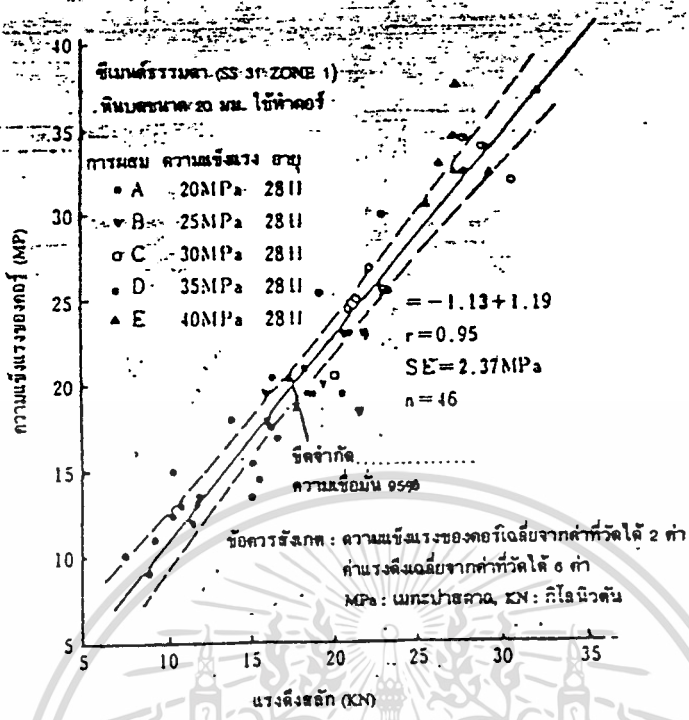
- (1) เนื่องจากใช้ผงระเบิดช่วย ควรระวังการใช้ปืนยิง
- (2) ผู้ทำการทดสอบต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญ
- (3) การประมาณค่าความแข็งแรงของคอนกรีตที่มีอายุยาวนานแล้วทำได้ยาก
- (4) สลักที่ทูปเข้าไปแล้วจะต้องตัดโดยใช้ก๊าชและคีมออก และต้องซ่อมแซมบริเวณ

ชำรุด

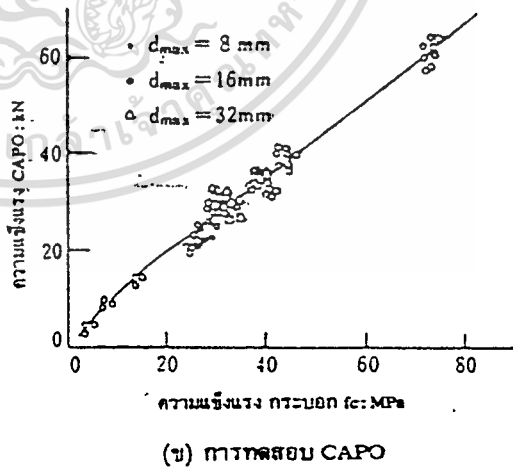
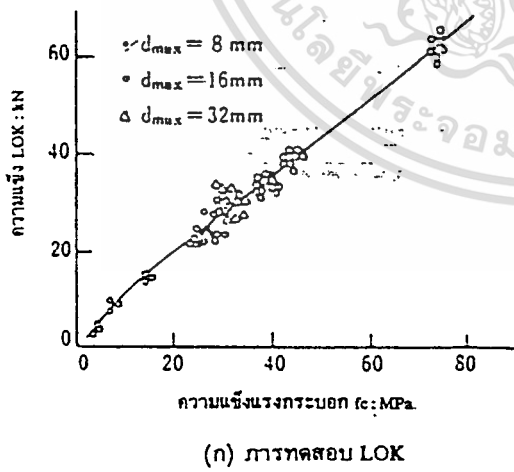
วิธีการทดสอบโดยการดึงสลัก (Pullout Test)

1. หลักการ

วัดแรงดึงสลักทำด้วยเหล็กพิเศษที่ฝังในคอนกรีต แรงดึงนี้มีความสัมพันธ์กับกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear Strength) กำลังต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และกำลังต้านทานแรงอัด (Compressive Strength) จากรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับกำลังต้านทานแรงอัดที่ได้สร้างไว้ล่วงหน้า ก็สามารถประมาณหากำลังต้านทานแรงอัดได้โดยง่าย ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสถิกกับความแข็งแรงของคอนกรีต



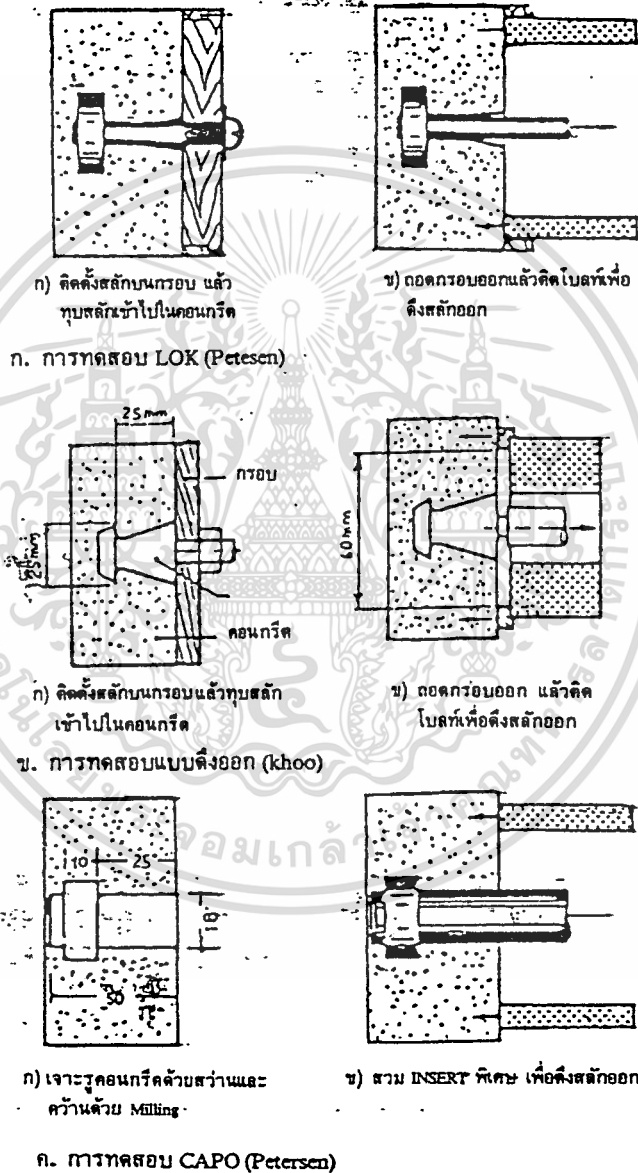
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความแข็งแรงทดสอบมาตรฐาน

2. วิธีการ

วิธีการทดสอบกำหนดไว้ใน ASTM C 900 มาตรฐานวิธีการทดสอบกำลังในการดึงสลัก

ในคอนกรีตแข็ง (Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete)

(i) ในกรณีที่ติดตั้งสลักทำด้วยเหล็กพิเศษไว้ในกรอบคอนกรีต : เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ใช้แม่แรงค้ำและวัดแรง (ดูรูป 2.7 (i), (ii) ประกอบ)



รูปที่ 2.7 การทดสอบโดยวิธีดึงสลักแบบต่าง ๆ

(ii) ในกรณีที่ไม่ได้ฝังสลักไว้ก่อน : มีวิธีการ 3 วิธี ดังนี้

(1) การทดสอบคาโป (CAPO-Test) : เจาะรูด้วยสว่าน แล้วขวานปลายรูด้วยเครื่อง

กด (Milling) ทำให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่แน่นอน จากนั้น สวม CAPO INSERT จากด้านนอก และสอดสลักซึ่งมีแหวนขยายตัวติดอยู่ จากนั้นจึงดึงสลักและหาแรงดึงที่ใช้ในสลัก (ดูรูปที่ 2.7 (iii) ประกอบ)

(2) วิธีทำให้สลักติดอยู่กับที่ด้วยอีพอกซี เรซิน

(3) วิธีทำให้สลักติดอยู่กับที่ด้วยลิ้มผ่า (Split Wedge)

3. การใช้งาน

ใช้ประมาณความแข็งแรงของคอนกรีตที่มีอายุน้อยของสิ่งก่อสร้างคอนกรีต คดเฉพาะคอนกรีตหล่อจากแบบ

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)

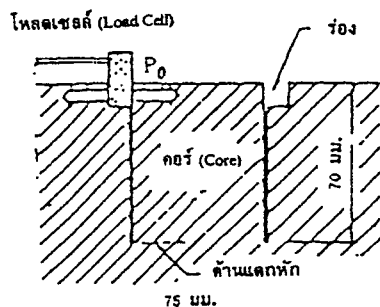
1. หลักการ

จากผิวของคอนกรีต ทำเป็นร่องสี่กรอบ ๆ พอสมควร เกิดเป็นคอร์ขึ้น ใช้แรงในแนว

ระนาบ ดันคอร์ให้หักตามผิวของคอร์ แรงนี้จะสามารถนำไปคำนวณหาความเค้นในหารหักงอสูงสุด

ส่วนการประมาณกำลังต้านทานแรงอัด สามารถหาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงหักงอกับ

กำลังต้านทานแรงอัดที่สร้างไว้ล่วงหน้า



รูปที่ 2.8

2. วิธีการ

ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.8 ผึงแบบรูปกระบอกกลมทำด้วยพลาสติก คอนกรีตประเภทใช้ฉาบหรือเทพื้นเพื่อทำให้เกิดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มม. ความยาว 70 มม. เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงแกะแบบออกมา จากนั้นใช้แรงกระทำบนผิวคอร์ด้วยอุปกรณ์ไฮดรอลิก เพื่อให้คอร์หัก แรงหักงอสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.3) ดังนี้

$$f_b = \frac{M}{Z} = \frac{P_0 \times h}{\frac{\pi d^3}{32}} = \frac{P_0 \times 7}{\frac{\pi(55)^3}{32}} \quad (2.3)$$

ในที่นี้ f_b = แรงที่ใช้ในการหักงอ

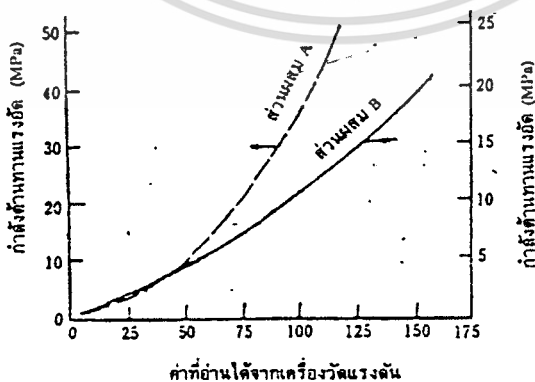
P_0 = แรงกระทำต่อคอร์ที่วัดได้จากโพลดเซล

3. การใช้งาน

- (1) เสาคอหรือกำแพงไม่สามารถผึงแบบไว้ล่วงหน้าได้ ดังนั้นหลังจากที่แข็งตัวจึงทดสอบด้วยวิธีชุดคอร์
- (2) ใช้ประมาณค่ากำลังต้านทานแรงอัดของสิ่งก่อสร้างคอนกรีต ตัดสินระยะเวลาของการถอดแบบ และควบคุมดูแลการบ่มคอนกรีตในระยะแรก

4. ข้อควรระวัง

- (1) ชิ้นวัสดุทดสอบ : เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของชิ้นวัสดุทดสอบน้อย ถ้ามีขนาดของวัสดุโครงสร้างใหญ่จะทำให้ได้ค่าที่มีการกระจายกระจายง่าย
- (2) คอนกรีตที่มีความแข็งแรงมากค่าผิดพลาดจะมากขึ้น (ดูรูปที่ 2.9 ประกอบ)



รูปที่ 2.9 เครื่องวัดแรงดันและกำลังต้านทานแรงอัด (Break-off Test)

5. คุณสมบัติพิเศษ

ข้อดี :

(1) เนื่องจากเป็นของทดสอบความแข็งแรงภายในคอนกรีต ดังนั้นจึงไม่มีอิทธิพล

ของความชื้นแห่งบริเวณผิว

(2) สามารถเพิ่มจุดทดสอบได้อย่างมีแบบแผน

ข้อเสีย : หลังจากการทดสอบแล้วต้องดึงคอร์ออกและซ่อมแซมด้วยปูน

การทดสอบโดยใช้วิธีดึงคอร์ให้หัก (Pull-off Test)

1. หลักการ

สร้างคอร์ให้ลึกพอสมควรบนคอนกรีต ให้แรงดึงขึ้นจากจุดแกนของคอร์ตามแนวแกนคอร์จนกระทั่งคอร์หัก หากำลังต้านทานแรงดึง โดยหารแรงดึงด้วยพื้นที่หน้าตัด จากกราฟความสัมพันธ์ของกำลังต้านทานแรงดึงของคอร์กับกำลังต้านทานแรงอัดที่สร้างไว้ล่วงหน้า ก็จะสามารถหากำลังต้านทานแรงอัดได้

2. วิธีการ

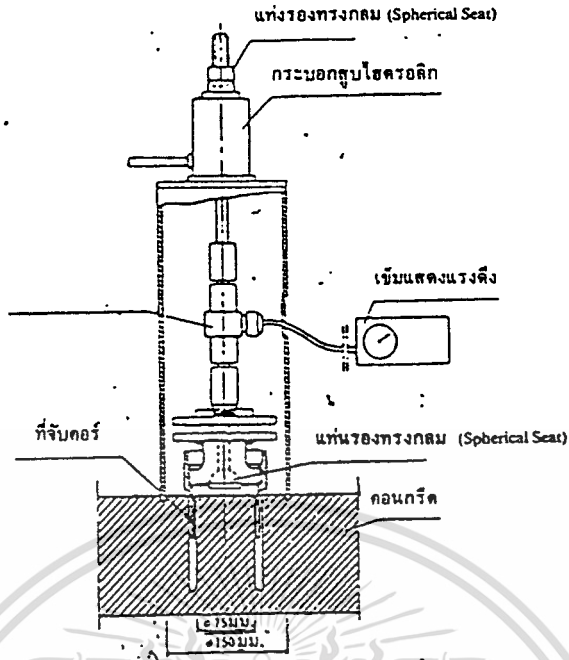
การสร้างคอร์ก็ทำวิธีเดียวกับหัวข้อที่แล้ว ส่วนวิธีการดึงคอร์นั้นกระทำได้โดยใช้อุปกรณ์ที่มีแหวนดึงพิเศษดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.10 หรือสามารถดึงด้วยวิธีการใช้อีพอกซี เรซิน เป็นการยึดให้คอร์และแผ่นเหล็กกลมติดกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.11

3. การใช้งาน เช่นเดียวกับหัวข้อการทดสอบโดยวิธีการหักคอร์

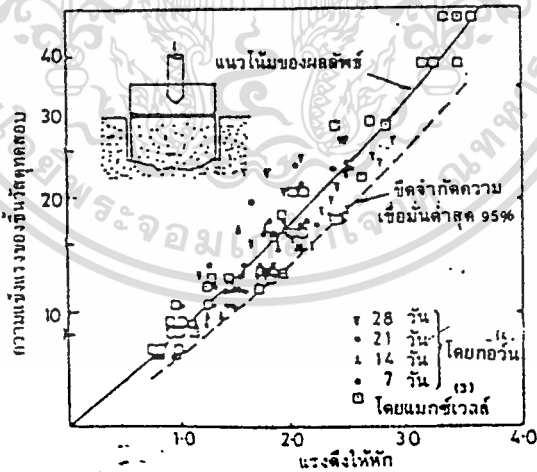
4. ข้อควรระวัง เช่นเดียวกับหัวข้อการทดสอบโดยวิธีการหักคอร์

5. คุณสมบัติพิเศษ เช่นเดียวกับหัวข้อการทดสอบโดยวิธีการหักคอร์ บริเวณที่แตกหัก

ของคอนกรีตอาจจะใช้แรงยึดคอนกรีตกับปูนเข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.11 อุปกรณ์ทดสอบการดึงคอร์ให้หัก



รูปที่ 2.12 แรงดึงให้หักของคอร์กับแรงกระบอกสูบ

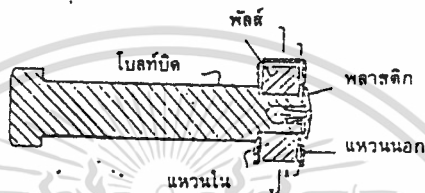
การทดสอบโดยวิธีใช้แรงบิด (Stool Torque Test : STT)

1. หลักการ

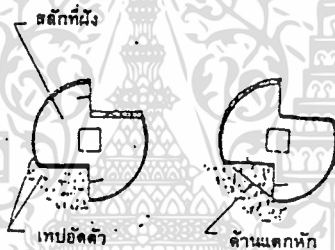
ใช้สลักพิเศษฝังเข้าไปในคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงใช้แรงจากภายนอกบิดสลัก แล้วหาแรงบิดดังกล่าว จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกำลังต้านทานแรงอัดที่สร้างไว้ล่วงหน้า จึงสามารถประมาณหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดได้

2. วิธีการ

ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.12 ฝังสลัก (Spindel) ไว้ในคอนกรีต ใช้มือหมุนที่จับจากภายนอก บิดให้สลักหักแล้วจึงหาค่าแรงบิด รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างการทดสอบ



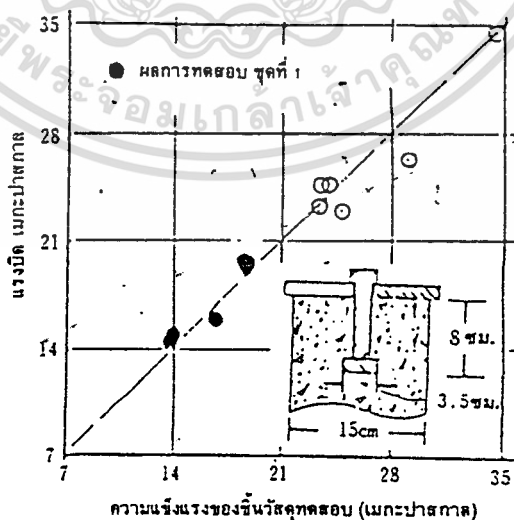
ด) สลัก STT (STT Spindle)



ก. สลักก่อนแตกหัก

ข. สลักหลังจากการแตกหัก

รูปที่ 2.12 การทดสอบการบิดให้แตกหัก



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความแข็งแรงของหินวัสดุทดสอบ

3. การใช้งาน :

ประมาณความแข็งแรงของคอนกรีตสิ่งก่อสร้าง

4. ข้อควรระวัง :

เนื่องจากขณะนี้ไม่มีเอกสารทางวิชาการเกี่ยวกับเรื่องนี้ ข้อควรระวังเป็นพิเศษจึงไม่แน่

ชัด

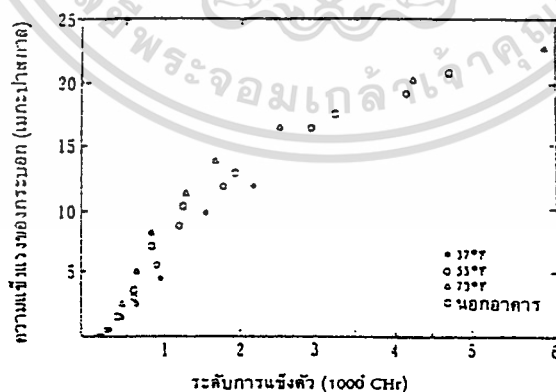
5. คุณสมบัติพิเศษ

- (1) ทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตภายใน
- (2) การแตกหักเกิดขึ้นภายใน
- (3) เมื่อดึงโบลท์บิตออกมาแล้ว ต้องซ่อมแซมรูที่ทดสอบ

การประมาณความแข็งแรงจากระดับที่แข็งตัว (Strength Estimation by Maturity)

1. หลักการ

ความแข็งแรงของคอนกรีตซึ่งทำด้วยส่วนผสมของน้ำกับซีเมนต์ที่ถูกต้อง จะสามารถหาได้เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิการแข็งตัวกับเวลา หลังจากที่ได้เทคอนกรีตวัดอุณหภูมิของคอนกรีตและเวลาที่ผ่านไป แล้วคำนวณหาระดับการแข็งตัวก็จะสามารถประมาณความแข็งแรงของคอนกรีตได้ รูปที่ (2.14) ได้



รูปที่ 2.14 ระดับ การแข็งตัว (Maturity) กับความแข็งแรงของทรกกระบอ

2. วิธีการ

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

ระดับการแข็งตัวสามารถคำนวณได้จาก สมการ (2.4) ~ (2.6)

(i) แบบง่ายที่สุด (เหมาะสำหรับหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตประเภทแข็งตัวแล้วให้ไอร้อน)

$$M = \sum_0^T t \cdot \Delta T = \bar{t} \cdot T \quad (2.4)$$

เมื่อ M : ระดับการแข็งตัว ($^{\circ}\text{C}$ ชั่วโมง)

0 : อุณหภูมิแข็งตัว ($^{\circ}\text{C}$)

\bar{t} : อุณหภูมิแข็งตัวโดยเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)

T : เวลาที่ใช้ในการแข็งตัว (ชั่วโมง)

(ii) แบบ 0DD (เหมาะสำหรับหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตในช่วงฤดูหนาว)

$$M = \sum_0^D D \cdot \Delta D = (\bar{t} + 10) \cdot T \quad (2.5)$$

เมื่อ M : ระดับการแข็งตัว ($^{\circ}\text{C}$ ชั่วโมง)

0 : อุณหภูมิแข็งตัวโดยเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)

D : จำนวนวันที่ใช้ในการแข็งตัว (วัน)

(iii) แบบ T^0T (เหมาะสำหรับหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตระยะเริ่มแรก)

$$M = \sum_0^T T \cdot \Delta T = (\bar{t} + \alpha) \cdot T \quad (2.6)$$

เมื่อ M : ระดับการแข็งตัว ($^{\circ}\text{C}$ ชั่วโมง)

T : ชั่วโมงที่ใช้ในการแข็งตัว (ชั่วโมง)

$0T$: อุณหภูมิทางทฤษฎีที่ใช้ในการแข็งตัว

$= t + \alpha$: คืออุณหภูมิที่ใช้ในการแข็งตัวโดยเฉลี่ย, α คือ จุดเริ่มต้นทาง

ทฤษฎีที่ใช้ในการแข็งตัว ซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการแข็งตัว, $\alpha = |t - 20| / m$ โดยมีเงื่อนไขที่ว่า

ในกรณี ถ้า $t \leq 20^{\circ}\text{C}$, $m = 5$,

ในกรณี ถ้า $20^{\circ} < t \leq 40^{\circ}\text{C}$, $m = 2$

วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายผสม (Combined Nondestructive Testing Method)

เป็นที่ยอมรับกันว่า การรวมวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย 2 ชนิดเข้าด้วยกัน จะให้ความละเอียดดีกว่าวิธีการทดสอบชนิดเดียวใด ๆ

ความคิดที่ใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายผสมนี้ ก็ต้องการที่จะให้ได้การประมาณค่าที่มีความละเอียดแน่นอนยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มตัวแปรต่าง ๆ ตามลำดับในสมการที่ใช้ในการประมาณค่าความแข็งแรง ซึ่งได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังต้านทานกำลังอัดของคอนกรีต กับ ค่าที่วัดได้ในการทดสอบแบบไม่ทำลาย

(1) วิธีทดสอบผสมแบบวัดจำนวนครั้งการสะท้อนกับความเร็วคลื่นอัลตราโซนิค

วิธีการจะอธิบายตามคู่มือของสมาคมวิชาชีพ ดังต่อไปนี้

วิธีการทดสอบแบบวัดจำนวนครั้งการสะท้อนและความเร็วเสียงนั้น ได้อธิบายไว้แล้วใน

หัวข้อที่ผ่านมา การทดสอบใช้วัสดุในอัตราส่วนผสมที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ต้องการทดสอบ โดยใช้อัตราส่วนน้ำซีเมนต์ 3 ประเภท

สมการประมาณความแข็งแรง สามารถหาได้จากสมการใดสมการหนึ่งดังนี้

$$F_c = R + k_2 V_p + C \quad (2.7)$$

$$\log F_c = k_1 R + k_2 V_p + C \quad (2.8)$$

เมื่อ F_c : กำลังต้านทานแรงอัด

R : จำนวนครั้งการสะท้อน

V_p : ความเร็วเสียง

k_1, k_2, C : ค่าคงที่ของการทดลอง

สมการที่ได้จากการทดลอง จากสมการ (2.7) แสดงไว้ในสมการ (2.9) และ (2.10) ซึ่งเป็นเพียงตัวอย่างที่จะต้องพิสูจน์ทดลองกันต่อไป

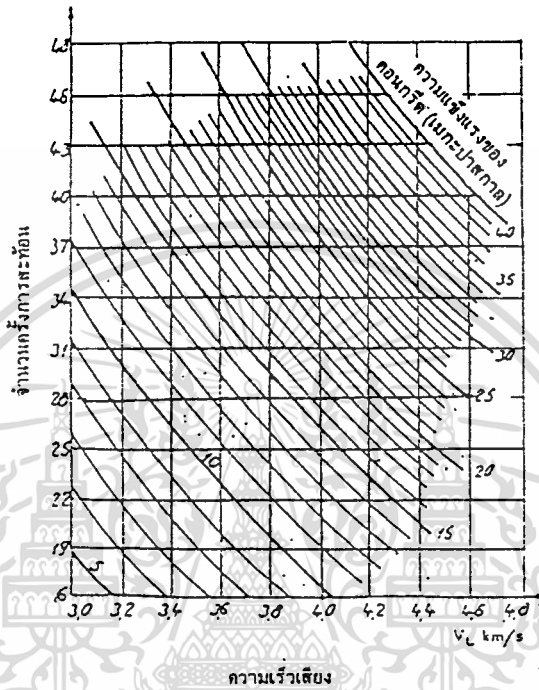
คอนกรีตธรรมดา :

$$F_c = 8.2R + 269V_p - 1094(\text{kg/cm}^2) \quad (2.9)$$

คอนกรีตเบา

$$F_c = 4.1R + 344V_p - 1022(\text{kg/cm}^2) \quad (2.10)$$

รูปที่ 2.15 เป็นรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและจำนวนครั้งการสะท้อนกับกำลังต้านทานแรงอัด



รูปที่ 2.15 รูปแสดงความสัมพันธ์ของกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตของ ISO โดยความเร็วเสียงและจำนวนครั้งการสะท้อน (SONRER)

การทดสอบแบบทำลายเพื่อหาแรงต้านทานกำลังอัดคอนกรีต

การทดสอบแบบกำลังอัดโดยตรง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine

1. หลักการ

เป็นการทดสอบโดยใช้น้ำหนักกระทำต่อคอนกรีตจริงๆ โดยที่คอนกรีตจะมีความสามารถในการรับกำลังอัดค่าต่างๆกัน เมื่อคอนกรีตได้รับน้ำหนักจนไม่สามารถต้านทานแรงกดได้ คอนกรีตก็จะพัง

2. วิธีการ

นำตัวอย่างคอนกรีตซึ่งอาจได้จากการหล่อคอนกรีตซึ่งแบ่งออกเป็นแบบ Cylinder และ Cube หรือได้จากการ Coring มาทำการรับน้ำหนักโดยตรงจากเครื่อง UTM จากนั้นนำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาค่าแรงต้านทานกำลังอัดคอนกรีตจากสูตร

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

โดยที่

$$\sigma = \text{ความสามารถในการรับแรงอัด (ksc)}$$

$$P = \text{น้ำหนักประลัย (kg)}$$

$$A = \text{พื้นที่ที่รับน้ำหนัก (cm}^2\text{)}$$

บทที่ 3 การทดลอง

การดำเนินการทดลองหาผลการเปรียบเทียบการรับกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธี
การทดสอบต่าง ๆ กัน

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1) ขั้นตอนการคิด Mix Design

จากการทดลองหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตซึ่ง
ได้ทำการทดลองตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 จะสามารถหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

ปูนซีเมนต์

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ I ตราเพชร

หิน

- วัสดุผสมหยาบขนาดโตสุด 40 มม.

- ค่าความชื้น 2 %

- หน่วยน้ำหนักแห้ง 1623.76 กก./ลบ.ม.

ทราย

- ค่าความชื้น 5 %

- ค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) 2.622

กำลังอัดของคอนกรีต โดยเฉลี่ยที่ต้องการ 210 ksc

ขั้นตอนที่ 1 : เราเลือกใช้ค่าขุบตัว 8 - 10 เซนติเมตร

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมคละที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 2 จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมสำหรับค่าขุบตัว 8 - 10 ซม. และขนาด
โตสุดของมวลรวม 40 มม. เท่ากับ 175 กก./ลบ.ม.

ขั้นตอนที่ 4 : ค่า WCR สำหรับคอนกรีตที่มีกำลัง 210 ksc หาได้จากตารางที่ 3 (ก) เท่ากับ
0.684

ขั้นตอนที่ 5 : จากค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 จะสามารถนำมาหาปริมาณของซีเมนต์ได้ คือ
 $175 / 0.684 = 255.85$ กก./ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบหาได้จาก ตารางที่ 4 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. 2.622 และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 มม. จะได้ค่า 0.74 ลบ.ม.

ดังนั้น น้ำหนักมวลแห้งเท่ากับ $0.74 \times 1623.76 = 1201.58$ กก.

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียดหรือทรายจะคำนวณได้ ดังต่อไปนี้

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

น้ำหนักน้ำ (สุทธิ)	175	กก.
น้ำหนักซีเมนต์	255.85	กก.
น้ำหนักมวลรวมหยาบ	1201.58	กก.
น้ำหนักรวม	1632.43	กก.
ดังนั้น น้ำหนักทราย เท่ากับ	$2420 - 1632.43 = 787.57$	กก.

ขั้นตอนที่ 8 : ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ทรายมีความชื้น	5 %
หินมีความชื้น	2 %
ปริมาณน้ำที่ห่อหุ้มทราย	$= 787.57 \times 0.05 = 39.38$ กก.
ปริมาณน้ำที่ห่อหุ้มหิน	$= 1201.58 \times 0.02 = 24.03$ กก.
รวมปริมาณน้ำที่เกินมา	$= 63.41$ กก.

ดังนั้น ส่วนผสมของคอนกรีตใน 1 ลบ.เมตร ได้ดังนี้

ปูนซีเมนต์	255.85 กก.
น้ำ	111.59 กก.
ทราย	826.95 กก.
หิน	1225.61 กก.

กำลังอัดของคอนกรีตโดยเฉลี่ยที่ต้องการ 240 ksc

ขั้นตอนที่ 1 : เราเลือกใช้ค่ายวบตัว 8 - 10 เซนติเมตร

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมคละที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 2 จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมสำหรับค่ายวบตัว 8 - 10 ซม. และขนาดโตสุดของมวลรวม 40 มม. เท่ากับ 175 กก./ลบ.ม.

ขั้นตอนที่ 4 : ค่า WCR สำหรับคอนกรีตที่มีกำลัง 240 ksc หาได้จากตารางที่ 3 (ก) เท่ากับ 0.636

ขั้นตอนที่ 5 : จากค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 จะสามารถนำมาหาปริมาณของซีเมนต์ได้ คือ
 $175 / 0.636 = 275.16$ กก./ลบ.ม.

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบหาได้จาก ตารางที่ 4 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. 2.622 และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 มม. จะได้ค่า 0.74 ลบ.ม.
 ดังนั้น น้ำหนักมวลแห้งเท่ากับ $0.74 \times 1623.76 = 1201.58$ กก.

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียดหรือทรายจะคำนวณได้ ดังต่อไปนี้
 จากตารางที่ 5 น้ำหนักของคอนกรีตในหนึ่งลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีมวลรวมหยาบขนาดโตสุด 40 มม. เท่ากับ 2420 กก. สำหรับน้ำหนักวัสดุผสมอื่น ๆ ที่หามาได้แล้วมีค่าดังต่อไปนี้

น้ำหนักน้ำ (สุทธิ)	175	กก.
น้ำหนักซีเมนต์	275.16	กก.
น้ำหนักมวลรวมหยาบ	1201.58	กก.
น้ำหนักรวม	1651.74	กก.
ดังนั้น น้ำหนักทราย เท่ากับ $2420 - 1651.74 = 768.26$		กก.

ขั้นตอนที่ 8 : ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ทรายมีความชื้น 5 %

หินมีความชื้น 2 %

ปริมาณน้ำที่ห่อหุ้มทราย = $768.26 \times 0.05 = 38.41$ กก.

ปริมาณน้ำที่ห่อหุ้มหิน = $1201.58 \times 0.02 = 24.03$ กก.

รวมปริมาณน้ำที่เกินมา = 62.44 กก.

ดังนั้น ส่วนผสมของคอนกรีตใน 1 ลบ.เมตร ได้ดังนี้

ปูนซีเมนต์ 275.76 กก.

น้ำ 112.56 กก.

ทราย 806.67 กก.

หิน 1225.61 กก.

กำลังอัดของคอนกรีตโดยเฉลี่ยที่ต้องการ 280 ksc

ขั้นตอนที่ 1 : เราเลือกใช้ค่ายุบตัว 8 - 10 เซนติเมตร

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมละเอียดที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 2 จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมสำหรับค่ายุบตัว 8 - 10 ซม. และขนาดโตสุดของมวลรวม 40 มม. เท่ากับ 175 กก./ลบ.ม.

ขั้นตอนที่ 4 : ค่า WCR สำหรับคอนกรีตที่มีกำลัง 280 ksc หาได้จากตารางที่ 3 (ก) เท่ากับ 0.578

ขั้นตอนที่ 5 : จากค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 จะสามารถนำมาหาปริมาณของซีเมนต์ได้ คือ $175 / 0.578 = 302.77$ กก./ลบ.ม.

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบหาได้จาก ตารางที่ 4 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. 2.622 และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 มม. จะได้ค่า 0.74 ลบ.ม. ดังนั้น น้ำหนักมวลแห้งเท่ากับ $0.74 \times 1623.76 = 1201.58$ กก.

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียดหรือทรายจะคำนวณได้ ดังต่อไปนี้ จากตารางที่ 5 น้ำหนักของคอนกรีตในหนึ่งลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีมวลรวมหยาบขนาดโตสุด 40 มม. เท่ากับ 2420 กก. สำหรับน้ำหนักวัสดุผสมอื่น ๆ ที่หามาได้แล้วมีค่าดังต่อไปนี้

น้ำหนักน้ำ (สุทธิ)	175	กก.
น้ำหนักซีเมนต์	302.77	กก.
น้ำหนักมวลรวมหยาบ	1201.58	กก.
น้ำหนักรวม	1679.35	กก.
ดังนั้น น้ำหนักทราย เท่ากับ	$2420 - 1679.35 = 740.65$	กก.

ขั้นตอนที่ 8 : ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ทรายมีความชื้น	5 %
หินมีความชื้น	2 %
ปริมาณน้ำที่ห่อหุ้มทราย	$= 740.65 \times 0.05 = 37.03$ กก.
ปริมาณน้ำที่ห่อหุ้มหิน	$= 1201.58 \times 0.02 = 24.03$ กก.
รวมปริมาณน้ำที่เกินมา	$= 61.06$ กก.

ดังนั้น ส่วนผสมของคอนกรีตใน 1 ลบ.เมตร-ได้ดังนี้

ปูนซีเมนต์	302.77 กก.
น้ำ	113.94 กก.
ทราย	777.68 กก.
หิน	1225.61 กก.

กำลังอัดของคอนกรีตโดยเฉลี่ยที่ต้องการ 350 ksc

ขั้นตอนที่ 1 : เราเลือกใช้ค่าขูบตัว 8 - 10 เซนติเมตร

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมคละที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 2 จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมสำหรับค่ายุบตัว 8 - 10 ซม. และขนาดโตสุดของมวลรวม 40 มม. เท่ากับ 175 กก./ลบ.ม.
- ขั้นตอนที่ 4 : ค่า WCR สำหรับคอนกรีตที่มีกำลัง 350 ksc หาได้จากตารางที่ 3 (ก) เท่ากับ 0.48
- ขั้นตอนที่ 5 : จากค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 จะสามารถนำมาหาปริมาณของซีเมนต์ได้ คือ $175 / 0.48 = 364.58$ กก./ลบ.ม.
- ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบหาได้จาก ตารางที่ 4 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. 2.622 และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 มม. จะได้ค่า 0.74 ลบ.ม. ดังนั้น น้ำหนักมวลแห้งเท่ากับ $0.74 \times 1623.76 = 1201.58$ กก.
- ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียดหรือทรายจะคำนวณได้ ดังต่อไปนี้
จากตารางที่ 5 น้ำหนักของคอนกรีตในหนึ่งลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีมวลรวมหยาบขนาดโตสุด 40 มม. เท่ากับ 2420 กก. สำหรับน้ำหนักวัสดุผสมอื่น ๆ ที่หามาได้แล้วมีค่าดังต่อไปนี้
- | | | |
|-----------------------------|---------------------------|-----|
| น้ำหนักน้ำ (สุทธิ) | 175 | กก. |
| น้ำหนักซีเมนต์ | 364.58 | กก. |
| น้ำหนักมวลรวมหยาบ | 1201.58 | กก. |
| น้ำหนักรวม | 1741.16 | กก. |
| ดังนั้น น้ำหนักทราย เท่ากับ | $2420 - 1741.16 = 678.84$ | กก. |
- ขั้นตอนที่ 8 : ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น
- | | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| ทรายมีความชื้น | 5 % |
| หินมีความชื้น | 2 % |
| ปริมาณน้ำที่ห่อหุ้มทราย | $= 678.84 \times 0.05 = 33.94$ กก. |
| ปริมาณน้ำที่ห่อหุ้มหิน | $= 1201.58 \times 0.02 = 24.03$ กก. |
| รวมปริมาณน้ำที่เกินมา | $= 57.97$ กก. |
- ดังนั้น ส่วนผสมของคอนกรีตใน 1 ลบ.เมตร ได้ดังนี้
- | | | |
|------------|---------|-----|
| ปูนซีเมนต์ | 364.58 | กก. |
| น้ำ | 117.03 | กก. |
| ทราย | 712.78 | กก. |
| หิน | 1225.61 | กก. |

2) วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ I ตราเพชร

2. ทราช ทราชที่ใช้ในการหล่อแท่งคอนกรีตทดสอบ ใช้ทรายหยาบ นำไปวิเคราะห์หาปริมาณคละและโมดูลัสความละเอียดตามมาตรฐาน ASTM : C 136-80 พบว่าปริมาณคละเป็นไปตามที่กำหนดของ ASTM : C 33-80 และมีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 2.622

3. หิน หินที่ใช้ในการหล่อแท่งคอนกรีตทดสอบ พบว่า ปริมาณคละเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM : C 33-80

4. น้ำ น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตใช้น้ำประปา

5. น้ำมันหล่อลื่นใช้ในการทาแบบเพื่อความสะดวกและง่ายในการออกแบบ

6. โม่ผสมคอนกรีต เป็นโม่ผสมชนิดเอียง Tilting Drum Mixer มีถึงเป็นรูปกรวยจะหมุนในลักษณะเอียง เทคอนกรีตได้เป็นกลุ่มก้อน ใบพายในโม่ควมมีรูปร่างคล้ายพัดทำให้กระทบวัสดุได้ทั่วถึง ความจุคอนกรีต ประมาณ 7 ลบ.ฟุต ความเร็วของถังหมุน 25 รอบ/นาที

7. แบบหล่อขึ้นตัวอย่าง เป็นแบบหล่อมาตรฐาน ASTM : C-192 ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.

8. เหล็กกระทุ้งปลายกลมมน

3) การผสมและการหล่อแบบตัวอย่าง

ก) การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบอย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว

2. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยก หรือแบบหลุดขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

ข) การเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีต

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตรงกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่

2.เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ

3.ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉย ๆ ประมาณ 24 ชม. จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่มจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบ

4) การบ่มคอนกรีต

หลังจากถอดแบบหล่อออกจากคอนกรีตแล้ว นำแท่งคอนกรีตไปบ่มในน้ำ จนกระทั่งครบกำหนดเวลา จึงนำออกจากน้ำและทำการผึ่งไว้ให้แห้งประมาณ 24 ชม. แล้วจึงนำไปทดสอบต่อไป

การดำเนินการทดสอบ

นำแท่งคอนกรีตที่ผ่านการบ่มตามเวลาที่กำหนดในการทดสอบ มาทำการทดสอบหาค่ากำลังอัด โดยวิธีการทดสอบต่าง ๆ กัน ระยะเวลาในการบ่มที่แตกต่างกัน และเปรียบเทียบผลที่ 7 , 14 , 21 และ 28 วัน โดยมีวิธีการทดสอบทั้งหมด 3 วิธี ดังนี้คือ

- Ultrasonic Test
- Schmidt Hammer Test
- การทดสอบแบบโดยตรง (โดยเครื่อง Universal Testing Machine)

ลำดับขั้นตอนในการทดสอบ

1. การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตโดยเครื่องมือ Ultrasonic
ASTM C 597-83
Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete
วิธีมาตรฐานในการทดสอบคอนกรีตโดยใช้เครื่อง Ultrasonic

วัตถุประสงค์ขอบเขต

1. วิธีทดสอบนี้เป็นการวัดความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปในคอนกรีต โดยใช้คลื่น Ultrasonic ผ่านเข้าไปในคอนกรีต

2. ความเร็วของคลื่นจะไม่ขึ้นกับขนาดของวัตถุที่ทดสอบ และการสะท้อนของ

3. ความเร็วของคลื่น V จะมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุของแข็งที่นำมาทดสอบเป็นสมการ

$$V^2 = KE / \rho$$

เมื่อ K = ค่าคงที่

E = ค่ายังโมดูลัส

ρ = ค่าความหนาแน่น

ความเร็วคลื่นจะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่น

สรุปวิธีการทำ

คลื่นที่ส่งออกไปเป็นแบบ Pulse ซึ่งจะถูกอัดไปตามยาวเข้าไปในเนื้อคอนกรีต โดยคลื่นนี้จะมีตัวกำเนิดคลื่น โดยใช้หลัก Electro-Acoustic Transducer โดยทำการติดตัวส่งคลื่นไว้กับคอนกรีตไว้ที่ด้านหนึ่ง หลังจากคลื่นเคลื่อนที่ผ่านคอนกรีต สัญญาณ Pulse จะถูกตรวจจับและเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยตัวทรานสดิวเซอร์อีกตัวหนึ่งซึ่งเป็นตัวรับคลื่นที่อยู่ด้านตรงข้าม ถ้าตำแหน่งของตัวทรานสดิวเซอร์แต่ละอันมีระยะห่างกัน L และเวลาที่เคลื่อนที่ผ่านคอนกรีตใช้เวลา T ความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านคอนกรีตจะหาได้จาก L หาร T

การใช้งาน

1. วิธีการทดสอบนี้เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงคุณภาพของคอนกรีตและเป็นเนื้อเดียวกัน (Uniform) โดยทางอ้อมซึ่งตรวจสอบจาก การมีอยู่ของ Void, รอยแตกร้าวหรือการหาขนาดความลึกของรอยแตกร้าว สิ่งเหล่านี้จะเป็นดัชนีที่บอกให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีต นอกจากนี้ยังใช้ตรวจสอบโครงสร้างเพื่อประมาณค่าความเสื่อมหรือรอยร้าวที่เกิดขึ้นได้

หมายเหตุ 1 ความชื้นที่มีอยู่ในคอนกรีตจะมีผลต่อความเร็ว ของสัญญาณพัลส์ (Pulse)

2. ผลของการใช้เทคนิคนี้ในการทดสอบไม่ควรที่จะพิจารณาความหมายของ Strength ความกดเพียงอย่างเดียว ควรจะมองถึงค่าของ ยังโมดูลัส และ ความยืดหยุ่นของคอนกรีต เพื่อเป็นสมมติฐานในการออกแบบด้วย

หมายเหตุ 2 ความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปในคอนกรีตมีความสัมพันธ์กับค่า ความกด หรือ โมดูลัสความยืดหยุ่นด้วย

3. สามารถทำการทดสอบได้ทั้งในห้องทดลองหรือในภาคสนาม ค่าของขนาดและรูปร่างของตัวอย่างที่ทดสอบจะมีข้อจำกัดในกาใช้ตัวต้นกำเนิดคลื่น

- **หมายเหตุ 3** ในภาคทดสอบตัวอย่างควรมีขนาด 50 มม. หรือ 2 นิ้ว เป็นอย่างน้อยที่สุด และยาว 15 ม. (50 ฟุต) ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของ Path length ซึ่งค่าขีดจำกัดนี้ขึ้นอยู่กับความถี่และความแรงของสัญญาณที่ถูกส่งออกไปจากตัวกำเนิดคลื่น ค่าขีดจำกัดบนของ Path length นี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของสภาพผิวของคอนกรีตและสภาพภายในเนื้อคอนกรีตที่กำลังสนใจศึกษา ถ้าใช้ทรานสดิวเซอร์ขนาด 10 ถึง 20 kHz กับสภาพคอนกรีตนี้จะทำให้สัญญาณลดทอนน้อยลงเมื่อคลื่นผ่านคอนกรีต สำหรับ Path length ที่สั้นไม่จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงความสูญเสียของสัญญาณลดทอน ถ้าเลือกใช้คลื่นที่มีความถี่ 50 kHz หรือสูงกว่านี้ จะทำให้ค่าในการวัด Transit time เวลาที่มีความแม่นยำและความไวในระบบวัดมากขึ้น

อุปกรณ์

1. Pulse Generator and Transmitting Transducer ตัวกำเนิดคลื่นและตัวส่ง Pulse generator จะมีส่วนประกอบที่ควบคุมความแน่นอนในการผลิต Pulse และ Voltage ทรานสดิวเซอร์จะเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้านี้เป็นการสั่นทางกล ซึ่งจะมีค่าได้ในช่วง 10 ถึง 150 kHz Pulse generator จะผลิต Pulse ออกมาซ้ำ ๆ ในอัตราไม่น้อยกว่า 10 Pulse ต่อวินาที หรือ มากกว่า 150 Pulse ต่อวินาที

โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์เป็นพวก Piezoelectric magnetostrictive หรือพวกวัสดุที่มี Voltage-Sensitive มีสแตนด์เลสหุ้มอยู่ภายนอกป้องกันการกระแทก ทรานสดิวเซอร์จะมีส่วนที่เป็น coupling medium อยู่ด้านหน้าเพื่อการยึดติดกับคอนกรีต

การใช้สายเคเบิลยาวเกินไปสำหรับทรานสดิวเซอร์จะทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณไปมากกว่า 0.5 %

หมายเหตุ ที่ระหว่างตัวทรานสดิวเซอร์กับคอนกรีตควรที่จะมีแผ่นไคอะแพรมใช้เมื่อผิวสัมผัสค่อนข้างลื่น หรือถ้าเป็นยางหรือน้ำมันนั้นจะช่วยในกรณีที่ผิวคอนกรีตมีลักษณะไม่เรียบขรุขระ

2. Reccing Transducer and Amplifier (ตัวทรานสดิวเซอร์ที่เป็นตัวรับและภาคขยายสัญญาณ) ตัวทรานสดิวเซอร์ในภาครับจะมีลักษณะเหมือนกับตัวทรานสดิวเซอร์ในภาคส่ง
3. Time Measuring Circuit (วงจรหาค่าเวลา)
4. Display Unit (หน่วยแสดงผล)
5. Calibration Device

การเลือกตำแหน่ง

การที่จะได้ผลของการวัดออกมาดีที่สุดตำแหน่งของทรานควิเซอร์ทั้งสองควรจะอยู่ในแนวเส้นตรงและอยู่คนละด้านกัน หรือบางครั้งอาจจะวางทรานควิเซอร์ทั้งสองที่มุมตรงกันข้ามของเส้นทะแยงมุมของโครงสร้าง แต่จะมีสัญญาณบางส่วนที่สูญหายไปจึงทำให้ค่าของการวัดไม่แน่นอนและความไวของระบบวัดไม่ดี ในการวัดที่ทรานควิเซอร์อยู่บนด้านเดียวกันไม่ควรเลือกใช้ถ้าไม่จำเป็น การวัดที่อยู่ใกล้โลหะและมีการวางตัวของโลหะขนานไปกับทิศของคลื่นควรหลีกเลี่ยง

หมายเหตุ ความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปในเหล็กจะมีค่าเป็น 2 เท่าในคอนกรีต ความเร็วของคลื่นในคอนกรีตที่เสริมเหล็ก Rein-forcing จะมีค่าสูงกว่า Nonreinforces คอนกรีตเมื่อส่วนประกอบของคอนกรีตเหมือนกัน

ขั้นตอน

1. Determination of Calibration Correction (ตรวจสอบการปรับเทียบมาตรฐานให้ถูกต้อง)

1.1 ตรวจสอบความแน่นอนในการวัด Transit Time โดยใช้ Calibration device ถ้ามีความแตกต่างก็ให้ทำการแก้ไข

2. Determine of Zero Correction ทำการแก้ไขค่า zero

2.1 การแก้ไข Zero-Time ในการวัดค่า Transit times ค่าที่ในการแก้ไขจะเท่ากับค่าที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของคลื่นจากทรานควิเซอร์ทั้งสอง

ในกรณีที่ไม่มีคอนกรีตมาวางกัน โดยติดตัวทรานควิเซอร์ทั้งสองเข้าด้วยกัน โดยใช้สาร Coupling agent แล้วทดลองวัด Transit time หรือในบางครั้งอาจจะใช้ Reference bar เป็นตัวปรับ Zero adjust ซึ่งเป็นการทราบค่า Ttransit time ที่แน่นอน

หมายเหตุ ถ้าเป็นเครื่องมือวัดที่เป็นดิจิตอลการดำเนินการ 2 ควรทำก่อน 1

3. Determine of Transit time (การวัดค่าเวลา)

ติดตัวทรานควิเซอร์ทั้งสองกับคอนกรีตโดยใช้ Coupling agent ถ้าเป็นการทดสอบแบบผิว Surface ควรใช้ไคอะแฟรมติดระหว่างตัวทรานควิเซอร์กับคอนกรีต เพื่อป้องกันการเกิดช่องว่างอากาศกดตัวทรานควิเซอร์ให้ติดแน่น เมื่อดีแล้วทำการวัด Transit time และทำการวัดความยาวระยะทางที่สั้นที่สุดในแนวเส้นตรงจากจุดตรงกลางของแผ่นไคอะแฟรม

หมายเหตุ ทดลองทำซ้ำอีก ณ ตำแหน่งเดียวกันเพื่อลดค่าผิดพลาดจากการที่ผิวทั้งสองไม่ประกบกันดี

การคำนวณ

การคำนวณความเร็ว Pulse ใช้สูตร

$$V = L / T$$

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

L = ระยะทางระหว่างตัวทรานควิเซอร์ทั้งสอง

T = เวลาที่ใช้ sec (Transit time)

ถ้ามีการแก้ไขให้นำค่าเวลาที่ได้ไปลบจากเวลาที่ทำ Zero Time Correction

การรายงานผล

1. ตำแหน่งในการทดสอบตัวอย่าง
2. ระยะทางระหว่างตัวทรานควิเซอร์ทั้งสองซึ่งค่าความละเอียดในการวัดเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 % ของระยะทาง
3. เวลา (Transit Time)
4. ตำแหน่งของตัวทรานควิเซอร์
5. Effective time
6. ค่าความเร็วของ Pulse

ค่าเบี่ยงเบนและความแม่นยำ

1. ค่าที่ทำการวัด คือ ค่า Transit time ของคลื่นที่ถูกอัดเข้าไปในคอนกรีต ดังนั้นค่าความเร็วที่หาได้จะถูกต้องแม่นยำขึ้นกับเวลาและระยะทางที่ทำการวัดจากเครื่องและจากผู้ทำการทดลอง

2. ในการทดสอบ โดยใช้เครื่องวัดทดสอบ 3 เครื่อง ใช้คนทดสอบ 5 คน สำหรับทดสอบตัวอย่างที่มีความยาวจาก 0.3 ถึง 6 ม. โดยใช้คลื่นผ่านเข้าไปในคอนกรีตพบว่าผู้ทดลองต่างกันใช้เครื่องมือเดียวกัน หรือ ผู้ทดลองคนเดียวแต่ใช้เครื่องมือต่างกันโดยการทำการทดสอบซ้ำผลทดสอบปรากฏว่าอยู่ในช่วง 2 % ในการเบี่ยงเบน และได้ทดสอบถ้าใช้ตัวอย่างที่มีความยาวมากขึ้น โดยใช้คลื่นผ่านเข้าไปในคอนกรีตสัญญาณที่ได้เกิดการลดทอนค่า Transit time ที่วัดได้นานขึ้นผลในการคำนวณความเร็วปรากฏว่าได้ค่าความแม่นยำเหมือนกัน

3. ถ้าทดสอบกับตัวอย่างคอนกรีตที่มีรอยร้าวมากแล้วเกิดสัญญาณลดทอนมากในคอนกรีตที่มีสภาพไม่มีโดยใช้คนต่างกันหรือเครื่องวัดต่างกันผลจะมีความแตกต่างกันถึง 20 %

2.การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตโดยเครื่องมือ Schmidt Hammer

ASTM C805.85

Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete

อุปกรณ์

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

วิธีการทดลอง

1. เตรียมแท่งคอนกรีตที่จะใช้ทดสอบให้วางอยู่บนพื้นผิวที่เรียบสม่ำเสมอ
2. ทำการขัดผิวหน้าแท่งคอนกรีตให้เรียบไม่ขรุขระ
3. ทำการกำหนดจุดที่จะใช้ทดสอบประมาณ 10 จุด
4. ทำการ Calibrate เครื่องโดยการยิงเครื่องยิงไปที่แท่ง Caribrate เพื่อทำการหาค่า factor
5. กดเครื่อง Schmidt hammer ลงหลังจากนั้นก็ดึงเครื่องมือขึ้นมาโดยไม่ต้องกดปุ่ม ล็อก การทำเช่นนี้เป็นการเซตค่า Rebound number ให้เริ่มต้นที่ศูนย์
6. ทำการกดเครื่อง Schmidt hammer ลงบนจุดที่ต้องการจะทดสอบ ก่อนที่จะทำการ ดึงเครื่องมือขึ้นให้กดปุ่มล็อกเพื่อทำการล็อกค่า Rebound number ของคอนกรีตที่ทำการทดสอบ ในจุดนั้น
7. อ่านค่า Rebound number ที่ได้จากเครื่อง
8. ทำซ้ำข้อ 5-7 จนครบ 10 จุด
9. นำค่า Rebound number ที่ได้ทั้ง 10 จุด มาหาค่าเฉลี่ยและนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปเปรียบ เทียบกับค่า Rebound number ที่ได้ในตอนแรกถ้าค่าทั้งสองมีความแตกต่างกัน 5 หน่วยทั้งในทาง บวกและลบ ให้ทำการตัดค่า Rebound number ค่านั้นทิ้งไป แล้วนำค่าที่เหลือมาหาเฉลี่ยใหม่อีก ครั้ง
10. นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาปรับค่าซึ่งค่าเฉลี่ยใหม่จะมีค่าเท่ากับ ค่าเฉลี่ยเดิม X factor (ใน การทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 1.33)
11. นำค่า Rebound number ที่เฉลี่ยได้ใหม่ไปเปิดกราฟเพื่อหาค่ากำลังอัดที่คอนกรีต นั้นรับได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทดสอบแบบโดยตรง ด้วยเครื่องมือ Universal Testing Machine

3.1 ตัวอย่างในการทดสอบแบ่งออกเป็น

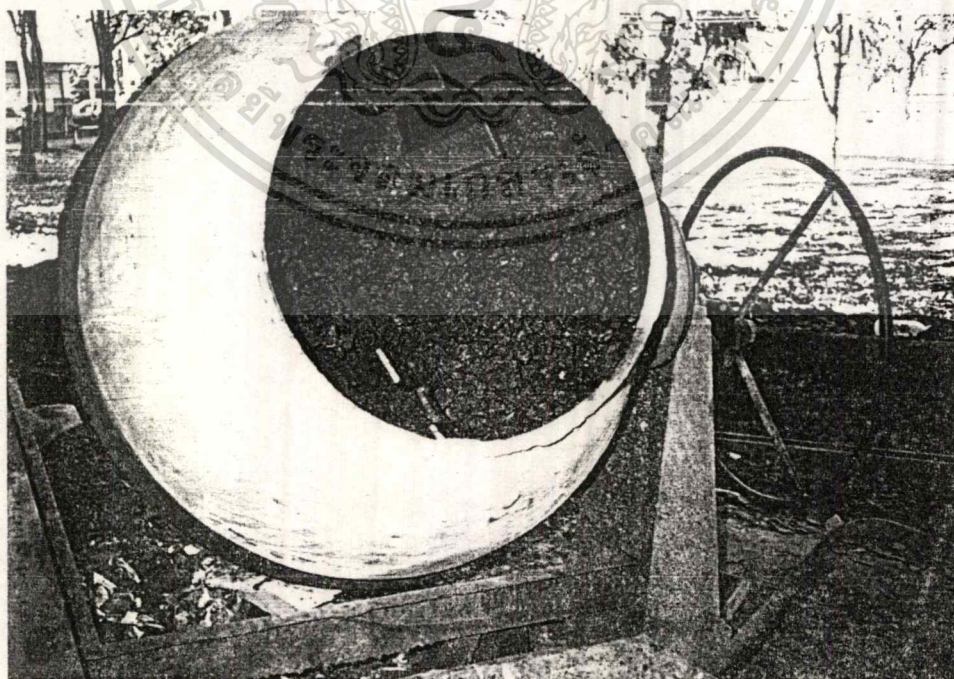
- 1) แบบ Cylinder ตัวอย่างคอนกรีตเตรียมคั่งที่กล่าวมาแล้วข้างต้น
- 2) แบบ Coring ทำการเจาะพื้นด้วยเครื่อง Core คอนกรีตทั้งหมด 5 จุด

3.2 ทำการทดสอบ ทุกชั้นตอนตามบทที่ 4

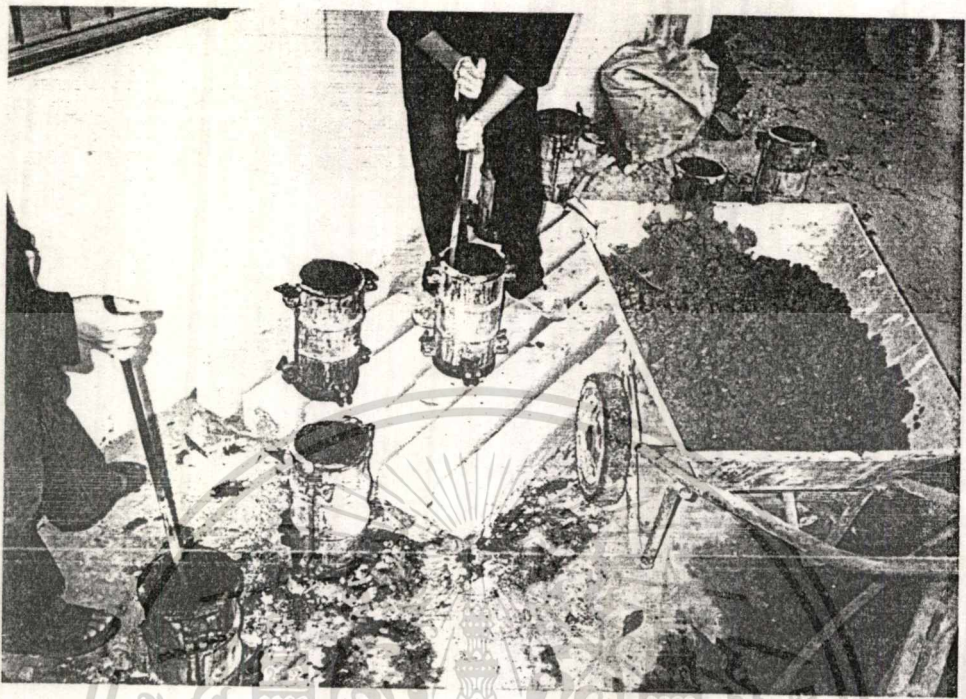




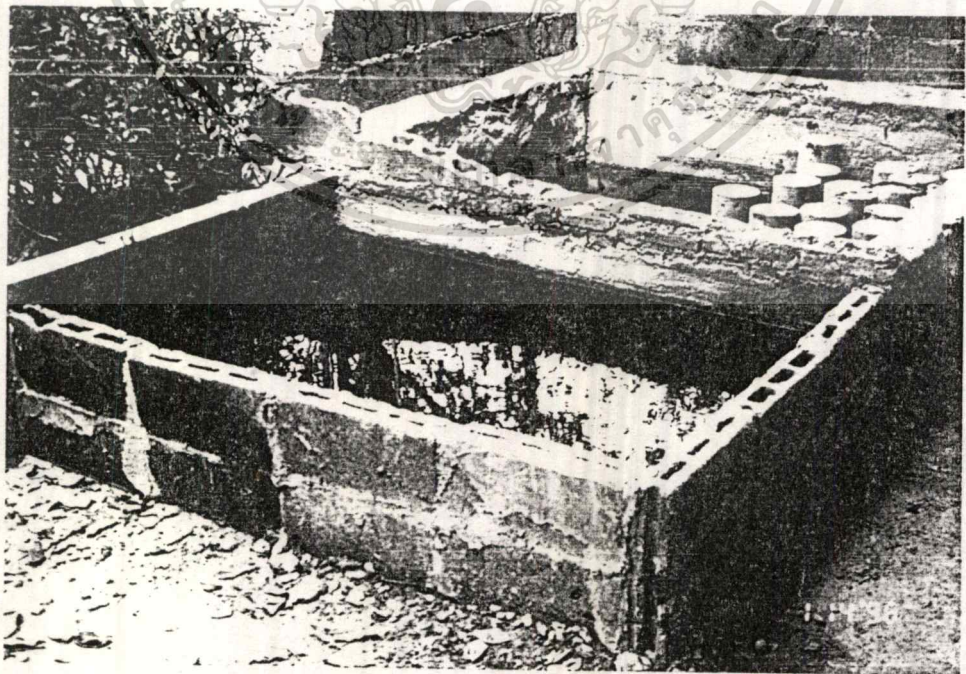
รูปที่ 3.1 แสดงการเตรียมแบบหล่อแท่งคอนกรีต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.2 แสดงการผสมคอนกรีตในโรงผสม
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

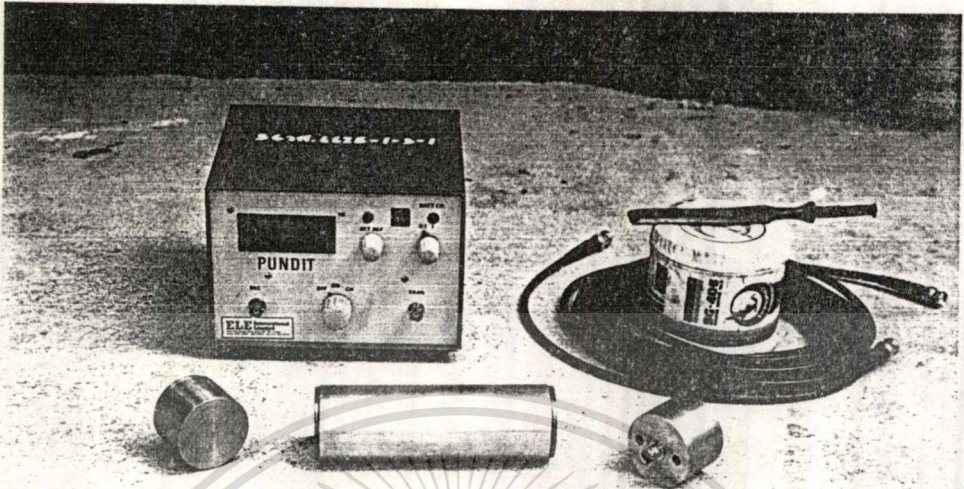


รูปที่ 3.3 แสดงการหล่อแท่งคอนกรีต

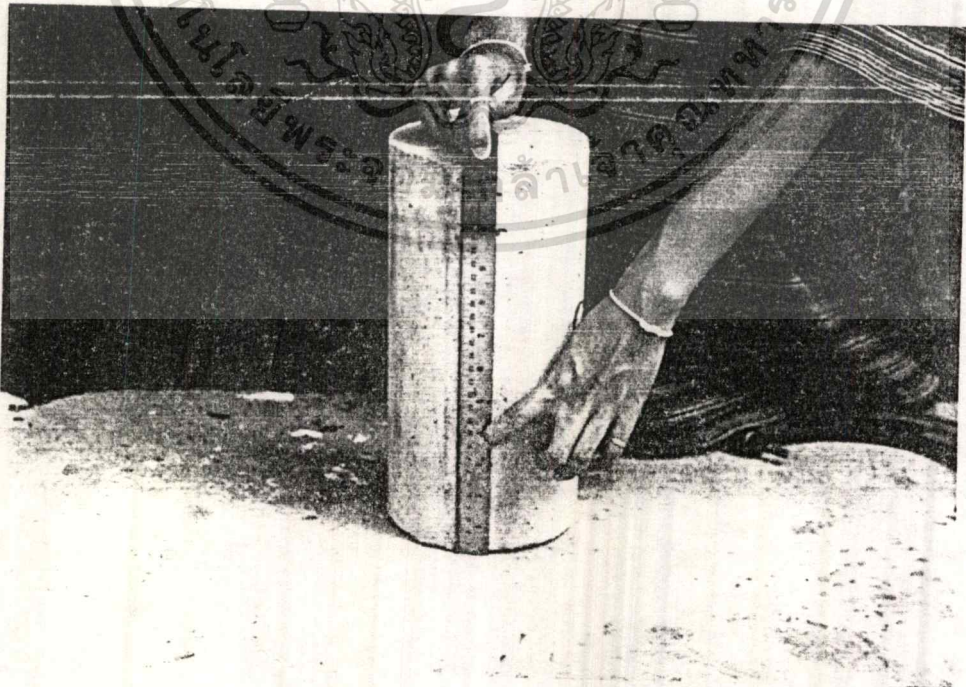


รูปที่ 3.4 แสดงบ่อบ่มคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



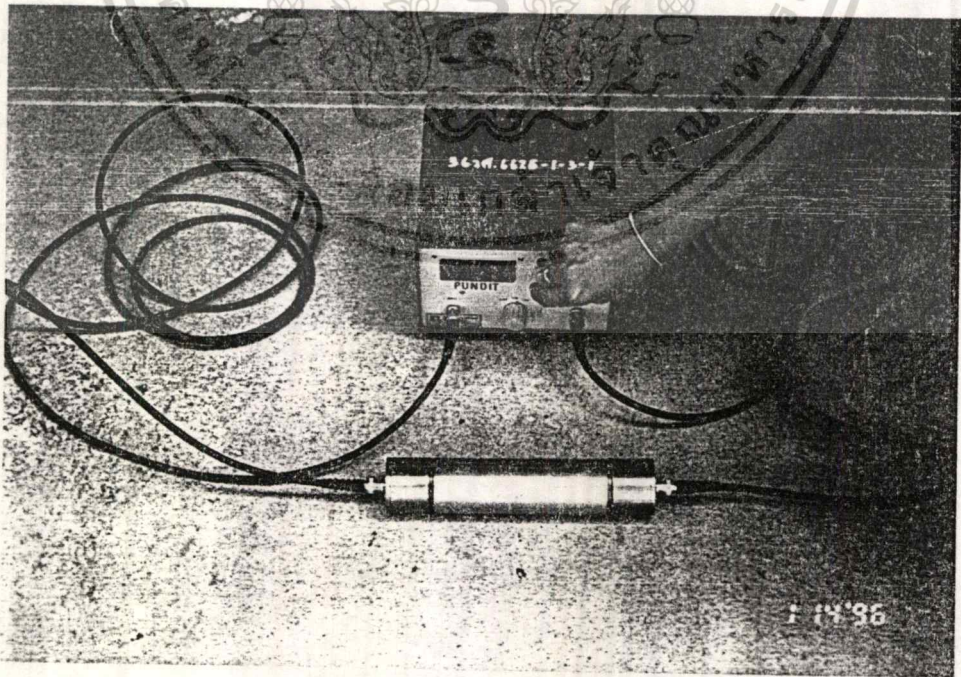
รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องมือการทดสอบคอนกรีตชนิด Pundit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.6 ในแสดงการวัดความยาวของแท่งคอนกรีตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

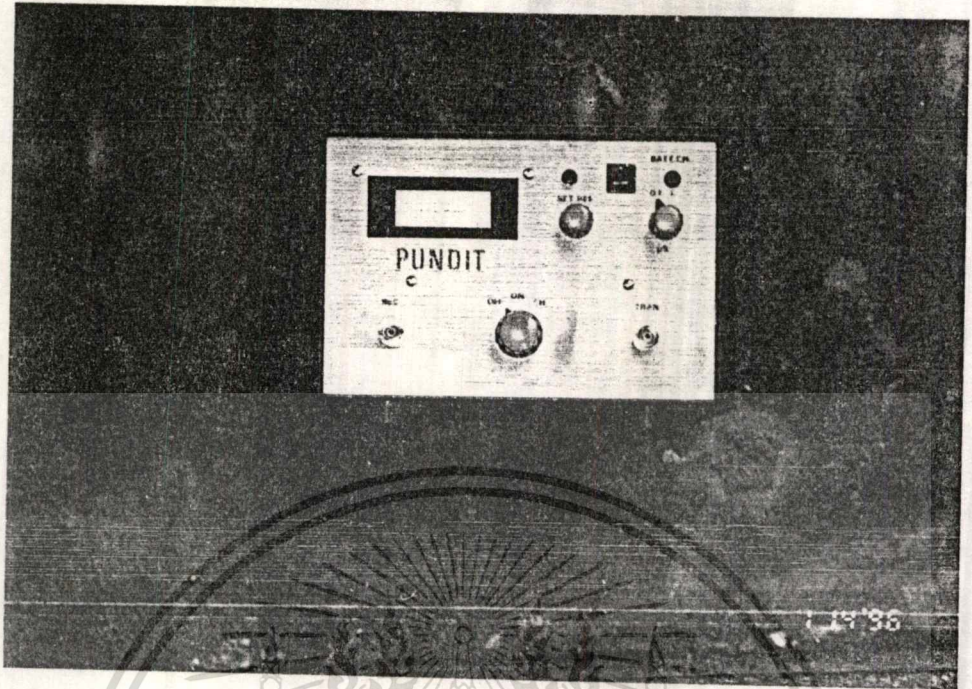


รูปที่ 3.7 แสดงการทำจารบีที่โพรม

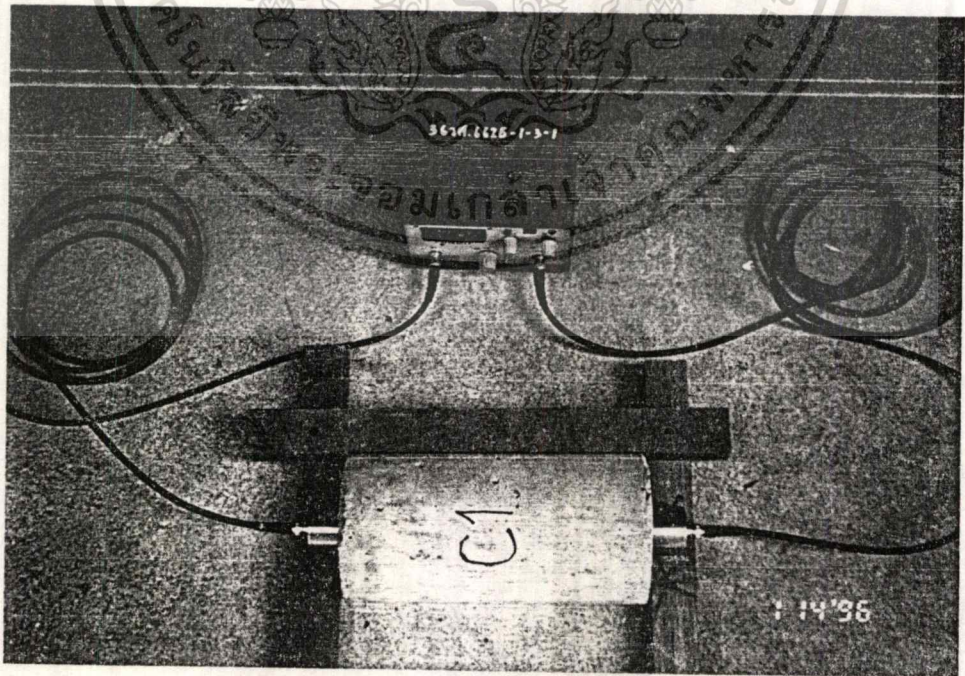


รูปที่ 3.8 แสดงการ Calibrate เครื่อง Pundit

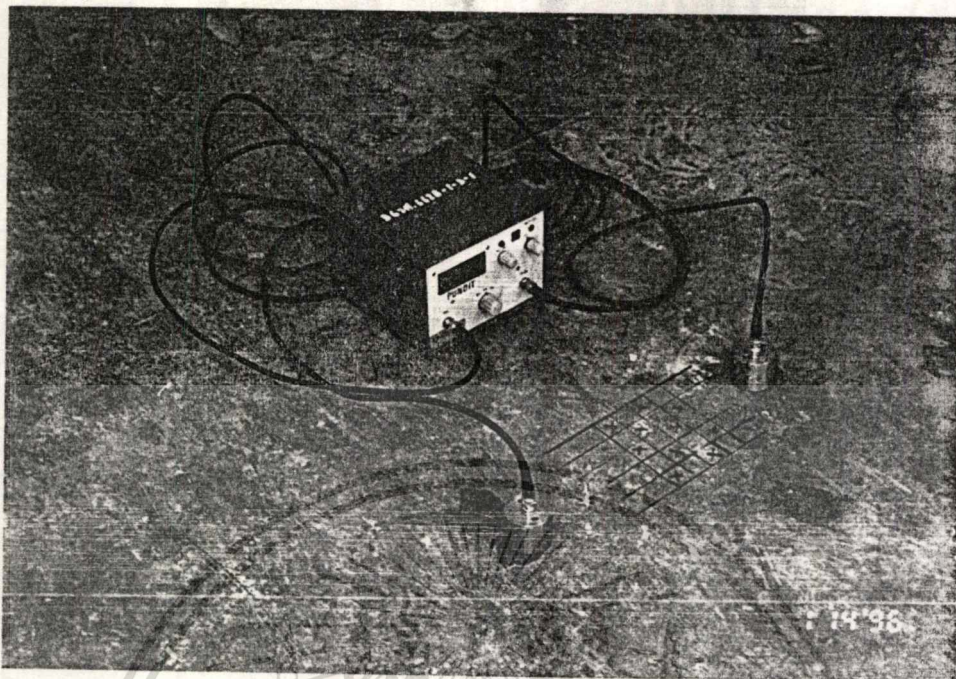
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพียงภายในเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



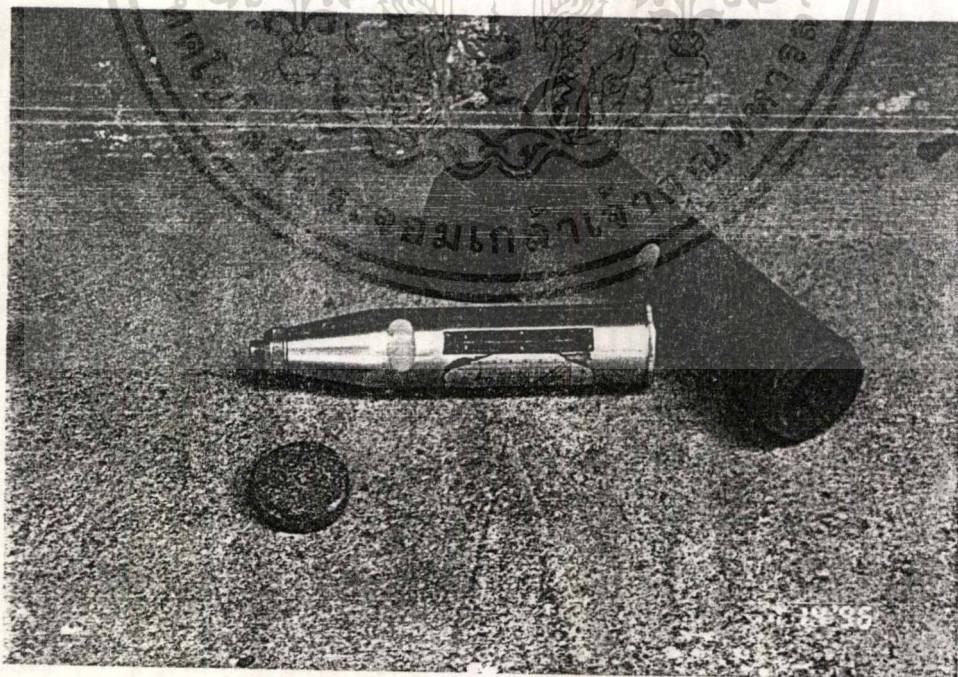
รูปที่ 3.9 แสดงด้านหน้าของเครื่อง Pundit



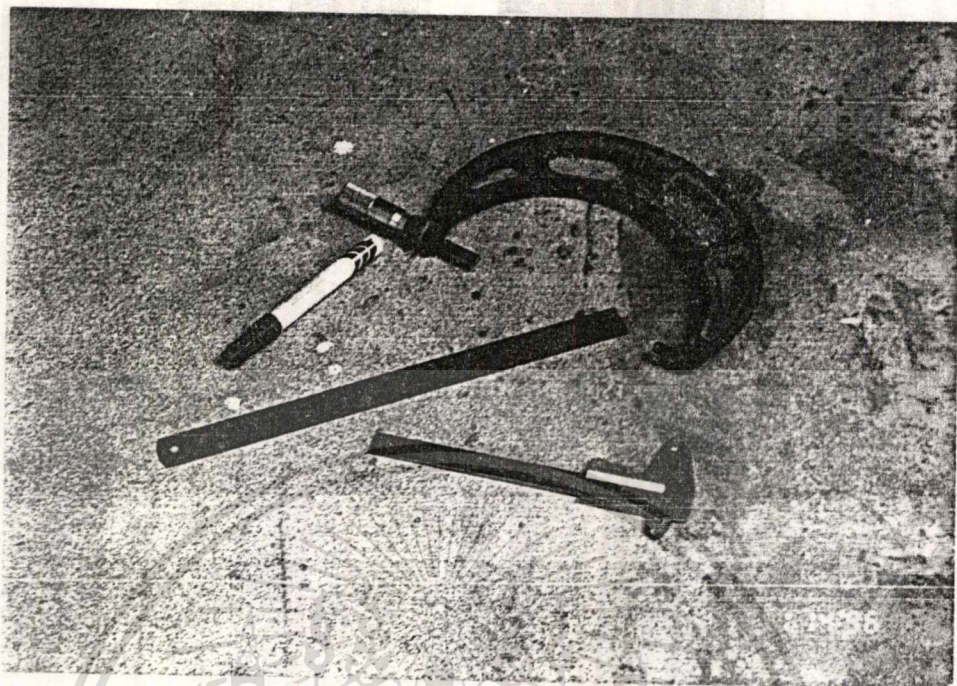
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานและการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.10 แสดงการวัดความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก ฝั่งผ่านแท่งคอนกรีต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงการวัดความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกแบบ Surface Transmission



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.12 ในคลังเครื่องมือ Schmidt hammer ชนิด N ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงเครื่องมือที่ใช้วัดและทำตำแหน่งที่จะทำการวัดแบบ Hammer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.14a แสดงการวัดหาค่า Rebound number
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

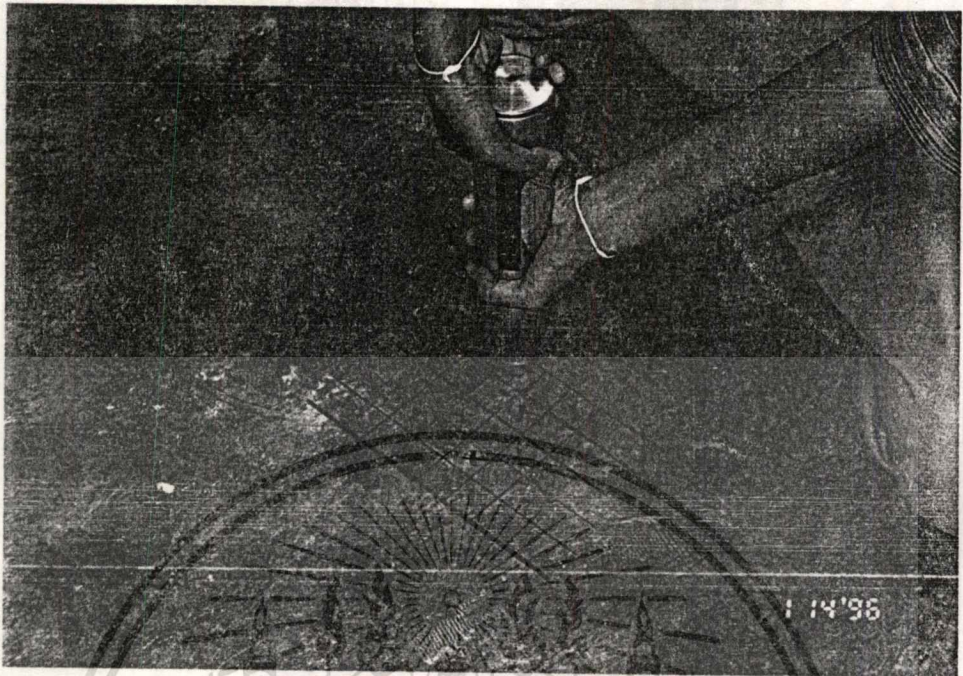


รูปที่ 3.14b แสดงการวัดค่า Rebound number

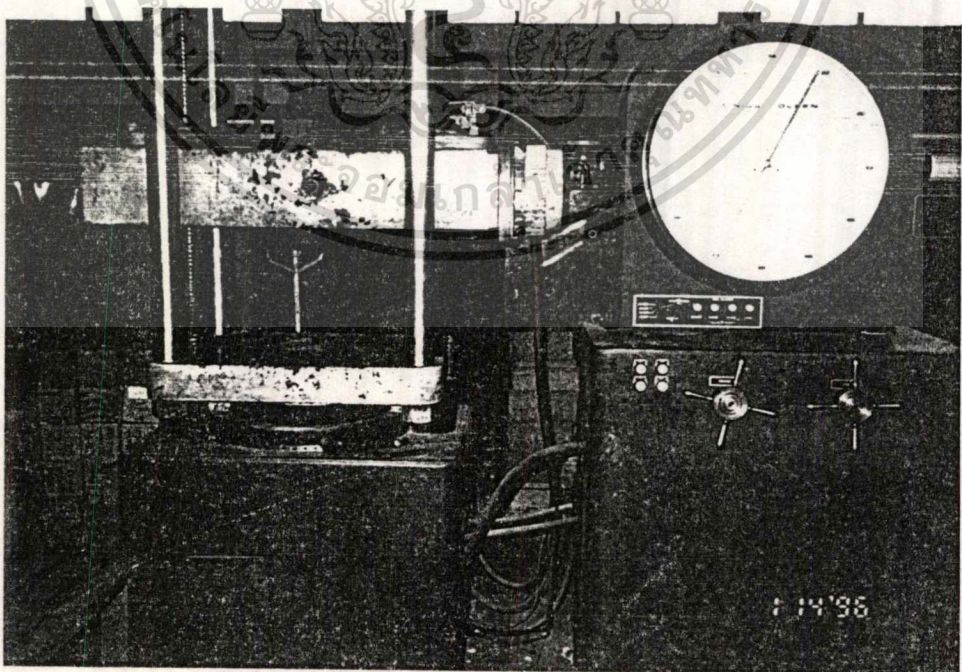


รูปที่ 3.15 แสดงค่า Rebound number ที่อ่านได้บนจอสกปรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงการวัดค่า Rebound number ของพื้นที่จะทำกร coring

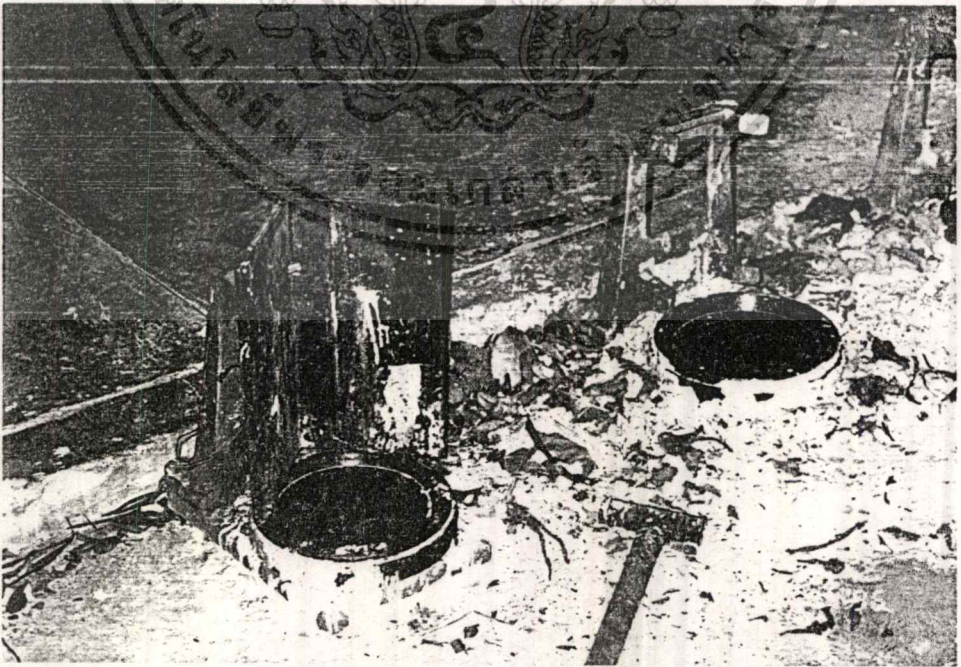


รูปที่ 3.17 แสดงเครื่อง Universal Testing Machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แสดงการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งถอนกรีด

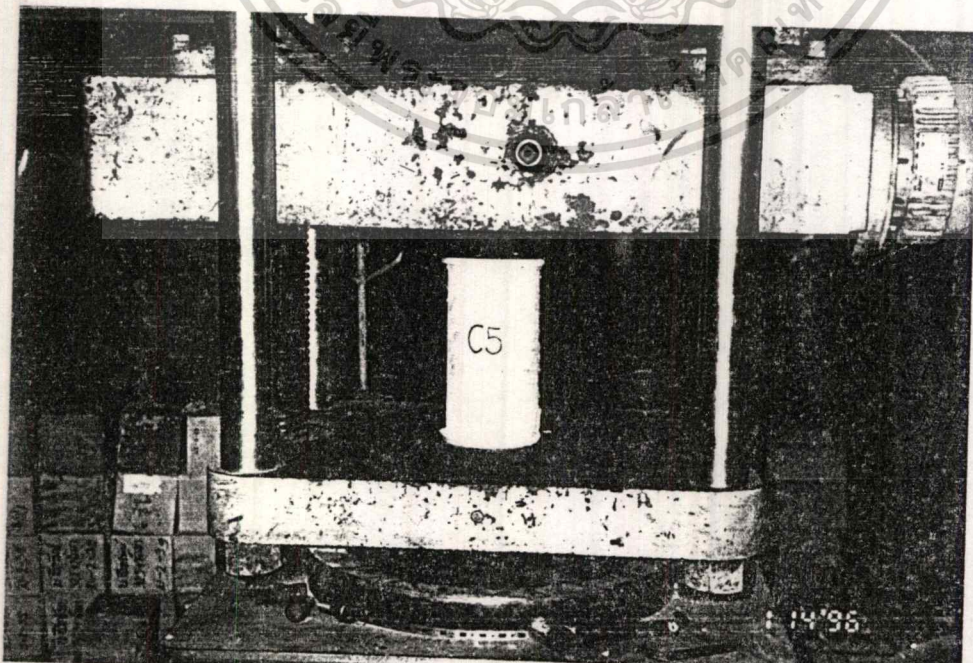


รูปที่ 3.19 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำหมวกครอบแท่งถอนกรีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีมติให้เปลี่ยนแปลงชื่อที่เรียกของช่างก่อสร้างเป็น "ช่างทำหมวกครอบแท่งถอนกรีด" ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

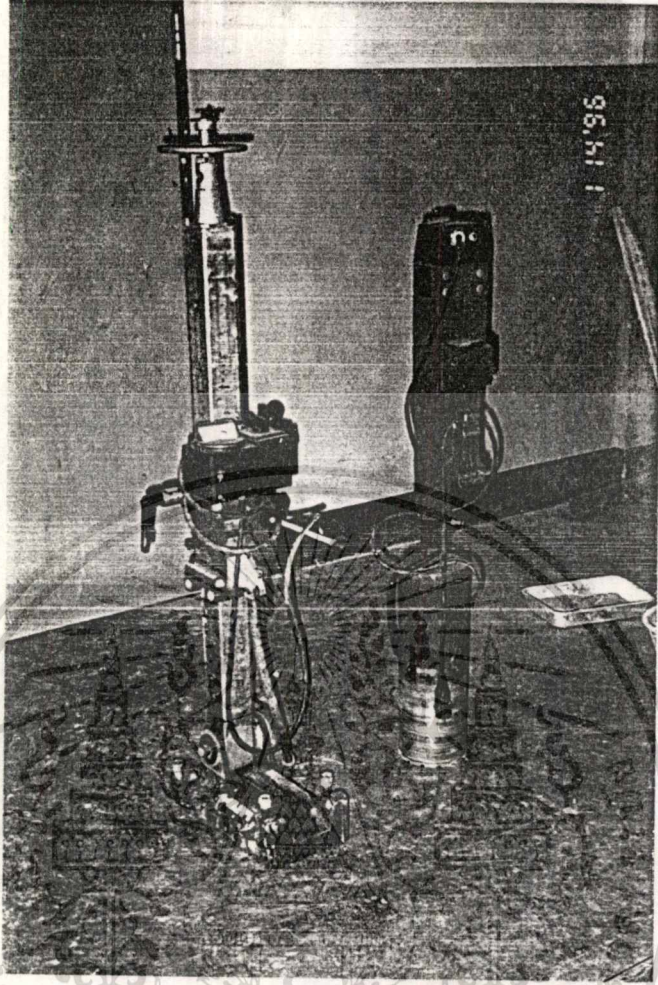


รูปที่ 3.20 แสดงการทำหวมกรอบแท่งคอนกรีต

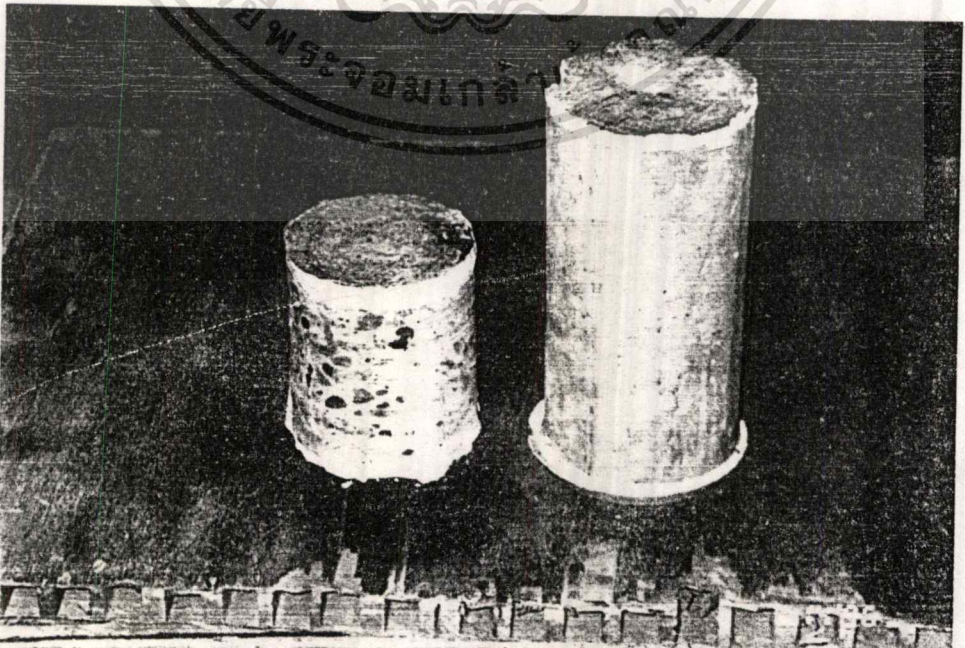


รูปที่ 3.21 แสดงการทดสอบหากำลังอัดแบบ UTM

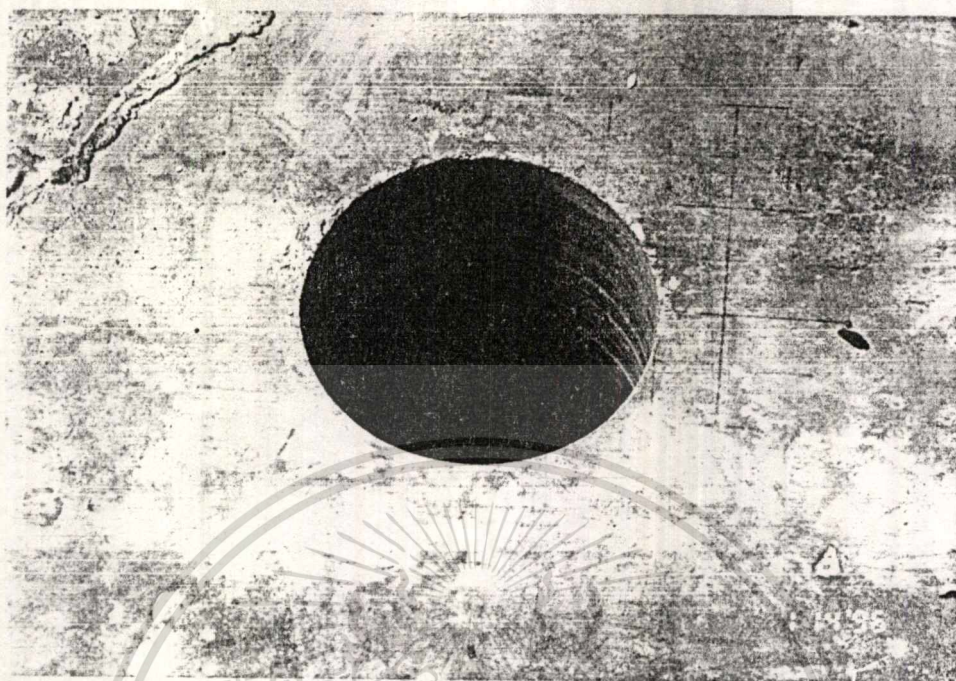
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นชอบโดยคณะกรรมการ
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเงาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



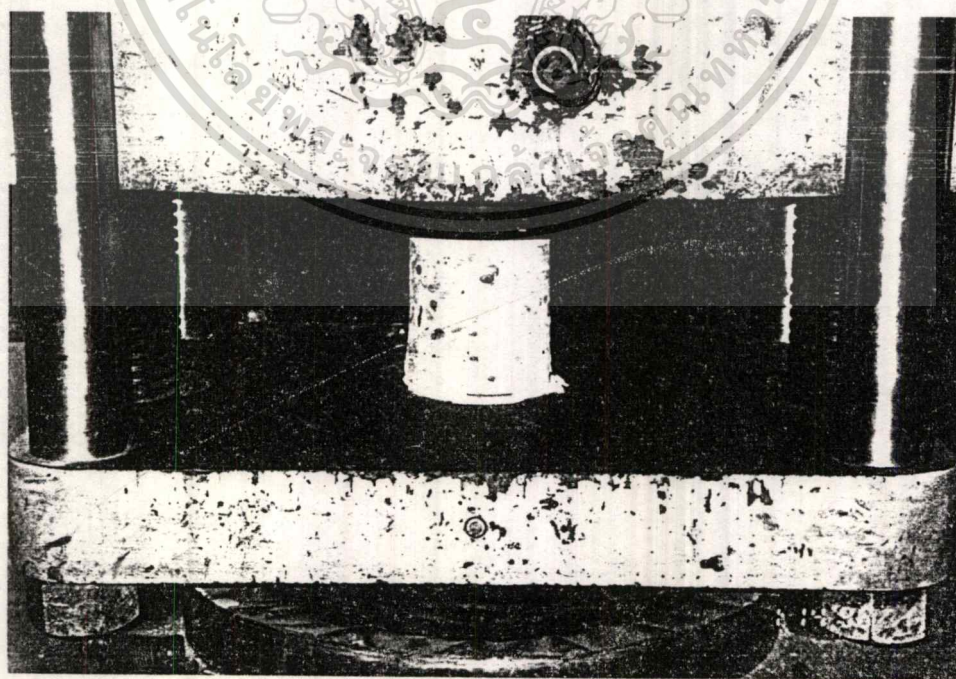
รูปที่ 3.22 แสดงเครื่องมือในการ coring



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการทบทวนเท่านั้น มิใช่ชุดข้อมูลที่ใช้ในการค้า
รูปที่ 3.23 แสดงแท่งคอนกรีตที่ได้จากการ coring เทียบกับแท่งตัวอย่างทดสอบที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 แสดงปล่องที่เกิดจากการ coring



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

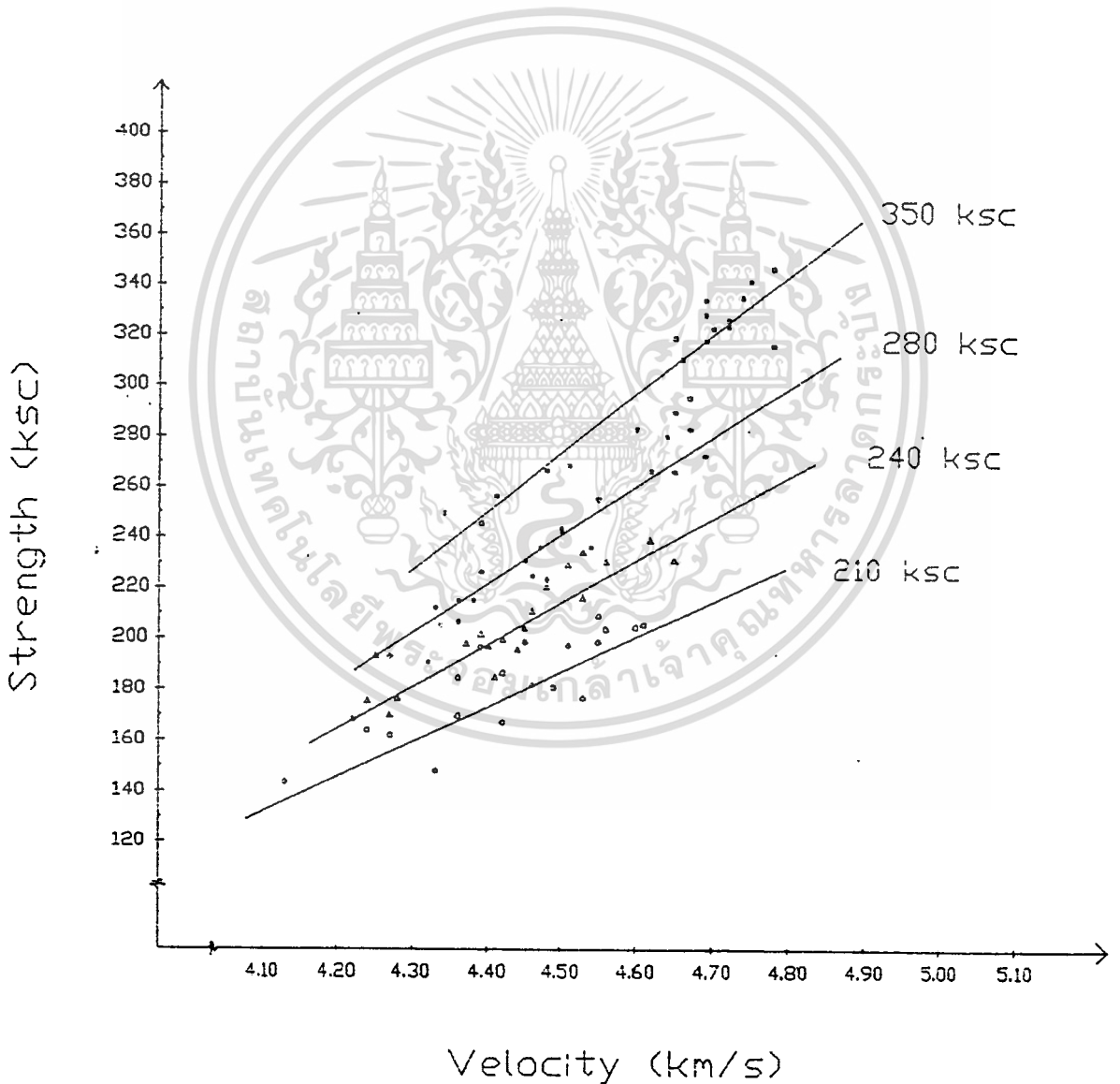
รูปที่ 3.25 การทดสอบหากำลังอัดแบบ UTM กับแท่งคอนกรีตที่ได้จากการ coring

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลอง

จากการทดสอบหาการรับกำลังอัดของคอนกรีต โดยการทดสอบ 3 วิธี ซึ่งได้แก่

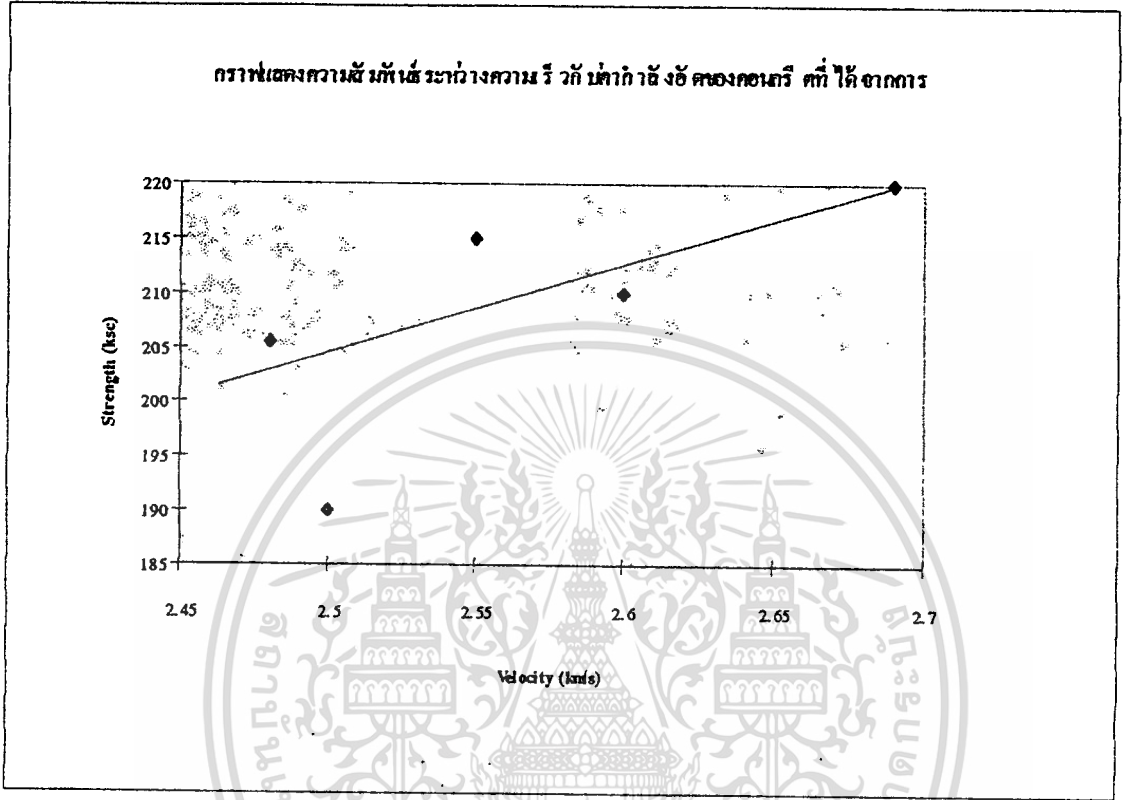
- การทดสอบโดยเครื่องมือ Ultrasonic
- การทดสอบโดยเครื่องมือ Schmidt Hammer
- การทดสอบแบบโดยตรง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและการรับกำลังอัดของก้อนหล่อตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้จัดทำขึ้นโดยบริษัทหรือหน่วยงานการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและการรับกำลังอัดของก้อนทดสอบที่ได้จากการ Coring

จะได้ผลการทดสอบตามส่วนผสมออกแบบ ที่ 210 , 240 , 280 และ 350 ksc ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 , 14 , 21 และ 28 วัน รวมทั้งผลการทดสอบ Coring ดังตารางต่อไปนี้

MIXED STRENGTH 210 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 20/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (cm/s)	STRENGTH H (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	19.2	18.6	18.6	20.0	18.2	16.8	19.5	17.8	18.6	19.0	24.84	180	47.2	30.05	70.8	4.24	150	176.71	28,980	163.99
DEVIATION	0.57	-0.03	-0.03	1.37	-0.43	-1.83	0.87	-0.83	-0.03	0.37										
USE VALUE	19.2	18.6	18.6	20.0	18.2	16.8	19.5	17.8	18.6	19.0										

MIXED STRENGTH 210 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 20/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (cm/s)	STRENGTH H (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	18	18.6	19.4	19.8	20.2	21.6	20.2	21	15	18.4	25.63	186	47.5	30.02	70.2	4.27	155	177.02	28,620	161.95
DEVIATION	-1.22	-0.62	0.18	0.58	0.98	2.38	0.98	1.78	-4.22	-0.82										
USE VALUE	18	18.6	19.4	19.8	20.2	21.6	20.2	21	15	18.4										

MIXED STRENGTH 210_KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 20/1/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM							
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	18	18.5	17.2	24	17.8	17.6	19.4	17	18.8	20.4	24.4	176	47	30	72.5	4.13	147	176.79	25,320	143.28	
DEVIATION	-0.87	-0.37	-1.67	5.13	-1.67	-1.27	0.53	-1.87	-0.07	1.53											
USE VALUE	18	18.5	17.2	-	17.8	17.6	19.4	17	18.8	20.4											

MIXED STRENGTH 210_KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 20/1/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM							
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	22	19.5	18	18.8	19.2	19.4	20.2	17	20	16.8	25.45	184	47.3	30.05	66.8	4.49	190	176.71	32,032	181.27	
DEVIATION	2.91	0.41	-1.09	-0.29	0.11	0.31	1.11	-2.09	0.91	-2.29											
USE VALUE	22	19.5	18	18.8	19.2	19.4	20.2	17	20	16.8											

MIXED STRENGTH 210_KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 13/11/96 DATE OF TESTED 20/11/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	20	18.2	18.8	17.5	19	16.4	15.8	16.4	19.2	17.8	23.88	167	45.5	30.02	69.2	4.33	167	176.82	26,120	147.8
DEVIATION	2.09	0.29	0.89	-0.41	1.09	-1.51	-2.11	-1.51	1.29	-0.11										
USE VALUE	20	18.2	18.8	17.5	19	16.4	15.8	16.4	19.2	17.8										

MIXED STRENGTH 210_KCS AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 13/11/96 DATE OF TESTED 27/11/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	23	20.8	21.6	21.4	19.4	15.2	20.8	21.4	20.8	21.6	25.44	184	47.3	30.00	68.4	4.39	173	176.82	34,800	196.81
DEVIATION	2.4	0.2	1	0.8	-1.2	-5.4	0.2	0.8	0.2	1										
USE VALUE	23	20.8	21.6	21.4	19.4	-	20.8	21.4	20.8	21.6										

MIXED STRENGTH 210 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 27/1/96

SCHMIDT HAMMER											ULTRASONIC				UTM					
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm ²)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
	20.8	21	21.6	24	19.8	19.8	20.6	21	22.6	22.2	28.45	230	54	30.05	67.9	4.42	177	177.05	33,000	186.39
	-0.54	-0.34	0.26	2.66	-1.54	-1.54	-0.74	-0.34	1.26	0.86										
	20.8	21	21.6	24	19.8	19.8	20.6	21	22.6	22.2										

MIXED STRENGTH 210 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 27/1/96

SCHMIDT HAMMER											ULTRASONIC				UTM					
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm ²)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
	23	19	18.6	18	19.4	20.8	20.2	21.8	18	18	26.24	202	49.2	30.00	67.8	4.42	177	176.71	29,520	167.05
	3.32	-0.68	-1.08	-1.68	-0.28	1.12	0.52	2.12	-1.68	-1.68										
	23	19	18.6	18	19.4	20.8	20.2	21.8	18	18										

MIXED STRENGTH 210 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 27/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	22	21.2	20.6	19.8	18	19	20.6	22.8	21.2	20	27.36	213	50	30.1	69.0	4.36	167	176.71	32,620	184.59
DEVIATION	1.48	0.68	0.08	-0.72	-2.52	-1.52	0.08	2.28	0.68	-0.52										
USE VALUE	22	21.2	20.6	19.8	18	19	20.6	22.8	21.2	20										

MIXED STRENGTH 210 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 27/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	20.8	21.2	20	22.2	18.6	19.8	20.4	21.6	19.6	22	27.49	218	50.2	30.00	68.80	4.36	167	176.82	30,000	169.66
DEVIATION	0.18	0.58	-0.62	1.58	-2.02	-0.82	-0.22	0.98	-1.02	1.38										
USE VALUE	20.8	21.2	20	22.2	18.6	19.8	20.4	21.6	19.6	22										

MIXED STRENGTH 210 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 3/2/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM							
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE STRENGTH (KSC)	ULTIMATE LOAD(kg)	
REBOUND NUMBER	21	23.2	20.2	20.4	20	21	19.6	22	20.4	20	27.7	220	52	30.00	65.80	4.56	195	176.71	36,000	203.72	
DEVIATION	0.22	2.42	-0.58	-0.38	-0.78	0.22	-1.18	1.22	-0.38	-0.78											
USE VALUE	21	23.2	20.2	20.4	20	21	19.6	22	20.4	20											

MIXED STRENGTH 210 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 3/2/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM							
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE STRENGTH (KSC)	ULTIMATE LOAD(kg)	
REBOUND NUMBER	23.4	22	23	21	20.6	20.8	22.2	24	20.4	21	29.01	240	53	30.05	66.90	4.49	188	176.71	31,920	180.63	
DEVIATION	1.64	0.24	1.24	-0.76	-1.16	-0.96	0.44	2.24	-1.36	-0.76											
USE VALUE	23.4	22	23	21	20.6	20.8	22.2	24	20.4	21											

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง กรุงเทพมหานคร
 ไม่ว่ากรณีใดๆ สืบเนื่องทั้งหมดให้ตัดแปลงเอกสารทำ และของอ้างอิงถึงกรมโยธาธิการและผังเมือง กรุงเทพมหานคร

MIXED STRENGTH 210 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 3/2/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC					UTM						
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(Kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	21.8	22.2	20.4	20.4	19.8	22	21.8	20.2	19.6	21.8	28	220	51	30.00	67.20	4.46	182	181.45	33,000	181.86	
DEVIATION	0.8	1.2	-0.6	-0.6	-1.2	1	0.8	-0.8	-1.4	0.8											
USE VALUE	21.8	22.2	20.4	20.4	19.8	22	21.8	20.2	19.6	21.8											

MIXED STRENGTH 210 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 3/2/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC					UTM						
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(Kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	22	23.5	22.8	21.6	22.4	21.6	22.4	22.8	23	21.2	30	250	55	30.00	67.40	4.45	180	176.71	35,120	189.74	
DEVIATION	-0.33	1.17	0.47	-0.73	0.07	-0.73	0.07	0.47	0.67	-1.13											
USE VALUE	22	23.5	22.8	21.6	22.4	21.6	22.4	22.8	23	21.2											

MIXED STRENGTH 210_KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 3/2/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC					UTM						
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	22.4	23.6	23.2	21.8	22.6	23.2	21.4	23	23.2	22.6	30.27	252	55.1	30.00	66.50	4.51	188	176.71	34,860	197.26	
DEVIATION	-0.3	0.9	0.5	-0.9	-0.1	0.5	-1.3	0.3	0.5	-0.1											
USE VALUE	22.4	23.6	23.2	21.8	22.6	23.2	21.4	23	23.2	22.6											

MIXED STRENGTH 210_KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 10/2/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC					UTM						
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	22.4	23.2	23.4	21.8	22	22.8	22.6	21.8	22.8	20	28.93	230	52.8	30.05	65.90	4.55	195	176.71	35,100	198.63	
DEVIATION	0.12	0.92	1.12	-0.48	-0.28	0.52	0.32	-0.48	0.52	-2.28											
USE VALUE	22.4	23.2	23.4	21.8	22	22.8	22.6	21.8	22.8	20											

MIXED STRENGTH 210_KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 10/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	STRENGTH DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	23.5	23.8	22.6	23	20.8	23.4	23.2	22.4	23.6	23.6	30.65	255	55.2	30.00	65.20	4.60	200	176.71	36,150	204.56
DEVIATION	0.51	0.81	-0.39	0.01	-2.19	0.41	0.21	-0.59	0.61	0.61	30.65	255	55.2	30.00	65.20	4.60	200	176.71	36,150	204.56
USE VALUE	23.5	23.8	22.6	23	20.8	23.4	23.2	22.4	23.6	23.6	30.65	255	55.2	30.00	65.20	4.60	200	176.71	36,150	204.56

MIXED STRENGTH 210_KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 10/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	STRENGTH DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	23.8	22.4	20	23.6	23.5	22.8	24.2	23.6	23.8	23.6	30.81	260	50.5	30.00	65.00	4.61	204	176.71	36,300	205.41
DEVIATION	23.8	22.4	20	23.6	23.5	22.8	24.2	23.6	23.8	23.6	30.81	260	50.5	30.00	65.00	4.61	204	176.71	36,300	205.41
USE VALUE	23.8	22.4	20	23.6	23.5	22.8	24.2	23.6	23.8	23.6	30.81	260	50.5	30.00	65.00	4.61	204	176.71	36,300	205.41

MIXED STRENGTH 210 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 10/2/96

SCHMIDT HAMMER											ULTRASONIC				UTM					
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm ²)	ULTIMATE LOAD(Kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	22.4	23.2	23.4	21.8	22	22.8	22.6	21.6	22.8	20	29.71	245	54.5	30.05	65.90	4.55	195	176.71	35,100	198.63
DEVIATION	0.12	0.92	1.12	-0.48	-0.28	0.52	0.32	-0.48	0.52	-2.28	29.71	245	54.5	30.05	65.90	4.55	195	176.71	35,100	198.63
USE VALUE	22.4	23.2	23.4	21.8	22	22.8	22.6	21.8	22.8	20	29.71	245	54.5	30.05	65.90	4.55	195	176.71	35,100	198.63

MIXED STRENGTH 210 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 10/2/96

SCHMIDT HAMMER											ULTRASONIC				UTM					
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm ²)	ULTIMATE LOAD(Kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	22	20.6	20.4	21.4	19.8	21	20.4	20.8	21.4	20.8	27.81	220	50	30.00	66.10	4.53	194	181.82	32,120	176.65
DEVIATION	1.14	-0.26	-0.46	0.54	-1.06	0.14	-0.46	-0.06	0.54	-0.06	27.81	220	50	30.00	66.10	4.53	194	181.82	32,120	176.65
USE VALUE	22	20.6	20.4	21.4	19.8	21	20.4	20.8	21.4	20.8	27.81	220	50	30.00	66.10	4.53	194	181.82	32,120	176.65

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 20/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	20.8	21.4	22.6	21.6	21	20	21.6	22.4	20.8	21	28.43	222	50.2	30.00	71.00	4.22	167	176.71	29,720	168.19
DEVIATION	-0.52	0.08	1.28	0.28	-0.32	-1.32	0.28	1.08	-0.52	-0.32										
USE VALUE	20.8	21.4	22.6	21.6	21	20	21.6	22.4	20.8	21										

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 20/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	21.2	19.8	20.2	21	21.8	20.6	20.6	20.2	21.6	20	27.65	218	51.5	30.04	70.30	4.27	177	176.80	30,060	170.02
DEVIATION	0.46	-0.94	-0.54	0.26	0.26	1.06	-0.14	-0.54	0.86	-0.74										
USE VALUE	21.2	19.8	20.2	21	21	21.8	20.6	20.2	21.6	20										

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 20/1/96

	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	21.2	22	21.8	19.6	20.4	22.2	20.4	19.8	21.6	21.4	28.05	221	51	30.00	70.8	4.24	170	176.71	30,980	175.32
DEVIATION	0.16	0.96	0.76	-1.44	-0.64	1.16	-0.64	-1.24	0.56	0.36	28.05	221	51	30.00	70.8	4.24	170	176.71	30,980	175.32
USE VALUE	21.2	22	21.8	19.6	20.4	22.2	20.4	19.8	21.6	21.4	28.05	221	51	30.00	70.8	4.24	170	176.71	30,980	175.32

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 20/1/96

	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	20	21.2	20.8	22.2	19.6	20.4	18.6	19.8	21.6	22	27.49	219	51	30.01	70.10	4.28	180	176.95	31,240	176.55
DEVIATION	-0.62	0.58	0.18	1.58	-1.02	-0.22	-2.02	-0.82	0.98	1.38	27.49	219	51	30.01	70.10	4.28	180	176.95	31,240	176.55
USE VALUE	20	21.2	20.8	22.2	19.6	20.4	18.6	19.8	21.6	22	27.49	219	51	30.01	70.10	4.28	180	176.95	31,240	176.55

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 20/1/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC					UTM				
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	23.2	23.4	22.4	23	22.6	21.8	21.8	22.8	23.8	22.6	30.32	55.2	30.00	70.50	4.25	172	176.71	34,120	193.08
DEVIATION	0.46	0.66	-0.34	0.26	-0.14	-0.94	-0.94	0.06	1.06	-0.14									
USE VALUE	23.2	23.4	22.4	23	22.6	21.8	21.8	22.8	23.8	22.6									

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 27/1/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC					UTM				
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	22.1	21.9	20.8	25.2	24	22.8	21.9	22	27	20.8	30.46	55.1	30.03	68.60	4.37	192	176.71	35,000	198.06
DEVIATION	-0.75	-0.95	-2.05	2.35	1.15	-0.05	-0.95	-0.85	4.15	-2.05									
USE VALUE	22.1	21.9	20.8	25.2	24	22.8	21.9	22	27	20.8									

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 27/1/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	22.1	22.8	23.1	22.9	22.7	21.8	20.9	23.8	26.5	20.1	30.27	252	55.1	30.00	67.90	4.42	200	176.71	35,240	199.42
DEVIATION	-0.57	0.13	0.43	0.23	0.03	-0.87	-1.77	1.13	3.83	-2.57										
USE VALUE	22.1	22.8	23.1	22.9	22.7	21.8	20.9	23.8	26.5	20.1										

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 27/1/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	23.4	23.1	23.2	24.8	21.2	25.7	24.1	20.8	21.9	22.9	30.81	260	55.5	30.05	67.60	4.45	207	176.95	36,000	203.45
DEVIATION	0.29	-0.01	0.09	1.69	-1.91	2.59	0.99	-2.31	-1.21	-0.21										
USE VALUE	23.4	23.1	23.2	24.8	21.2	25.7	24.1	20.8	21.9	22.9										

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 27/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm ²)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	23.1	22	22.2	21.8	22.5	26.1	25.9	20.8	21.8	22	22.82	252	55.01	30.00	68.00	4.41	200	179.21	33,120	184.81
DEVIATION	0.28	-0.82	-0.62	-1.02	-0.32	3.28	3.08	-2.02	-1.02	-0.82	22.82	252	55.01	30.00	68.00	4.41	200	179.21	33,120	184.81
USE VALUE	23.1	22	22.2	21.8	22.5	26.1	25.9	20.8	21.8	22	22.82	252	55.01	30.00	68.00	4.41	200	179.21	33,120	184.81

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 27/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm ²)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	21.9	21	20.9	22.8	29.8	22.1	20.8	21.2	21	21.1	28.56	230	53	30.00	68.20	4.40	199	177.21	34,860	196.71
DEVIATION	-0.36	-1.26	-1.36	0.54	7.54	-0.16	-1.46	-1.06	-1.26	-1.16	28.56	230	53	30.00	68.20	4.40	199	177.21	34,860	196.71
USE VALUE	21.9	21	20.9	22.8	-	22.1	20.8	21.2	21	21.1	28.56	230	53	30.00	68.20	4.40	199	177.21	34,860	196.71

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 3/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	24.2	24	23.8	24.2	21	24.4	26.2	24.6	25	25.2	32.35	280	51.5	30.00	67.20	4.46	170	176.81	37,300	210.96
DEVIATION	-0.06	-0.26	-0.46	-0.06	-3.26	0.14	1.94	0.34	0.74	0.94	32.35	280	51.5	30.00	67.20	4.46	170	176.81	37,300	210.96
USE VALUE	24.2	24	23.8	24.2	21	24.4	26.2	24.6	25	25.2	32.35	280	51.5	30.00	67.20	4.46	170	176.81	37,300	210.96

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 3/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	24	23.2	22.4	21.8	22.8	22.6	21.4	23	21.6	22	29.97	248	54.9	30.09	66.70	4.51	217	176.92	40,500	228.91
DEVIATION	1.52	0.72	-0.08	-0.68	0.32	0.12	-1.08	0.52	0.88	-0.48	29.97	248	54.9	30.09	66.70	4.51	217	176.92	40,500	228.91
USE VALUE	24	23.2	22.4	21.8	22.8	22.6	21.4	23	21.6	22	29.97	248	54.9	30.09	66.70	4.51	217	176.92	40,500	228.91

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 3/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	22.2	21.4	21.8	20	22.6	22	22	21.2	21.8	20.2	28.69	230	53	30.00	67.60	4.44	204	176.71	34,500	195.24	
DEVIATION	0.68	-0.12	0.28	-1.52	1.08	0.48	0.48	-0.32	0.28	-1.32											
USE VALUE	22.2	21.4	21.8	20	22.6	22	22	21.2	21.8	20.2											

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 3/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	23.8	18.2	24.4	24	23.6	24.2	23.6	23.8	24.6	23.8	31.97	276	56.4	30.00	66.20	4.53	220	176.71	38,180	216.06	
DEVIATION	0.4	-5.2	1	0.6	0.2	0.8	0.2	0.4	1.2	0.4											
USE VALUE	23.8	-	24.4	24	23.6	24.2	23.6	23.8	24.6	23.8											

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 3/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD (kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	23	22.4	23.2	23.4	21.8	22.8	21.8	22.4	23.8	22.6	30.29	250	.55	30.07	68.40	4.39	204	179.21	36,120	201.55
DEVIATION	0.28	-0.32	0.48	0.68	-0.92	0.08	-0.92	-0.32	1.08	-0.12										
USE VALUE	23	22.4	23.2	23.4	21.8	22.8	21.8	22.4	23.8	22.6										

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 10/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD (kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	24.2	23.8	22.2	22.7	25.2	26.7	27.8	24.2	24.8	25.2	32.91	290	55.2	30.00	64.90	4.62	237	176.71	42,160	238.58
DEVIATION	-0.48	-0.88	-2.48	-1.98	0.52	2.02	3.12	-0.48	0.12	0.52										
USE VALUE	24.2	23.8	22.2	22.7	25.2	26.7	27.8	24.2	24.8	25.2										

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 10/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD (kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	24.8	24.1	23.8	22.7	20.1	24.2	25.8	26.2	26.7	24.9	32.36	282	56.2	30.05	64.60	4.65	240	176.71	40,740	230.54
DEVIATION	0.53	-0.17	-0.47	-1.57	-4.17	-0.07	1.53	1.93	2.43	0.63										
USE VALUE	24.8	24.1	23.8	22.7	20.1	24.2	25.8	26.2	26.7	24.9										

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 10/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD (kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	22.8	22.1	22.5	22.7	20.9	23.8	24.1	25.8	22.8	22.5	30.67	260	55.5	30.00	65.70	4.56	224	176.89	40,720	230.19
DEVIATION	-0.2	-0.9	-0.5	-0.3	-2.1	0.8	1.1	2.8	-0.2	-0.5										
USE VALUE	22.8	22.1	22.5	22.7	20.9	23.8	24.1	25.8	22.8	22.5										

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 10/2/96

SCHMIDT HAMMER											ULTRASONIC				UTM						
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGT H(KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGT H (KSC)	AREA (cm ²)	UTM BE LOAD(Kg)	STRENGT H (KSC)	
REBOUND NUMBER	26	25.2	24.2	25.1	25.2	21.8	20.9	26.2	27.1	24.8	32.87	282	56.4	30.00	66.20	4.53	220	176.71	41,260	233.49	
DEVIATION	1.35	0.55	-0.45	0.45	0.55	-2.85	-3.75	1.55	2.45	0.15											
USE VALUE	26	25.2	24.2	25.1	25.2	21.8	20.9	26.2	27.1	24.8											

MIXED STRENGTH 240 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 13/1/96 DATE OF TESTED 10/2/96

SCHMIDT HAMMER											ULTRASONIC				UTM						
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGT H(KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGT H (KSC)	AREA (cm ²)	UTM BE LOAD(Kg)	STRENGT H (KSC)	
REBOUND NUMBER	22.4	21.9	21.2	20.8	22.7	23.4	23.2	25.8	22.1	20.9	29.92	246	54.5	30.02	67.00	4.48	210	176.95	38,960	220.18	
DEVIATION	-0.04	-0.54	-1.24	-1.64	0.26	0.96	0.76	3.36	-0.34	-1.54											
USE VALUE	22.4	21.9	21.2	20.8	22.7	23.4	23.2	25.8	22.1	20.9											

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 21/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE (KSC)	STRENGTH DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	20.2	21.6	22.2	21	21.8	21.4	22	22	21.4	21.2	28.64	53	30.00	70.20	4.27	197	176.71	34,120	193.08
DEVIATION	-1.28	0.12	0.72	-0.48	0.32	-0.08	0.52	0.52	-0.08	-0.28									
USE VALUE	20.2	21.6	22.2	21	21.8	21.4	22	22	21.4	21.2									

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 21/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE (KSC)	STRENGTH DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	23	23.2	22.6	23.2	21.4	23.6	24.2	22.8	22.6	22.4	30.53	254	30.07	68.50	4.38	220	176.92	38,040	215.01
DEVIATION	0.1	0.3	-0.3	0.3	-1.5	0.7	1.3	-0.1	-0.3	-0.5									
USE VALUE	23	23.2	22.6	23.2	21.4	23.6	24.2	22.8	22.6	22.4									

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 21/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	20.8	21.2	20	20.8	21	20.2	20.4	20.8	21	21.8	27.73	220	30.03	68.80	4.36	216	179.21	37,020	206.57
DEVIATION	0	0.4	-0.8	0	0.2	-0.6	-0.4	0	0.2	1		51							
USE VALUE	20.8	21.2	20	20.8	21	20.2	20.4	20.8	21	21.8									

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 21/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	22	21.4	21	20.8	21	20.6	22	21.4	21	21.2	28.32	224	30.00	69.20	4.33	208	176.71	37,500	212.21
DEVIATION	0.76	0.16	-0.24	-0.44	-0.24	-0.64	0.76	0.16	-0.24	-0.04		52.8							
USE VALUE	22	21.4	21	20.8	21	20.6	22	21.4	21	21.2									

MIXED STRENGTH 280_KSC AGES DAY 7_DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 21/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	22.4	21.6	22.8	23.5	21	22.4	22.5	22	23	21.8	29.73	242	30.00	69.40	4.32	206	176.71	33,720	190.82
DEVIATION	0.1	-0.7	0.5	1.2	-1.3	0.1	0.2	-0.3	0.7	-0.5	29.73	54.2							
USE VALUE	22.4	21.6	22.8	23.5	21	22.4	22.5	22	23	21.8									

MIXED STRENGTH 280_KSC AGES DAY 14_DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 28/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	23	24.6	23.8	24.2	24.4	24.8	24	23.6	24	23.6	32	278	30.00	68.80	4.36	216	176.71	38,040	215.27
DEVIATION	-1	0.6	-0.2	0.2	0.4	0.8	0	-0.4	0	-0.4	32	56.2							
USE VALUE	23	24.6	23.8	24.2	24.4	24.8	24	23.6	24	23.6									

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 14 DAYSDATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 28/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	24.2	23.8	23.6	24	24.8	24.2	24.4	23.8	24.6	24	32.19	280	56.2	30.00	66.90	4.48	238.5	176.71	39,480	223.42
DEVIATION	0.06	-0.34	-0.54	-0.14	0.66	0.66	0.26	-0.34	0.46	-0.14										
USE VALUE	24.2	23.8	23.6	24	24.8	24.2	24.4	23.8	24.6	24										

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 14 DAYSDATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 28/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	27.2	26	26.2	25.6	26.8	27	25.8	26.4	26	26.6	35.15	322	57.8	30.07	66.20	4.54	247	179.24	42,300	235.99
DEVIATION	0.84	-0.36	-0.16	-0.76	0.44	0.64	-0.56	0.04	-0.36	0.24										
USE VALUE	27.2	26	26.2	25.6	26.8	27	25.8	26.4	26	26.6										

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 28/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm ²)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	26.8	24.2	26	25.4	24.8	25	24.6	26.2	26	24.8		300	57	30.00	67.20	4.46	235	178.21	40,060	224.80	
DEVIATION	1.42	-1.18	0.62	0.02	-0.58	-0.38	-0.78	0.82	0.62	-0.58	33.84										
USE VALUE	26.8	24.2	26	25.4	24.8	25	24.6	26.2	26	24.8											

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 28/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm ²)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	24.8	24	23.6	23.5	24	23.2	23	24	24.4	23.6		272	55.8	30.00	68.30	4.39	221.5	176.71	40,000	226.35	
DEVIATION	0.99	0.19	-0.21	-0.31	0.19	-0.61	-0.81	0.19	0.59	-0.21	31.75										
USE VALUE	24.8	24	23.6	23.5	24	23.2	23	24	24.4	23.6											

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 4/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH	DISPERSION	LENGTH	TIME	VELOCITY	STRENGTH	AREA	ULTIMATE	STRENGTH	
REBOUND NUMBER	24.6	27.5	27	26.4	26.8	27.2	26.4	26.4	24.6	27.6	35.27	324	57.8	30.00	66.70	4.50	240	177.17	42.960	242.48	
DEVIATION	-1.85	1.05	0.55	-0.05	0.35	0.75	-0.05	-0.05	-1.85	1.15											
USE VALUE	24.6	27.5	27	26.4	26.8	27.2	26.4	26.4	24.6	27.6											

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 4/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH	DISPERSION	LENGTH	TIME	VELOCITY	STRENGTH	AREA	ULTIMATE	STRENGTH	
REBOUND NUMBER	25.4	26	25.2	26.2	25.8	26.4	26	25.2	26	25	34.29	310	57.5	30.00	67.30	4.45	233	176.71	40.740	230.55	
DEVIATION	-0.32	0.28	-0.52	0.48	0.08	0.68	0.28	-0.52	0.26	-0.72											
USE VALUE	25.4	26	25.2	26.2	25.8	26.4	26	25.2	26	25											

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 4/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(Kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	25.6	26.2	24.6	26.4	25.2	25.8	26.2	26	25.2	25	34.16	308	30.00	67.00	4.47	237	176.91	41,760	236.05
DEVIATION	-0.02	0.58	-1.02	0.78	-0.42	0.18	0.58	0.38	-0.42	-0.62		57.2							
USE VALUE	25.6	26.2	24.6	26.4	25.2	25.8	26.2	26	25.2	25									

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 4/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(Kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	26.4	25.8	26	27.2	26.4	27	26.5	26	25.8	26.6	35.16	322	30.100	66.800	4.500	240	177.17	43,120	243.38
DEVIATION	0.03	-0.57	-0.37	0.83	0.03	0.63	0.13	-0.37	-0.57	0.23		57.6							
USE VALUE	26.4	25.8	26	27.2	26.4	27	26.5	26	25.8	26.6									

MIXED STRENGTH 280 ksc AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 4/2/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	26.8	26	25.8	26.4	26.2	26.8	23	27	27.2	26.8		320	57.6	30.00	65.90	4.55	250	176.71	45,120	255.33
DEVIATION	0.6	-0.2	-0.4	0.2	0	0.6	-3.2	0.8	1	0.6	34.93									
USE VALUE	26.8	26	25.8	26.4	26.2	26.8	23	27	27.2	26.8										

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 11/2/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	29	28.5	28.2	27	28.4	27.6	28	28.2	28.8	28.8		358	59.4	30.00	64.20	4.67	275	177.17	50,060	282.55
DEVIATION	0.93	0.43	0.13	-1.07	-1.07	0.33	-0.47	-0.07	0.13	0.73	37.43									
USE VALUE	29	28.5	28.2	27	28.4	27.6	28	28.2	28.8	28.8										

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 11/2/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC					UTM					
NO.	SCHMIDT HAMMER										LENGTH (cm)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
REBOUND NUMBER	28.6	28.2	27.6	27.8	28	29	28.6	28.6	22	28.8		30.00	360	59.2	64.60	4.64	267	176.71	49,480	280.00
DEVIATION	0.79	0.49	-0.11	0.09	0.29	1.29	0.89	0.89	-5.71	1.09										
USE VALUE	28.6	28.2	27.6	27.8	28	29	28.6	28.6	-	28.8										

MIXED STRENGTH 280 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 11/2/96

SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC					UTM					
NO.	SCHMIDT HAMMER										LENGTH (cm)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
REBOUND NUMBER	26.8	27.2	27.6	28	27.8	27.4	27.5	27.4	26.6	26.2		30.05	340	58.5	64.10	4.69	279	176.71	48,120	272.31
DEVIATION	-0.45	-0.05	0.35	0.75	0.55	0.15	0.25	0.15	-0.65	-1.05										
USE VALUE	26.8	27.2	27.6	28	27.8	27.4	27.5	27.4	26.6	26.2										

MIXED STRENGTH 280_KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 11/2/96

SCHMIDT HAMMER											ULTRASONIC				UTM					
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGT H(KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGT H (KSC)	ARBA (cm)	ULTIMAT	
																			B LOAD(kg)	STRENGT H (KSC)
REBOUND NUMBER	27.4	26.6	26	27	27.8	27	26.2	26.2	27.4	27	38.48	370	59.8	30.00	65.00	4.62	265	176.71	47,060	266.31
DEVIATION	0.54	-0.26	-0.86	0.14	0.94	0.14	-0.66	-0.66	0.54	0.14										
USE VALUE	27.4	26.6	26	27	27.8	27	26.2	26.2	27.4	27										

MIXED STRENGTH 280_KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 11/2/96

SCHMIDT HAMMER											ULTRASONIC				UTM					
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGT H(KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGT H (KSC)	.AREA (cm)	ULTIMAT	
																			B LOAD(kg)	STRENGT H (KSC)
REBOUND NUMBER	28.2	28.6	27.6	27.8	28.2	27.4	27	28.5	28	27.6	37.19	354	59.2	30.04	64.50	4.65	273	177.17	47,120	265.95
DEVIATION	0.31	0.71	-0.29	-0.09	0.31	-0.49	-0.89	0.61	0.11	-0.29										
USE VALUE	28.2	28.6	27.6	27.8	28.2	27.4	27	28.5	28	27.6										

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 21/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD (kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	25.8	26.2	21	24.5	27	27	26.5	25	26.8	24.5	33.49	300	57	30.00	69.20	4.34	238	176.71	44,120	249.67	
DEVIATION	0.47	0.87	-4.35	-0.83	1.67	1.17	-0.33	0.47	-0.83												
USE VALUE	25.8	26.2	21	24.5	27	27	26.5	25	26.8	24.5											

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 21/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD (kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	26	25.2	23.8	20	26.2	27	26	26.4	25.6	25	33.49	300	57	30.00	68.00	4.41	255	178.21	45,720	256.65	
DEVIATION	1.08	0.08	-1.32	-5.12	1.08	1.88	0.88	1.28	0.48	-0.12											
USE VALUE	26	25.2	23.8	20	26.2	27	26	26.4	25.6	25											

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 21/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	24.5	28.2	26.5	28	22	27.2	27	27	26.8	26.2	35.09	320	57.6	30.10	68.50	4.39	250	176.71	43,380	245.49	
DEVIATION	-1.82	1.68	0.18	1.68	-4.32	0.88	0.68	0.48	-0.12												
USE VALUE	24.5	28.2	26.5	28	22	27.2	27	27	26.8	26.2											

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 21/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	26.8	25	24.6	21	27.2	27	26.4	28	27.8	26	34.64	312	57.5	30.05	67.00	4.48	270	176.71	47,120	266.65	
DEVIATION	0.82	-0.98	-1.38	-4.98	1.22	1.02	0.42	2.02	1.82	0.02											
USE VALUE	26.8	25	24.6	21	27.2	27	26.4	28	27.8	26											

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 7 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 21/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	27.2	26.4	27	22.6	24.8	25.8	25	25.8	24.6	20	33.96	305	57.2	30.10	66.80	4.51	276	178.21	47,840	268.45
DEVIATION	2.18	1.38	1.98	-2.42	-0.22	0.78	-0.02	0.78	-0.42	-5.02										
USE VALUE	27.2	26.4	27	22.6	24.8	25.8	25	25.8	24.6	20										

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 28/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	30.1	29.3	28.7	27.8	25.2	24.1	23.7	32.2	30.1	29.8	37.49	360	59.5	30.00	65.10	4.60	297	176.71	50,000	282.95
DEVIATION	1.98	1.18	0.58	-0.32	-2.92	-4.02	-4.22	4.08	1.98	1.68										
USE VALUE	30.1	29.3	28.7	27.8	25.2	24.1	23.7	32.2	30.1	29.8										

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 28/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	28.3	29.1	27.2	26.2	24.2	29.1	30.1	31.2	29.8	28.2	37.77	360	30.00	64.50	4.65	310	176.71	51,120	289.29
DEVIATION	-0.03	0.77	-1.13	-2.13	-4.13	0.72	1.77	2.87	1.47	-0.13	37.77	360	30.00	64.50	4.65	310	176.71	51,120	289.29
USE VALUE	28.3	29.1	27.2	26.2	24.2	29.1	30.1	31.2	29.8	28.2	37.77	360	30.00	64.50	4.65	310	176.71	51,120	289.29

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 28/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	27.9	28.1	28	27.2	26.2	29.2	27.2	29.8	29.2	27.9	37.43	258	30.00	64.00	4.69	318.5	176.71	56,120	317.58
DEVIATION	-0.17	0.03	-0.07	-0.87	-1.87	1.13	-0.87	1.73	1.13	-0.17	37.43	258	30.00	64.00	4.69	318.5	176.71	56,120	317.58
USE VALUE	27.9	28.1	28	27.2	26.2	29.2	27.2	29.8	29.2	27.9	37.43	258	30.00	64.00	4.69	318.5	176.71	56,120	317.58

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 28/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGT H(KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (cm/s)	STRENGT H (KSC)	AREA (cm ²)	UTMAT B LOAD(Kg)	STRENGT H (KSC)
REBOUND NUMBER	28.2	27.9	26.5	26.2	29.2	25.4	28.9	27.2	26.8	25.9		342	58.5	30.10	63.00	4.78	340	178.21	56,280	315.8
DEVIATION	0.98	0.68	-0.72	-1.02	1.98	-1.82	1.64	-0.02	-0.42	-1.32										
USE VALUE	28.2	27.9	26.5	26.2	29.2	25.4	28.9	27.2	26.8	25.9										

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 14 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 28/1/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGT H(KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (µs)	VELOCITY (cm/s)	STRENGT H (KSC)	AREA (cm ²)	UTMAT B LOAD(Kg)	STRENGT H (KSC)
REBOUND NUMBER	30.1	29.8	29.4	29.6	27.2	30.2	29.8	26.2	31.2	32.1		385	60.5	30.00	64.20	4.67	315	176.71	52,180	295.29
DEVIATION	0.54	0.24	-0.16	0.04	-2.36	0.64	0.24	-3.36	1.64	2.54										
USE VALUE	30.1	29.8	29.4	29.6	27.2	30.2	29.8	26.2	31.2	32.1										

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 4/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC					UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	28.2	29	28.4	29.2	29	29.4	29	28.6	28.6	29.6	38.53	370	59.5	30.00	64.50	4.65	310	176.71	56,320	318.71
DEVIATION	-0.7	0.1	-0.5	0.3	0.1	0.5	0.1	-0.3	-0.3	0.7										
USE VALUE	28.2	29	28.4	29.2	29	29.4	29	28.6	28.6	29.6										

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 4/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC					UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	28.6	27.2	27.8	29	28	27.4	28.4	27.4	28	28.2	37.33	358	59.5	30.10	63.80	4.72	326	176.71	57,120	323.24
DEVIATION	0.6	-0.8	-0.2	1	0	-0.6	0.4	-0.6	0	0.2										
USE VALUE	28.6	27.2	27.8	29	28	27.4	28.4	27.4	28	28.2										

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 4/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	27.4	28	28.6	28.2	27.4	28	29	27.8	27.2	28.4			30.10	63.80	4.72	326	178.21	58,120	326.13
DEVIATION	-0.6	0	0.6	0.2	-0.6	0	1	-0.2	-0.8	0.4	37.33	59.2							
USE VALUE	27.4	28	28.6	28.2	27.4	28	29	27.8	27.2	28.4									

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 4/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μs)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	27.4	28	28.6	27.2	28.4	28.2	28.4	28	27.6	28.6			30.00	63.90	4.69	318.5	176.71	58,920	333.43
DEVIATION	-0.64	-0.04	0.56	-0.84	0.36	0.16	0.36	-0.04	-0.44	0.56	37.39	59.6							
USE VALUE	27.4	28	28.6	27.2	28.4	28.2	28.4	28	27.6	28.6									

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 21 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 4/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	28.6	29.6	29.8	28.4	29.8	28.4	29.2	29.8	28.6	29.2	38.85	376	60.1	30.00	64.00	4.69	318.5	176.71	57,920	327.77
DEVIATION	-0.54	0.46	0.66	-0.74	0.66	-0.74	0.06	0.66	-0.54	0.06										
USE VALUE	28.6	29.6	29.8	28.4	29.8	28.4	29.2	29.8	28.6	29.2										

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 11/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	27.8	27.5	21.8	20.9	30.2	30.2	31.1	29.8	27.8	28.2	38.77	376	60.1	30.00	63.10	4.75	334	176.71	60,300	341.24
DEVIATION	0.27	-0.03	-5.73	-6.63	2.67	2.67	3.57	2.27	0.27	0.67										
USE VALUE	27.8	27.5	-	-	30.2	30.2	31.1	29.8	27.8	28.2										

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 11/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	29.2	29.8	27.2	26.5	27.8	28.2	29.1	30.2	31.3	30.2	38.6	374	60	30.00	63.80	4.70	320	176.71	57,000	322.56	
DEVIATION	0.25	0.85	-1.75	-2.45	-1.15	-0.75	0.15	1.25	2.35	1.25											
USE VALUE	29.2	29.8	27.2	26.5	27.8	28.2	29.1	30.2	31.3	30.2											

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 11/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	30.1	28.2	29.8	29.7	31.2	32	29.8	27.2	28.2	30.2	39.52	390	60.5	30.00	64.40	4.66	308.5	178.21	55,280	310.19	
DEVIATION	0.46	-1.44	0.16	0.06	1.56	2.36	0.16	-2.44	-1.44	0.56											
USE VALUE	30.1	28.2	29.8	29.7	31.2	32	29.8	27.2	28.2	30.2											

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 11/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	28.9	27.1	28.2	27.9	28.2	30.2	31.2	33.2	29.8	23.2		384	60.3	30.00	63.30	4.74	330	176.71	59,120	334.56	
DEVIATION	0.11	-1.69	-0.59	-0.89	-0.59	1.41	2.41	4.41	1.01	-5.59	39.21	384	60.3	30.00	63.30	4.74	330	176.71	59,120	334.56	
USE VALUE	28.9	27.1	28.2	27.9	28.2	30.2	31.2	33.2	29.8	-											

MIXED STRENGTH 350 KSC AGES DAY 28 DAYS
 DATE OF CASTED 14/1/96 DATE OF TESTED 11/2/96

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)	
REBOUND NUMBER	26.2	28.2	29.1	28.2	27.8	25	24.9	30.1	31.2	27.2		352	59.1	30.00	62.80	4.78	340	176.71	61,200	346.33	
DEVIATION	-1.59	0.41	1.31	0.41	0.01	-2.79	-2.89	2.31	3.41	-0.59	37.05	352	59.1	30.00	62.80	4.78	340	176.71	61,200	346.33	
USE VALUE	26.2	28.2	29.1	28.2	27.8	25	24.9	30.1	31.2	27.2											

Coring

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE STRENGTH (KSC)	STRENGTH DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	22	21	23.1	22.5	23	21	23	22	22.7	21.2	29.53	242	30.00	120.00	2.50	202	160.56	30,500	189.96
DEVIATION	-0.15	-1.15	0.95	0.35	0.85	-1.15	0.85	-0.15	0.55	-0.95		54							
USE VALUE	22	21	23.1	22.5	23	21	23	22	22.7	21.2									

Coring

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE STRENGTH (KSC)	STRENGTH DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	23	23.1	22.6	22.7	23	22	21	20	23	24.1	29.93	244	30.00	115.30	2.60	212	160.56	33,720	210.01
DEVIATION	0.55	0.65	0.15	0.25	0.55	-0.45	-1.45	-2.45	0.55	1.65		53.6							
USE VALUE	23	23.1	22.6	22.7	23	22	21	20	23	24.1									

Coring

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm ²)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	24	24	23.5	25	25.2	23.5	24	24.2	24.5	24	32.25	280	56.4	30.00	117.60	2.55	207	160.56	34,520	214.99
DEVIATION	-0.19	-0.19	-0.69	0.81	1.01	-0.69	-0.19	0.01	0.31	-0.19										
USE VALUE	24	24	23.5	25	25.2	23.5	24	24.2	24.5	24										

Coring

NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE	STRENGTH (KSC)	DISPERSION (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/s)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm ²)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	23	22	23	23.2	24	24	23.2	22.9	24	20.8	30.68	258	55.2	30.00	111.52	2.69	220	160.56	35,320	219.98
DEVIATION	-0.01	-1.01	-0.01	0.19	0.99	0.99	0.19	-0.11	0.99	-2.21										
USE VALUE	23	22	23	23.2	24	24	23.2	22.9	24	20.8										

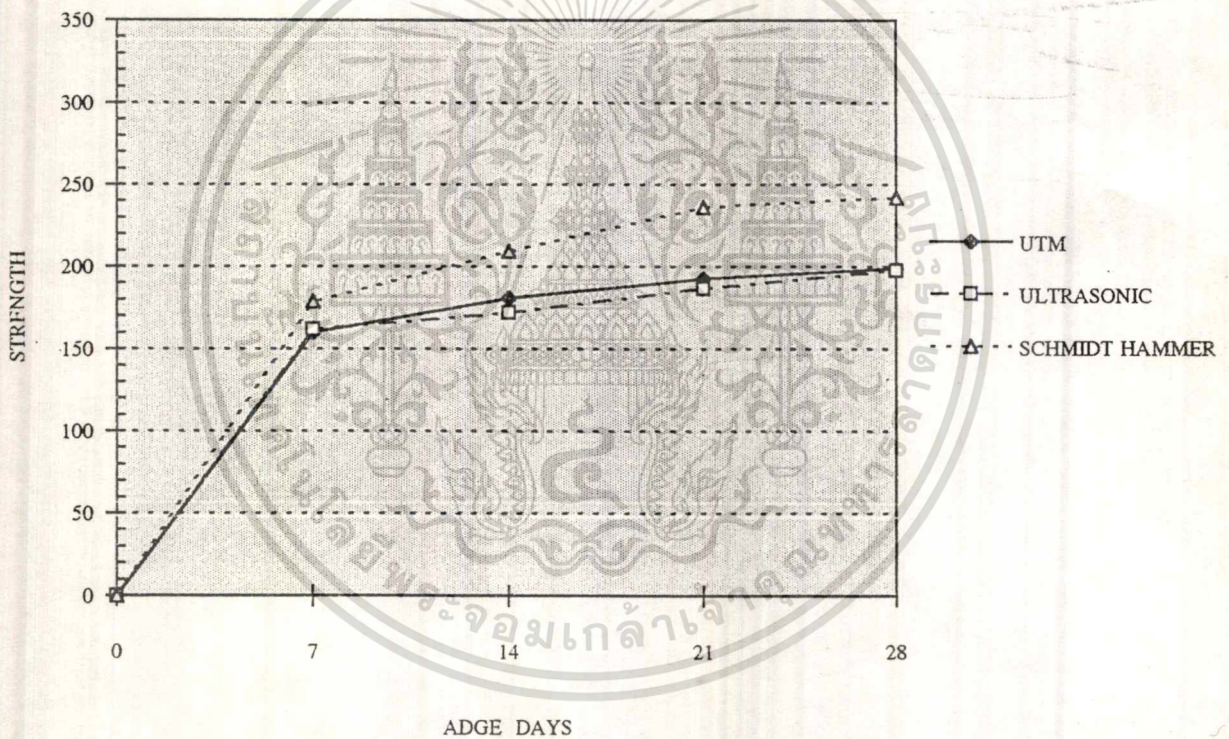
NO.	SCHMIDT HAMMER										ULTRASONIC				UTM					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE (KSC)	STRENGTH (KSC)	DISPERSON (KSC)	LENGTH (cm)	TIME (μ s)	VELOCITY (km/h)	STRENGTH (KSC)	AREA (cm ²)	ULTIMATE LOAD(kg)	STRENGTH (KSC)
REBOUND NUMBER	22	21	23	23.2	22.9	21.8	21.9	22.3	22.4	23	29.8	242	54	30.00	120.97	2.48	200	160.56	33,000	205.53
DEVIATION	-0.35	-1.35	0.65	0.85	0.55	-0.55	-0.45	-0.05	0.05	0.65										
USE VALUE	22	21	23	23.2	22.9	21.8	21.9	22.3	22.4	23										

Coring

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

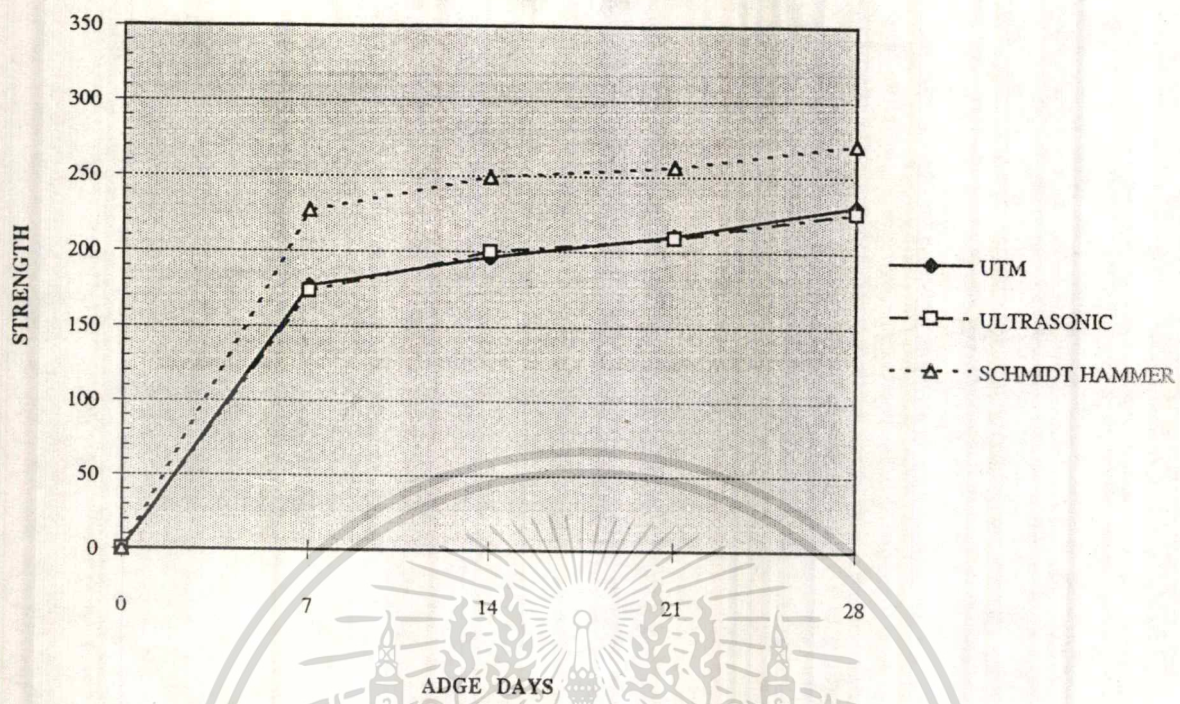
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์

จากผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตตามตารางผลการทดสอบ สามารถนำมาเขียนกราฟ แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 วิธี ที่กล่าวมาแล้วดังนี้ คือ

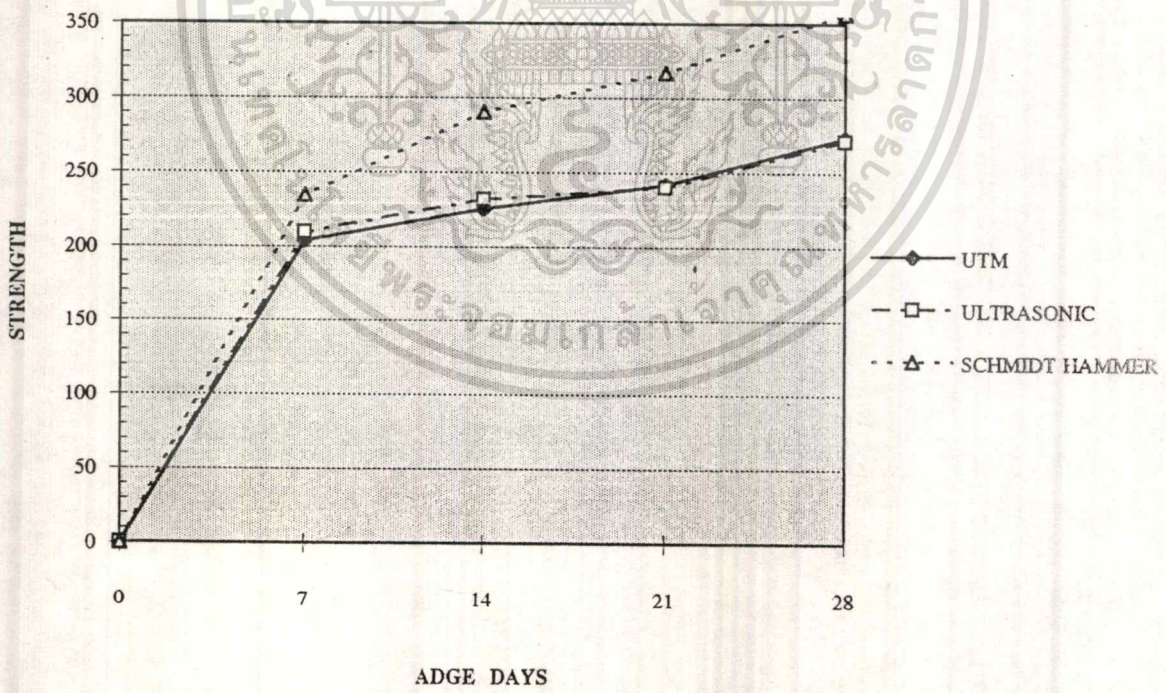


รูปที่ 5.1 กราฟแสดงกำลังอัดคอนกรีตที่ส่วนผสมออกแบบ 210 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

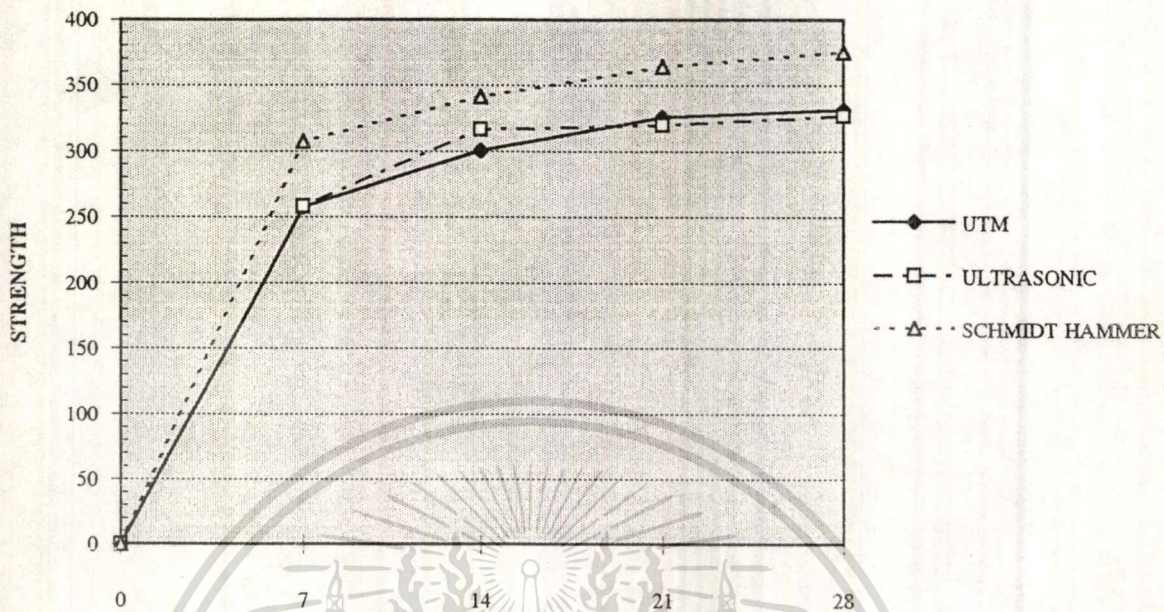


รูปที่ 5.2 กราฟแสดงกำลังอัดคอนกรีตที่ส่วนผสมออกแบบ 240 ksc



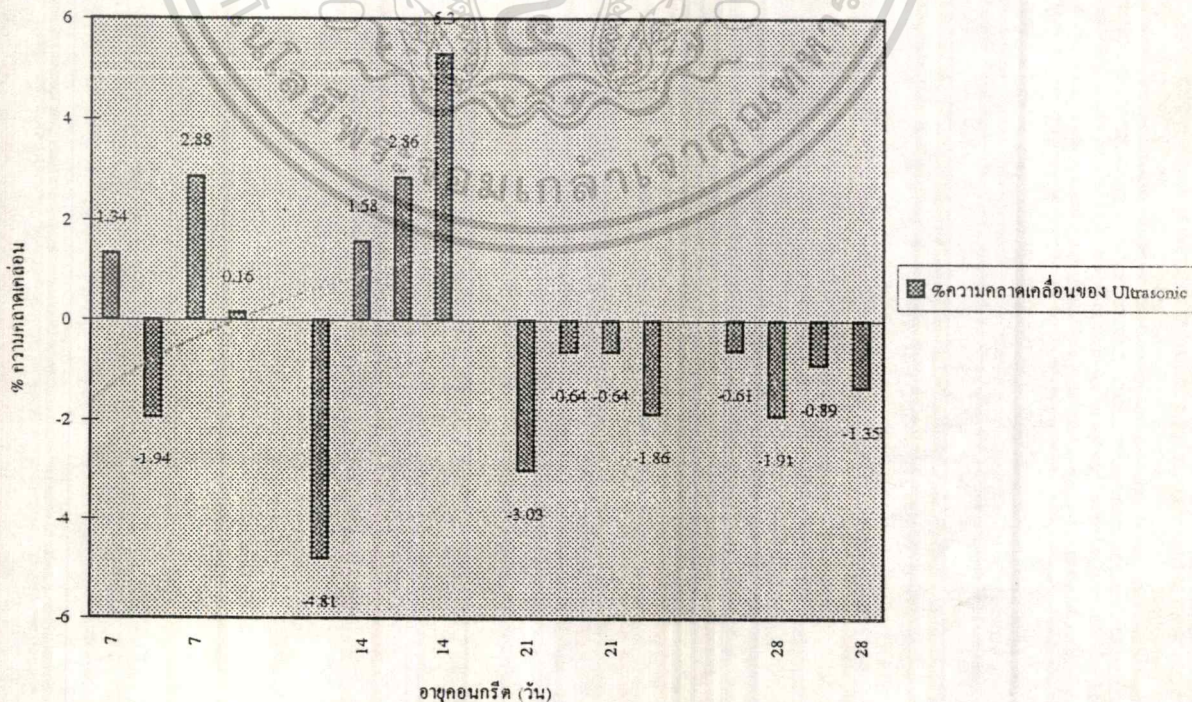
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงกำลังอัดคอนกรีตที่ส่วนผสมออกแบบ 280 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงกำลังอัดคอนกรีตที่ส่วนผสมออกแบบ 350 ksc

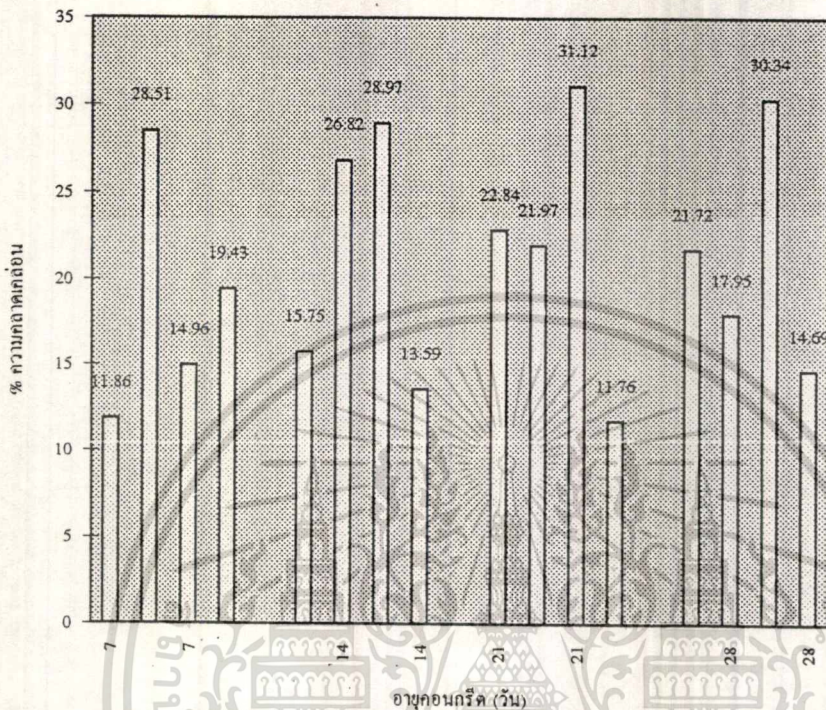
กราฟแสดง % ความคลาดเคลื่อนของการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตโดยคลื่น Ultrasonic เมื่อใช้การทดสอบแบบโดยตรงเป็นมาตรฐาน



รูปที่ 5.5 กราฟแสดง % ความคลาดเคลื่อนของการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตโดยคลื่น Ultrasonic

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดง % ความคลาดเคลื่อนของการทดสอบการรับกำลังอัดคอนกรีตโดยเครื่อง Schmidt Hammer เมื่อใช้การทดสอบแบบโดยตรงเป็นมาตรฐาน



รูปที่ 5.8 กราฟแสดง % ความคลาดเคลื่อนของการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต โดยใช้เครื่อง Schmidt Hammer

1. จากกราฟที่ 5.1 - 5.4 จะเห็นได้ว่า ไม่ว่าจะที่ส่วนผสมออกแบบใด ๆ การวัดกำลังอัดของคอนกรีตโดยวิธีคลื่น Ultrasonic จะได้ผลใกล้เคียงกับการทดสอบแบบโดยตรงมากกว่าโดยวิธีที่ใช้เครื่อง Schmidt Hammer
2. จากกราฟที่ 5.5 และ 5.6 สามารถสรุป % ความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

ที่ 7 วัน ค่า % ความคลาดเคลื่อนของ Ultrasonic อยู่ระหว่าง -2 ถึง 3 %
 ที่ 14 วัน ค่า % ความคลาดเคลื่อนของ Ultrasonic อยู่ระหว่าง -5 ถึง 5 %
 ที่ 21 วัน ค่า % ความคลาดเคลื่อนของ Ultrasonic ประมาณ -3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 28 วัน ค่า % ความคลาดเคลื่อนของ Ultrasonic ประมาณ -2 % โยชนด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

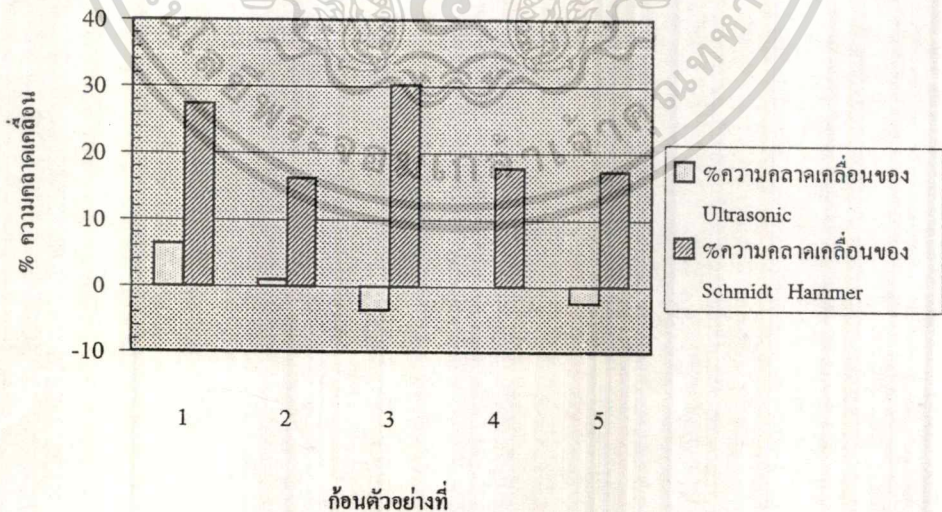
จะเห็นได้ว่า การทดสอบโดย คลื่น Ultrasonic ยิ่งคอนกรีตอายุมาก ช่วง % ความคลาดเคลื่อนก็จะแคบลง และ % ความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยทั้งหมดมีค่าเท่ากับ $\pm 3 \%$

- ที่ 7 วัน ค่า % ความคลาดเคลื่อนของ Schmidt Hammer อยู่ระหว่าง 11 ถึง 28 %
- ที่ 14 วัน ค่า % ความคลาดเคลื่อนของ Schmidt Hammer อยู่ระหว่าง 13 ถึง 28 %
- ที่ 21 วัน ค่า % ความคลาดเคลื่อนของ Schmidt Hammer อยู่ระหว่าง 11 ถึง 31 %
- ที่ 28 วัน ค่า % ความคลาดเคลื่อนของ Schmidt Hammer อยู่ระหว่าง 14 ถึง 30 %

จะเห็นได้ว่า ไม่ว่าจะอายุคอนกรีตจะมากขึ้นหรือไม่ช่วง % ความคลาดเคลื่อนของการทดสอบโดยเครื่อง Schmidt Hammer จะค่อนข้างคงที่ และ % ความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 20 %

3. จากการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการ Coring จะได้ผลดังกราฟ

กราฟแสดง % ความคลาดเคลื่อนของก้อนทดสอบที่ได้จากการ Coring เมื่อใช้การทดสอบแบบโดยตรงเป็นมาตรฐาน



- จากกราฟจะเห็นได้ว่าผลของการ Coring พื้นแผ่นเดียวกันจำนวน 5 ชุด มี
- % ความคลาดเคลื่อนของการทดสอบโดยเครื่อง Ultrasonic เฉลี่ยประมาณ 0.186 %
 - % ความคลาดเคลื่อนของการทดสอบโดยเครื่อง Schmidt Hammer เฉลี่ยประมาณ 19.76 %

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบ โดยการใช้ก้อนตัวอย่างทดสอบจากการ Coring ควรจะมีจำนวนตัวอย่างทดสอบให้มากกว่านี้ เพื่อจะได้มีข้อมูลเพียงพอในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับการรับกำลังอัดของคอนกรีตเพื่อจะได้นำความสัมพันธ์ที่ได้นี้ไปเป็นมาตรฐานในการทดสอบครั้งต่อไป
2. ในการทดสอบแบบใช้แท่งหล่อตัวอย่างจะสามารถนำผล: % ความคลาดเคลื่อนไปใช้ประโยชน์ได้ โดยเป็นข้อมูลอย่างคร่าว ๆ ในการประมาณกำลังอัดของคอนกรีต

:

บทที่ 6

ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง

จากผลการทดสอบหาค่าลึงค์ของคอนกรีตโดยวิธีการทั้ง 3 แบบ คือ โดยเครื่องมือ Schmidt hammer โดยเครื่องมือ Ultrasonic และการทดสอบแบบโดยตรงนั้น ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนออกไป ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้คือ

1. ความเชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือทดสอบ : เช่นในกรณีของการทดสอบโดยเครื่อง Schmidt hammer นั้น ถ้าในขณะที่ทำการกดเครื่องมือลงบนแท่งคอนกรีตทดสอบมีการวางหัวกดไม่ตั้งฉากกับระนาบของผิวแท่งทดสอบแล้ว ค่า rebound number ที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง
2. อัตราส่วนของน้ำที่มืออยู่บนผิวคอนกรีต :
 ในกรณีของเครื่อง Schmidt hammer เมื่อผิวของคอนกรีตชื้นจะมีผลทำให้แรงกระแทกของผิวคอนกรีตลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผิวของคอนกรีตที่แห้ง
 ในกรณีของเครื่อง Ultrasonic เมื่อผิวคอนกรีตแห้งความเร็วเสียงจะมีค่าลดลง
3. ผิวสัมผัส :
 ในกรณีของเครื่อง Schmidt hammer จำนวนครั้งการสะท้อนจะมีค่าลดลงเมื่อกระแทกบนผิวหยาบไม่เรียบ มีความขรุขระ หรือพื้นผิวที่เป็นรูพรุนหรือโพรง และจำนวนครั้งการสะท้อนจะมากขึ้นกว่าปกติถ้าส่วนที่ทำการกระแทกนั้นเป็นส่วนของหิน
 ในกรณีของเครื่อง Ultrasonic ถ้าบริเวณระหว่างโพรบมีรอยแตกร้าว ความเร็วของเสียงจะมีค่าลดลง
4. ในกรณีของเครื่อง Ultrasonic นั้น กราฟระหว่างความเร็วกับค่าลึงค์ของคอนกรีตจะได้จากการทดลอง ซึ่งถ้าการทดลองมีตัวอย่างทดสอบสำหรับนำมาสร้างกราฟเป็นจำนวนมากเพียงพอ กราฟที่ได้ก็จะยังมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก แต่ถ้าจำนวนตัวอย่างทดสอบมีน้อย กราฟที่ได้ก็จะมีความคลาดเคลื่อนออกไป
5. การหล่อ cap หัวแท่งคอนกรีตตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบแท่งคอนกรีตแบบโดยตรงไม่ดีพอ เช่น เกิดโพรงในแผ่นที่ cap หัว หรือ หล่อ cap หัวสองด้านไม่ขนานกัน ซึ่งจะทำให้ผลของค่าลึงค์รับแรงอัดที่ได้ผิดพลาดไป

ภาคผนวก ก

การทดสอบโดยใช้คลื่น Ultrasonic

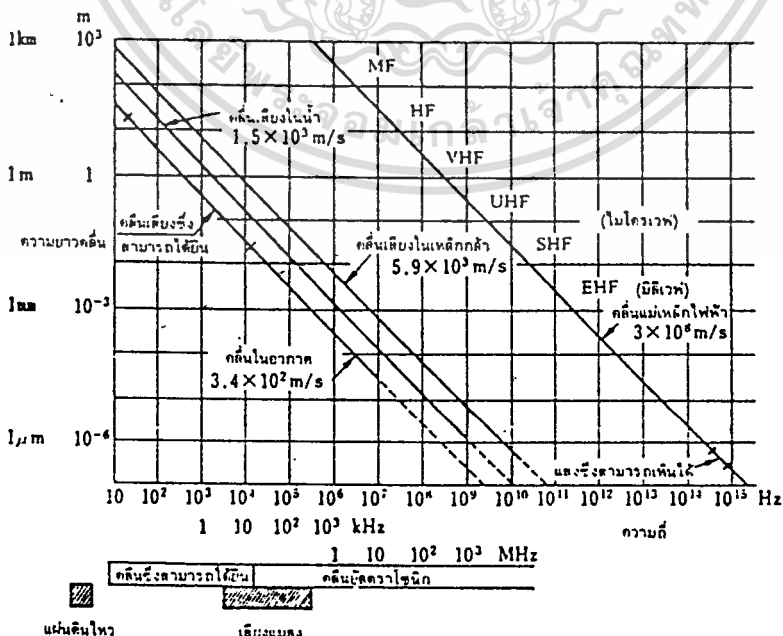
คลื่นเสียง Ultrasonic

คำนิยาม

คำว่าคลื่นเสียง Ultrasonic โดยทั่วไปจะหมายถึง “คลื่นเสียงความถี่สูงซึ่งมนุษย์ไม่สามารถได้ยินได้” สำหรับคลื่นเสียงที่มนุษย์สามารถจะได้อินั้นจะมีความถี่อยู่ระหว่าง 20 - 20,000 Hz (Hz เป็นหน่วยวัดความถี่มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที) แต่ที่ความถี่ 20,000 Hz นั้น คนบางคนอาจจะได้ยินหรือไม่ได้ยินก็ได้ขึ้นอยู่กับอายุและคุณสมบัติส่วนบุคคลอื่นๆ อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปคลื่นเสียง Ultrasonic จะถูกนิยามไว้ว่าเป็น 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 แสดงความถี่และความยาวคลื่นเสียงที่เป็นตัวกลางที่เป็นตัวแทนของก๊าซ ของเหลว และของแข็งซึ่งได้แก่อากาศ (ความเร็วคลื่นเสียง 340 m/s) น้ำ (1500 m/s) และเหล็กกล้า (5,900 m/s) ตามลำดับนอกจากนั้นยังแสดงถึงความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศเพื่อเป็นการเปรียบเทียบด้วยจากรูปกราฟดังกล่าวจะเห็นได้ว่า

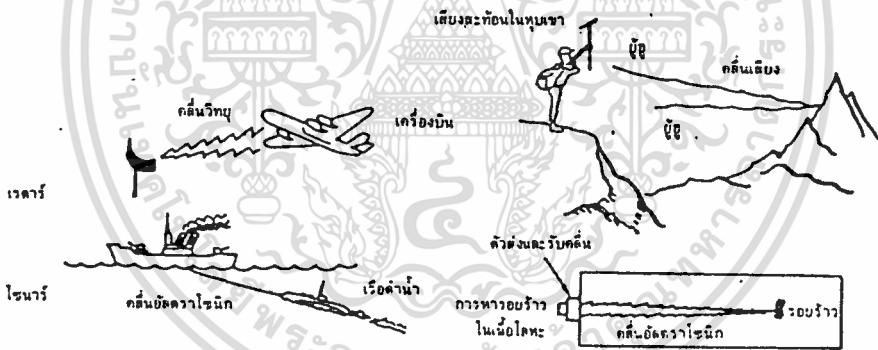
- 1) เมื่อเทียบกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วคลื่นเสียงมีความเร็วช้ากว่ามากในอัตราส่วน (0.5 - 10 x 100,000 เท่า) .
- 2) ดังนั้นคลื่นเสียงจะมีความยาวคลื่นสั้นกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาก
- 3) การที่คลื่นเสียงจะส่งผ่านจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้นั้นจำเป็นจะต้องอาศัยตัวกลางในการส่งผ่าน แต่สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วไม่จำเป็น ถึงแม้ว่าในสุญญากาศคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็ยังส่งผ่านไปได้
- 4) ทั้งคลื่นเสียงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถส่งผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศได้ ยกเว้นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 1,000 kHz ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่น Ultrasonic จะไม่สามารถส่งผ่านตัวกลางอากาศได้
- 5) สำหรับในน้ำ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความถี่ต่ำมากๆ(ต่ำกว่า 30 kHz) จึงจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ แต่สำหรับคลื่นเสียงแล้วสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้โดยง่าย
- 6) สำหรับโลหะ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมากๆหรือกัมมันตรังสีเท่านั้นจึงจะเคลื่อนที่ผ่านไปได้ แต่สำหรับคลื่นเสียงแล้วสามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางโลหะไปได้ดีกว่าและไกลกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย
- 7) ในกรณีของคลื่นเสียงจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายเหมือนอย่างเช่นคลื่นกัมมันตรังสี พวกรังสีเอกซ์ หรือรังสีแกมมา
- 8) พลังงานอันเกิดจากคลื่นเสียง Ultrasonic ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งที่มีชีวิตได้นั้นจะต้องมีค่าเกินกว่า 0.1 W/cm^2 (หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) แต่ว่าพลังงานของคลื่นเสียง Ultrasonic ที่ใช้ทดสอบแบบไม่ทำลายหรือใช้ในทางการแพทย์นั้นจะมีค่าต่ำกว่า 0.1 mW/cm^2 (หน่วยเป็นมิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องห่วงว่าคลื่น Ultrasonic จะมีผลร้ายต่อร่างกายอย่างไร

การใช้ประโยชน์จากคลื่น Ultrasonic

ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้คลื่น Ultrasonic ในอุตสาหกรรมแขนงต่างๆอย่างมากมาย เช่น การล้างทำความสะอาดด้วยคลื่น Ultrasonic (สำหรับชิ้นส่วนนาฬิกา, แวนตา, เครื่องเพชรพลอย และอาหาร ฯลฯ) การใช้คลื่น Ultrasonic ในการผลิต (วัสดุที่แข็งแต่เปราะเช่น พวกเพชร เป็นต้น) การเชื่อมด้วยคลื่น Ultrasonic (สำหรับแผ่นเหล็กบาง, ลวดเส้นเล็กๆหรือในการต่อเชื่อมเส้นลวดในชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์) การใช้คลื่น Ultrasonic ช่วยให้เกิดในการสัน

สะท้อน (เช่น ในการทำให้เกรนของโลหะเล็กลง, การไล่ฟองอากาศ เป็นต้น) ตัวอย่างการใช้งานของคลื่น Ultrasonic ที่ยกตัวอย่างมาทั้งหมดนี้ อาศัยพลังงานที่เกิดจากคลื่นมาใช้ประโยชน์โดยตรง เหมือนกับการนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในลักษณะทางไฟฟ้ากำลัง

นอกจากการนำพลังงานที่เกิดจากคลื่น Ultrasonic มาใช้ให้เป็นประโยชน์โดยตรงแล้ว ยังมีวิธีการอีกอย่างหนึ่งซึ่งใช้คลื่น Ultrasonic เป็นตัวกลางในการตรวจหาข้อมูลหรือข่าวสารของเนื้อวัตถุในตัวกลางคลื่นที่ผ่านไป ซึ่งเปรียบเหมือนการใช้ประโยชน์จากไฟฟ้าในลักษณะของไฟฟ้าสื่อสาร ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการนำเอาคลื่น Ultrasonic มาใช้ประโยชน์ในทางทหารตั้งแต่ก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยทหารเรือ ซึ่งจะใช้เครื่องมือนี้ในการค้นหาตำแหน่งของเรือดำน้ำของศัตรู (ในลักษณะเดียวกับการค้นหาตำแหน่งของเครื่องบินโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในเรดาร์) ตัวอย่างของการใช้คลื่น Ultrasonic ในการหาตำแหน่งของเรือดำน้ำ หรือการหารอยร้าวในเนื้อวัตถุ อาศัยหลักการเดียวกันหมดคือ การสะท้อนกลับของคลื่น สำหรับเครื่องมือสำหรับตรวจจับวัตถุซึ่งอยู่ใต้น้ำเช่น เครื่องตรวจจับเรือใต้น้ำ เครื่องมือตรวจหาฝูงปลา เครื่องวัดความลึกของท้องทะเล และเครื่องตรวจชั้นดินใต้สมุทรเหล่านี้ จะถูกเรียกรวมๆ กันว่า เครื่องโซนาร์ (Sonar) (ดูรูปที่ 2ก)



รูปที่ 2ก การหารอยร้าวในเนื้อของโลหะด้วยคลื่น Ultrasonic มีหลักการเหมือนกับ เรดาร์ และโซนาร์

หลักการ

ความเร็วของคลื่น Ultrasonic ที่เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางที่เป็นของแข็ง จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น (Density) ความยืดหยุ่น (Elastic properties) ของวัสดุนั้นๆ

คุณภาพของวัสดุในบางครั้งมีความสัมพันธ์กับความยืดหยุ่นในวัสดุที่แข็งแรงแรง ดังนั้นการวัดความเร็วของคลื่น Ultrasonic ในวัสดุเช่นนี้จึงสามารถใช้เป็นดัชนีตัวชี้ถึงคุณภาพ

ของวัสดุในทางอ้อมเหมือนกับการวัดความยืดหยุ่นของวัสดุโดยตรง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่สามารถใช้คลื่น Ultrasonic นี้ในการทดสอบ ได้แก่ คอนกรีต ท่อนไม้ (Timber)

หลักการทดสอบโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการทดสอบคอนกรีตกับทดสอบโลหะจะแตกต่างกันในการทดสอบโลหะส่วนมากจะศึกษาเกี่ยวกับการหาตำแหน่งซึ่งผิดปกติภายในเนื้อโลหะ ซึ่งจะส่งคลื่นเข้าไปแล้วตรวจรับคลื่นที่สะท้อนกลับ โดยใช้หลักการสะท้อนกลับของคลื่น Echoes back แล้วตรวจจับด้วยตัวรับ เวลาที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าไปแล้วสะท้อนกลับออกมาสามารถที่จะคำนวณหาตำแหน่งที่ผิดปกติขึ้นในเนื้อโลหะได้

แต่หลักการนี้ไม่สามารถที่จะนำมาทดสอบพวกวัสดุที่เป็นของผสม (Heterogeneous) อย่างเช่นพวกคอนกรีตถ้าใช้หลักการสะท้อนกับพวกวัสดุพวกคอนกรีตจะเกิดการสะท้อนภายในเนื้อวัสดุเหล่านั้น ซึ่งมีความต่างเฟส และมีรอยต่อของวัสดุนั้นมากมายทำให้คลื่นที่สะท้อนออกมามีหลายทิศทางไม่แน่นอน

1) ความเร็วของคลื่น Ultrasonic ในวัสดุ (Velocity of longitudinal pulses in elastic solids)

คลื่น Ultrasonic เป็นคลื่นตามยาว ความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปในตัวกลางวัสดุ สามารถเขียนความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

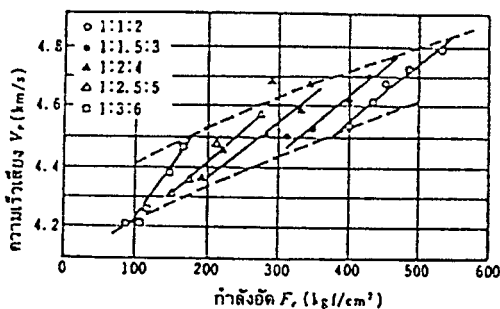
$$V = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

โดย E = ค่ายังโมดูลัส (Dynamic Elastic Modulus)

ρ = ค่าความหนาแน่น (Density)

ν = ค่าปัวซอง (Dynamic Poisson's Ratio)

กำลังต้านทานแรงอัดสามารถประมาณได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเสียงกับกำลังต้านทานแรงอัด ซึ่งสร้างไว้ล่วงหน้าดังตัวอย่าง รูปที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3 ก ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความเร็เสียง นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความถี่ของคลื่น (Frequency of pulse vibration)

ความถี่ของคลื่นที่ใช้ในการทดสอบคอนกรีตจะมีค่าน้อยกว่าความถี่คลื่นที่ใช้ในการทดสอบโลหะซึ่งต้องใช้ความถี่สูง และมีช่องที่คลื่นผ่านแคบเล็กมากกว่าตัวส่งคลื่น แต่ถ้าใช้คลื่นความถี่สูงมาทดสอบคอนกรีตจะทำให้เกิดสัญญาณลดทอนมากเมื่อผ่านวัสดุทดสอบที่เป็นคอนกรีต

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

3) วิธีทดสอบ (Method of testing)

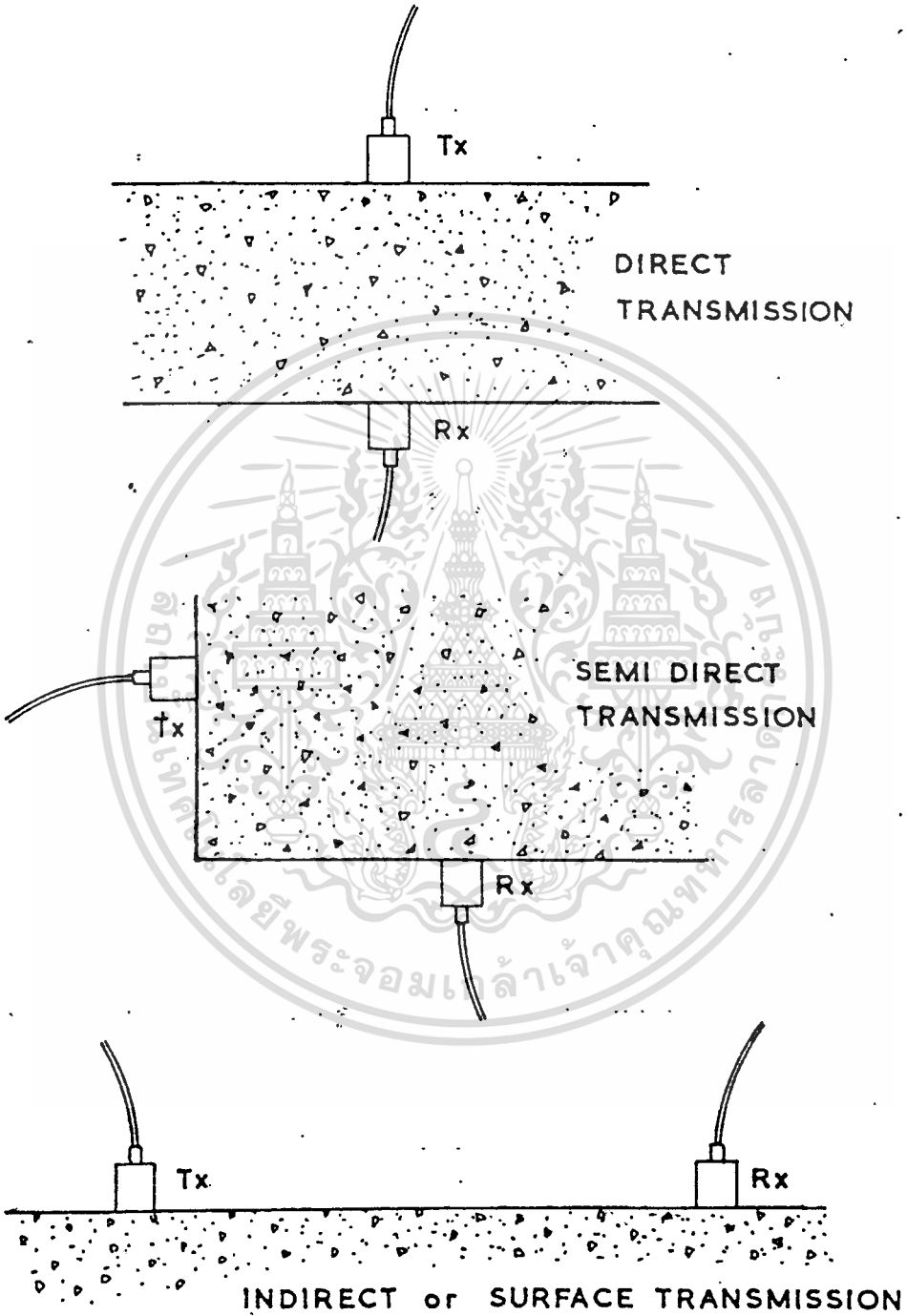
ในการทดสอบคุณภาพของวัสดุด้วยคลื่น Ultrasonic จะวัดให้ได้ความแม่นยำจำเป็นที่จะต้องเลือกตัวกำเนิดคลื่นที่ดี และสามารถวัดเวลาของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่ทดสอบได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เมื่อทราบค่าระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางก็จะได้ความเร็วคลื่นจากสมการ

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

ค่าระยะทางและเวลาควรวัดให้ได้ความแน่นอนคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 1%

เครื่องมือวัดและบอกค่าเวลาจะทำการบอกค่าเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่จากตัวส่งผ่านตัวกลางจนกระทั่งถึงตัวรับคลื่น ค่าจะถูกต้องเมื่อเลือกวางตัวรับและตัวส่งคลื่นในตำแหน่งที่เหมาะสมบนผิวของวัสดุที่ทดสอบซึ่งสามารถจัดตำแหน่งในการวัดได้หลายรูปแบบ ดังนี้

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 4ก รั้น แสดงวิธีการจัดตำแหน่งในการวัดความเร็วแบบต่างๆ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคอนกรีตโดยคลื่นอัลตราโซนิคชนิด Pundit

1. ลักษณะทั่วไป

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

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

สัญญาณ pulse ของตัวกำเนิดคลื่นสามารถเลือก EHT โวลต์แดงได้ 1200 v หรือ 500 v โดยการทำการเลือกสวิตช์ที่อยู่ด้านหลังของเครื่อง โดยทั่วไปในการทดสอบถ้าคอนกรีตมีขนาดยาวช่วงระยะที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านมีค่ามากควรเลือก 1200 v แต่ถ้าต้องการจะตรวจหาจุดรอยแตกร้าวที่มีขนาดเล็กๆควรเลือก EHT 500 v จะมีค่าความถี่ของคลื่นสามารถส่งออกไปซ้ำกันหลายครั้ง ความถี่ที่ส่งเลือกได้ 2 อย่าง คือ 10 pps หรือ 100 pps โดยทำการเลือกสวิตช์ที่อยู่ด้านหลัง ค่า 100 pps ควรเลือกเมื่อเครื่องวัดนั้นถูกใช้ร่วมกับ p&s Transducer และจอสโคป (cro) หรือสำหรับเมื่อเชื่อมโยงสัญญาณกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง RS 232 LCD จะแสดงค่าการอ่านเร็วขึ้นเป็น 2 เท่าเมื่อเทียบกับ 10 pps แต่อย่างไรก็ตาม RS 232 สามารถทำงานได้ในช่วง 2 pps ถึง 20 pps ขึ้นอยู่กับการเลือก PRF

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

ถ้าต้องการนำเครื่องมือวัด Pundit ไปใช้ในภาคสนามสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ NiCd ซึ่งทำการชาร์จไฟ 12 ชั่วโมงต่อเนื่องเมื่อต้องการใช้ที่เครื่องวัดจะมีตัวตรวจสอบสภาพของแบตเตอรี่ถ้าไฟใกล้หมดจะมีสัญญาณจาก LCD กระพริบให้เห็นโดยมีความถี่ 1 ครั้งต่อ วินาที ถ้าเครื่องมือวัดใช้กับไฟกระแสสลับ AC ตามบ้านต้องการจะชาร์จถ่านให้

หมุนสวิตช์ไปที่เครื่องหมาย CH โดยสังเกตเครื่องหมายได้ที่หน้าเครื่องแล้วปล่อยทิ้งไป 16 ชั่วโมง สัญญาณ Pulse ที่ส่งออกไปจะมีคาบเวลาเท่ากับสัญญาณเวลาของจุด Analog Voltage โดยมีสัดส่วนแปลงตามสัญญาณเวลา ทำการต่อ Out Put ของ Unit ควรเลือก PRF ไปที่ 10 pps

ถ้าต้องการดูรูปสัญญาณ เช่น Transittime , pulse waveform หรือ สัญญาณลดทอน สามารถทำได้โดยต่อจุด CRO โดยใช้สายสัญญาณแบบ BNC เข้าสโคป 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

วงจรถิอิเล็กทรอนิกส์เป็นแบบ High-Speed จาก IC (CMOS) ส่วนวงจรมันประกอบด้วยส่วนที่ใช้ในการทำ EHT Pulse Generator และวงจรถิขยายส่วนรับสัญญาณ จะประกอบอยู่กับแผงวงจรที่ติดอยู่กับฐานที่เป็น PVC ยึดกับอะลูมิเนียมและเหล็กเป็นกล่อง

3. Transducer and leads (ส่วนตัวรับและตัวส่งคลื่น)

ตัว Transducer ภายในเป็น lead ziconate (PZT4) Ceramic piezo มีส่วนที่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งอยู่ในโดยมีวัสดุสแตนเลสเป็นที่บรรจุอยู่ภายนอก องค์ประกอบนี้จะติดยึดอยู่ส่วนผิวหน้าด้านในที่บรรจุ ซึ่งคลื่นอัลตราโซนิคสามารถส่งผ่านได้โดยมีประสิทธิภาพสูง ทรานควิวเซอร์นี้มีรูปร่างแข็งแรงที่สามารถทนกับผิววัสดุทดสอบที่ขรุขระเมื่อตัวกำเนิดคลื่นส่งสัญญาณกระตุ้นมาที่ตัวทรานควิวเซอร์จะเกิดการสั่นจากความถี่ที่สร้างเอาไว้ ซึ่งความถี่นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและคุณสมบัติภายในของตัวทรานควิวเซอร์ ถ้าขนาดของ Piezo electric ต่างกันความถี่ที่ให้ออกมาก็จะต่างกันไปด้วย

ตัวทรานควิวเซอร์แต่ละตัวจะยึดติดกับสายเคเบิลโดยมีเชื่อมต่อกันด้วย Socket ควรคำนึงถึงความยาวของสายเคเบิลที่ต่อดังนี้เพราะจะทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณและเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่จะมากขึ้นแต่ปัญหาความยาวของสายเคเบิลสามารถแก้ไขได้โดยการทำ RE-Zerode เช่น ถ้าสายเคเบิลทางด้านตัวส่งและตัวรับยาวข้างละ 30 เมตร ควรจะทำไว้ 0.8 μsec

4. บทสรุปคุณสมบัติเฉพาะเครื่องมือวัด Pundit Transit Time Measurement Range

ความสามารถในการวัดเวลาในการเคลื่อนที่ของคลื่นในวัสดุทดสอบเลือกได้ 2 ช่วงของขนาดหน่วยคือ 0.1 μsec หรือ 1 μsec

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

ความแม่นยำ $\pm 0.1 \mu\text{sec}$ (จะสามารถเลือกความยาวทดสอบได้ 400 mm) ถ้า Over Range เกินขนาดจะมีสัญญาณบอกขึ้นที่หน่วยแสดงผล LCD ทั้งสามหลัก ถ้าเกิด Lost Signal ไม่มีสัญญาณเข้าหน่วยแสดงผลจะว่าง INPUT SENSITIVITY (ความไวในการรับสัญญาณเข้า 250 μVolt ในช่วง 5 kHz ถึง 1 MHz ถ้าสัญญาณภายนอกมีความถี่ไม่อยู่ในช่วงนี้ค่าความไวของภาครับจะลดลง IMPEDANCE 500 k Ω (กิโลโอห์ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไปว่ากรณีใดบ้าง สิ่งนี้ช่วยให้ลดแรงบิด และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRANSMITTER (ตัวส่งคลื่น) สามารถเลือกขนาดสัญญาณในการส่งได้ 2 ช่วง คือ 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 μ sec

PRF สามารถเลือกได้ 2 ช่วงคือ 10 PPS และ 100 PPS

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

บ้าน 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
Data bit 8
Stop bit 1

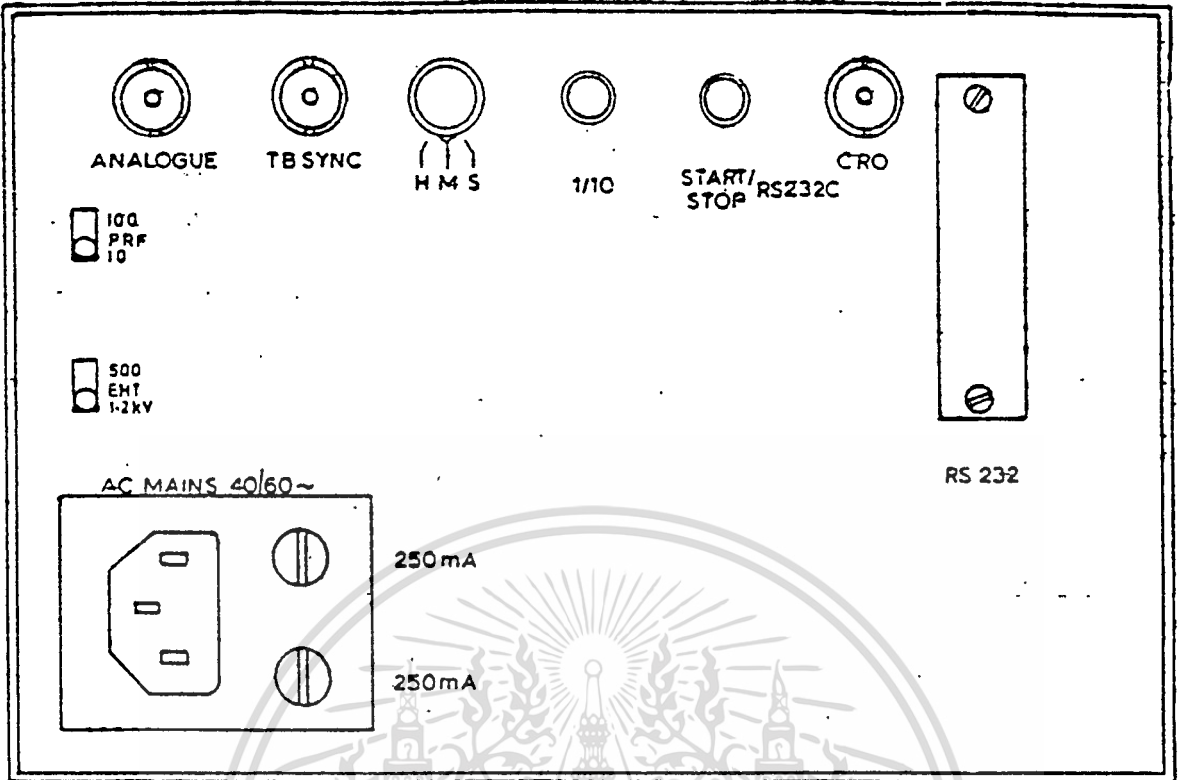
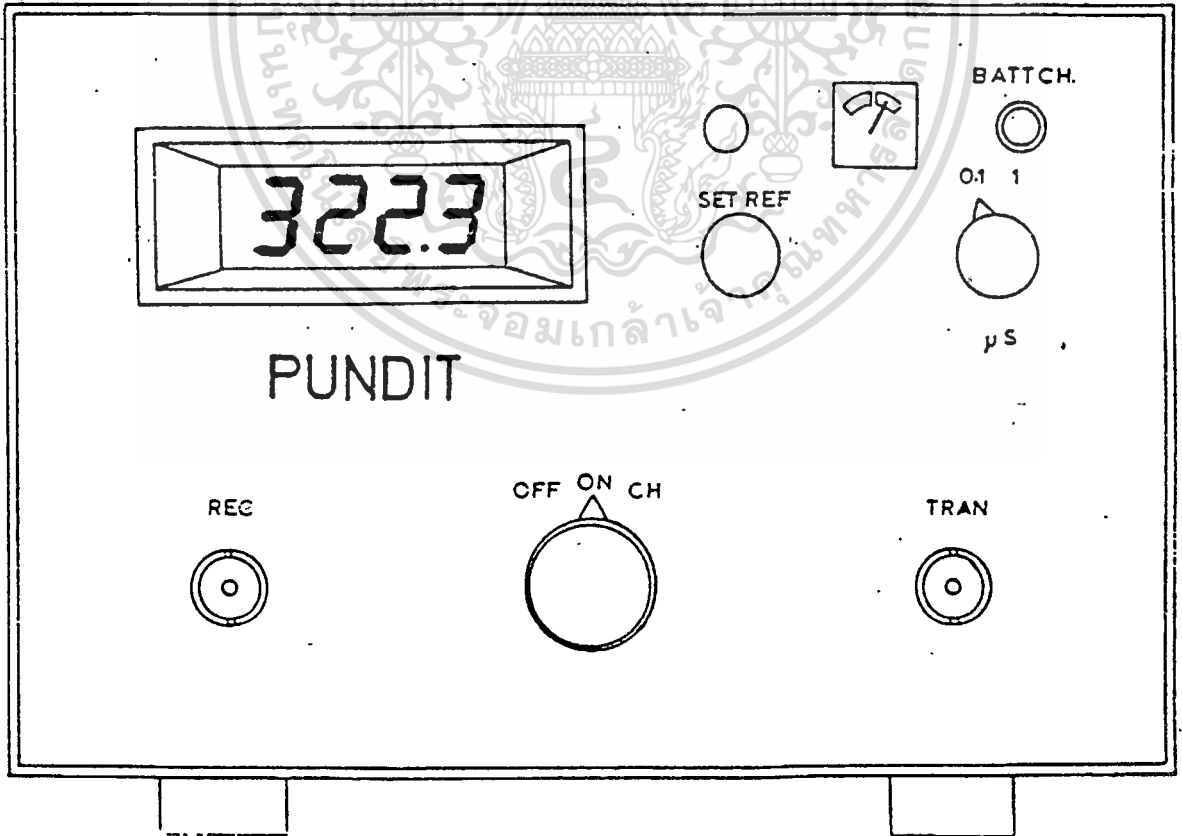


Fig. 3



รูปที่ 5ก แสดงภาพด้านหน้า ด้านหลังของเครื่อง PUNDIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คำสั่งในการดำเนินการ (Operating Instruction)

5.1 Front panel (ด้านหน้าของเครื่อง) จะมีปุ่ม Power ON Switch

(เปิด,ปิด)

- โดยจะมีตำแหน่งสวิตช์หมุนเลือกได้ 3 ตำแหน่งคือ OFF , ON , CH เมื่อต่อไฟ AC เข้ากับเครื่องวัดแล้วให้หมุนสวิตช์มาที่ ON เมื่อต้องการเปิดเครื่องวัด ถ้าหมุนสวิตช์เลือกไปที่ CH เพื่อต้องการชาร์จไฟให้กับ แบตเตอรี่ ช่วงนี้เครื่องวัดจะไม่ทำงานถ้าสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง ON แต่ไม่ได้ ต่อไฟ AC เครื่องจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในการทำงาน

Neon Indicating lamp

- เมื่อใช้ไฟ AC จะมีสัญญาณไฟจากหลอดนีออนติดให้เห็น

Red Led

- เมื่อชาร์จไฟเต็มที่แล้วจะมีไฟจาก LED สีแดงติดให้เห็น

Range Switch

- สามารถเลือกได้ 2 ช่วง คือ 0.1 μsec และ 1 μsec

Set Reference

- เมื่อใช้เวลาในการควบคุม การทำงานของระบบเพื่อใช้ในการวัดค่า Transit time

REC. Socket

- เป็นจุดต่อระหว่าง ตัวรับคลื่น กับ เครื่องมือวัดเพื่อรับสัญญาณเข้า

TRAN. Socket

- เป็นจุดต่อระหว่างตัวส่งคลื่น กับ เครื่องมือวัดเพื่อส่งสัญญาณไปกระตุ้นตัวทรานซิสเตอร์ให้ สั่นและส่งคลื่นออกไป

Meter Indicator

- เป็นตัวชี้แสดง สภาวะของแบตเตอรี่ liquid Crystal Display (LCD) เป็นหน่วยแสดงผล

- เพื่อบอกค่าของ Transit time สามารถบอกเป็นตัวเลขได้ 4 หลัก

- เพื่อบอกสถานะของ Over Range
- เพื่อบอกสถานะไม่มีสัญญาณไฟเข้า
- เพื่อบอกสถานะของ แบตเตอรี่ ว่าไฟหมด โดยจะกระพริบ 1 ครั้งต่อวินาที

5.2 Rear Panel (แผงหน้าปัดด้านหลัง)

- ปลั๊กเสียบ 3 ทาง เพื่อต่อไฟฟ้ากระแสสลับ AC เข้าเครื่องวัด
- 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 Transit time ในรูป Analogue
- CRO BNC Socket รับสัญญาณและส่ง Output ไปที่ CRO (สโคป) “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. Instrument fuse (upper)
- 250 mA fuse (ฟิวส์) ขนาด 20 mm. mains fuse (lower) *

5.3 สายไฟเข้าเครื่องวัด

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเร็วเสียง

(1) ชนิด ถ.พ. เนื้อหิน ของวัสดุ โครงสร้าง : มีอิทธิพลต่อความเร็วเสียง

(2) การผสม : แม้ความเร็วเสียงจะคำนวณเท่ากันก็ตามแต่ ถ้าเป็นคอนกรีตผสมเต็ม กำลังต้านทานแรงอัดจะมาก ถ้าเป็นคอนกรีตผสมอ่อน กำลังต้านทานแรงอัดจะน้อยลง

(3) อายุคอนกรีต : ถ้าคอนกรีตมีอายุมากกว่า 3 เดือนขึ้นไป อัตราการเพิ่มความเร็วยังจะน้อยลง เมื่อเทียบกับความแข็งที่เพิ่มขึ้น และถ้าความแข็งแรงไม่เพิ่มขึ้น ความเร็วเสียงก็จะลดน้อยลง

(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 : ถ้าตำแหน่งการวัดความเร็วเสียงขนานกับเหล็กเสริมในคอนกรีต จะทำให้ความเร็วเสียงมากขึ้น

6) คุณสมบัติพิเศษของการทดสอบด้วยคลื่น Ultrasonic

ข้อดี : (1) วิธีการวัดและการใช้งานง่าย

(2) สามารถเพิ่มจุดตรวจวัดได้ง่าย

(3) ไม่จำเป็นต้องซ่อมแซมจุดที่ทำการตรวจวัด

ข้อเสีย : (1) ความเร็วเสียงเปลี่ยนแปลงได้มากตามเงื่อนไขและชนิดของคอนกรีต

(2) เครื่องมือทดสอบมีราคาแพง

(3) ต้องใช้ความชำนาญของผู้ใช้เครื่องมือมากเป็นพิเศษ

(4) กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว กับ กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตแต่ละชนิดทำการสร้างมาได้ยาก

ภาคผนวก ข

การทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตโดยเครื่องมือ Schmidt hammer

เครื่อง Schmidt hammer เป็นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในปี 1948 และมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะเครื่องมือชนิดนี้ไม่มีความซับซ้อนมากนัก การทดสอบจะทำการวัดการสะท้อนกลับของคลื่นเหล็กกล้าที่กระทบกับคอนกรีตโดยอาศัยสปริง เนื่องจากไม่มีความสัมพันธ์ในทางทฤษฎี ความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนกลับของคลื่นเหล็กกับความแข็งแรงของคอนกรีตจึงได้จากการทดลอง 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	แบบจำนวนครั้งการสะท้อนโดยตรง
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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตโดยเครื่องมือ Schmidt hammer ชนิด N

สำหรับเครื่อง Schmidt hammer ชนิด N (พลังงานการอัด = 0.225 mkg) ใช้สำหรับทดสอบคอนกรีตในอาคาร และสะพานปกติทั่วไป ใช้สำหรับทดสอบคอนกรีตในโครงสร้างที่ทำการก่อสร้างเสร็จสิ้นแล้ว โดยการทดสอบจะเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย เมื่อเราทำการทดสอบนั้น จำนวนครั้งของการสะท้อนจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของมอร์ต้า (คอนกรีตที่ไม่มีส่วนผสมของวัสดุหยาบ) ซึ่งความแข็งแรงของมอร์ต้าหมายถึงความแข็งแรงของคอนกรีตด้วย ข้อดีของการทดสอบแบบนี้ คือ สามารถทำการทดสอบได้ในเวลาอันรวดเร็ว และสามารถพิจารณาคุณสมบัติของคอนกรีตได้ในส่วนของโครงสร้างที่แตกต่างกันไปโดยไม่ต้องทำลายโครงสร้าง แต่วิธีการทดสอบแบบนี้ก็ได้ผลคลาดเคลื่อนจากการทดสอบแบบทำลายโดยตรงไปบ้าง

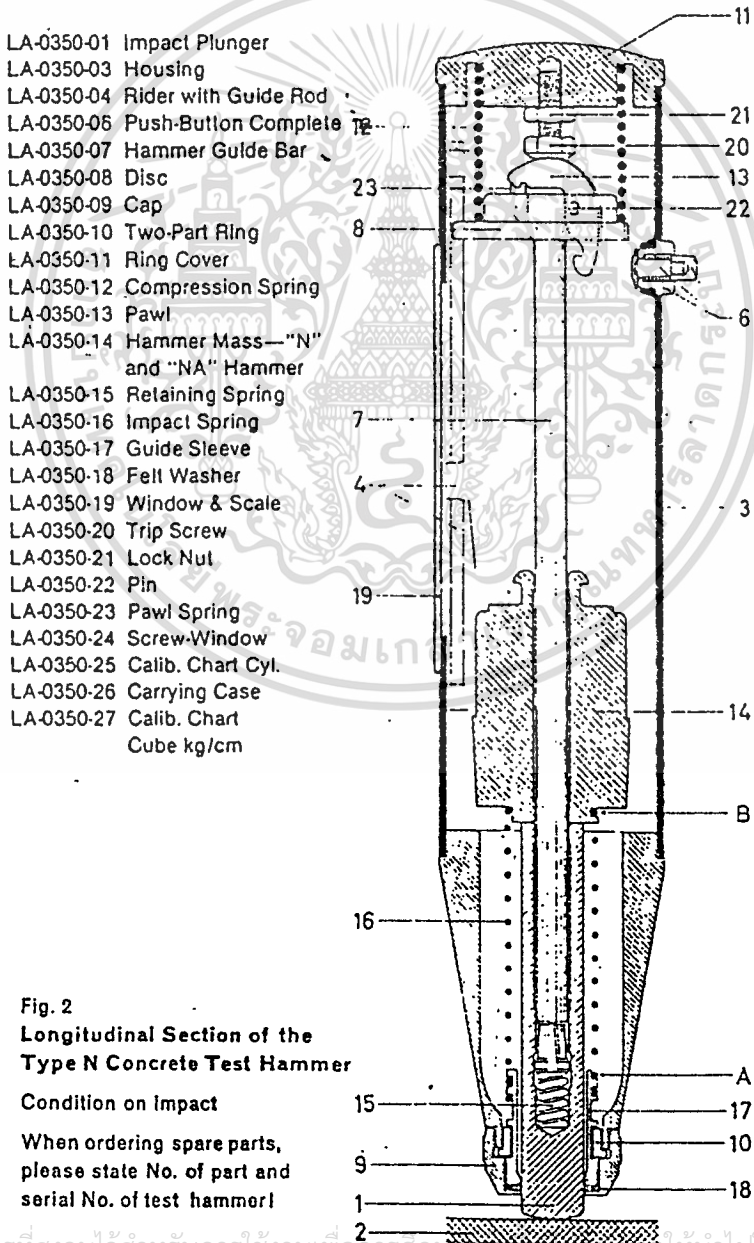


Fig. 2
**Longitudinal Section of the
 Type N Concrete Test Hammer**
 Condition on Impact
 When ordering spare parts,
 please state No. of part and
 serial No. of test hammer!

1. เมื่อทำการกดเบา ๆ ที่หัวกด plunger (1) ตัว plunger จะเคลื่อนที่ออกด้วยตัวของมันเองจากเปลือกที่หุ้มอยู่ (3)
2. ตัว plunger จะถูกกดลงบนผิวคอนกรีต ณ จุด ๆ หนึ่ง เพื่อทำการทดสอบ แล้วตัว plunger ก็จะถูกกดเข้าไปอยู่ให้เปลือกหุ้ม (3) ทั้งหมด ฉ็อนจะถูกทำให้ออกมา ซึ่งมีผลมาจากการเพิ่มความดันอย่างช้า ๆ ให้กับเปลือกหุ้ม ในขณะที่ทำการกระแทก ฉ็อนจะต้องถืออยู่ในมุมที่ถูกต้อง (มุมที่ฉ็อนกระทำต่อพื้นผิวที่ทำการกระแทก) ระวังอย่าสัมผัสกับปุ่มกด (6)
3. หลังจากทำการกระแทก ฉ็อนจะสะท้อนกลับขึ้นมา โดยมีจำนวนครั้งที่แน่นอนซึ่งจำนวนนั้นจะปรากฏบน scale (19) โดยเข็มวัด (4) จะเป็นตัวชี้ค่า ค่าที่อ่านได้จากตำแหน่งของเข็มวัดจะบอกถึงค่าการสะท้อนกลับเป็นเปอร์เซ็นต์ของการเคลื่อนที่ของฉ็อน
4. เมื่อนำฉ็อนออกจากจุดที่ทำการทดสอบ หลังจากทำการทดสอบแล้ว แท่งกด (1) รวมทั้งตัวบังฉ็อน (7) และฐาน (8) จะถูกล็อคตามสภาพครั้งหลังสุด โดยปุ่มกด (6) การล๊อคนั้นจะกระทำหลังจากทำการกระแทกแล้ว และยังไม่ได้ออกตัว plunger ขึ้นมา และที่ล๊อคนั้นก็มิได้ไว้สำหรับทำการล๊อคค่าการสะท้อนที่อ่านได้ในครั้งท้ายสุด
5. ฉ็อนที่ทำการทดสอบนี้จะถูกใช้ในการวัดขนาดการกระแทกในแนวนอน สำหรับการทดสอบในแนวตั้งหรือเอียง ค่าการสะท้อนที่ได้จะต้องปรับแก้ให้เหมาะสมตามตาราง

ข้อกำหนดเกี่ยวกับความแข็งแรงของคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก

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

2. การเตรียมตำแหน่งที่จะใช้ทดสอบ : ก่อนที่จะทำการทดสอบ วัสดุที่ใช้ฉาบหรือคลุมต่าง ๆ ควรจะนำออกไปเสียก่อน สำหรับพื้นผิวที่ไม่เรียบสม่ำเสมอควรจะทำให้เรียบสม่ำเสมอก่อน พื้นผิวด้านบนสุดของคอนกรีตเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมแก่การทดสอบถ้าได้มีการนำซีเมนต์ที่ทำการฉาบออกไปแล้ว ซึ่งข้อนี้ควรจะได้รับคำแนะนำเป็นพิเศษ สำหรับคอนกรีตที่เก่า (อายุมากกว่า 6 เดือนขึ้นไป) พื้นผิวที่แข็งมากเกินไปบางชั้นควรทำการกระเทาะออกโดยมีความลึกประมาณ 5 มิลลิเมตร (1/4 นิ้ว) โดยอาจจะใช้เครื่องขัดแบบใช้มือที่มีน้ำหนักเบาและความเร็วสูง (กำลังโดยประมาณ 150 วัตต์ , ความเร็วโดยประมาณ 600 รอบ

น้ำหนักเบาและความเร็วสูง (กำลังโดยประมาณ 150 วัตต์ , ความเร็วโดยประมาณ 600 รอบต่อนาที) โดยมี cup wheel เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว สำหรับพื้นที่ที่จะทำการทดสอบนั้นควรจะมีควมกว้างสำหรับการทดสอบ 5-10 จุด ที่จะทำการกดทดสอบ และจะต้องเป็นผิวมอร์ดีด้าโดยไม่กระทบกับส่วนที่เป็นส่วนผสมหยาบ ซึ่งควรมีพื้นที่ 4x4 นิ้วโดยประมาณถึงจะเพียงพอ หรือมีเส้นผ่านศูนย์กลาง อย่างน้อย 6 นิ้ว (150 มิลลิเมตร) สำหรับคอนกรีตที่จะนำมาเปรียบเทียบกัน ควรจะมีอายุและสภาพความชื้นที่ใกล้เคียงกัน สำหรับคอนกรีตที่แห้งนั้นจะให้ค่าการสะท้อนกลับมากกว่าคอนกรีตที่เปียกชื้น และพื้นผิวที่เป็นชั้นของ carbonated ก็จะให้ค่าการสะท้อนกลับที่สูงกว่าด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงควรทำการผึ่งคอนกรีตทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงก่อนทำการทดสอบเพื่อทำให้ผิวคอนกรีตแห้ง

3. ทำการทดสอบพื้นที่ๆเตรียมไว้ 5-10 จุด โดยใช้ระดับระนาบแนวนอนของแกนเครื่องเป็นมาตรฐาน ในกรณีกระแทกแนวล่างปรับค่าบวก ในกรณีกระแทกแนวนอน ปรับค่าลบ (ดูตารางที่ 2ข ประกอบ) อ่านค่า β ที่ได้แต่ละครั้งที่ทำการทดสอบ นำค่าที่ได้มาอ่านจากกราฟ ถ้าค่าที่อ่านได้มีค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยอื่น ๆ มากกว่า 5 หน่วย ก็ให้ตัดค่านั้นทิ้งและให้ใช้ค่าจากการทดสอบในครั้งต่อไป ซึ่งเหตุการณ์นี้มักจะเกิดจากการที่เราทำการกระแทกไปโดนส่วนผสมหยาบเข้าหรือโดนพื้นผิวที่เป็นรูพรุน และค่า β ที่ได้นี้เรียกว่า Rebound Number

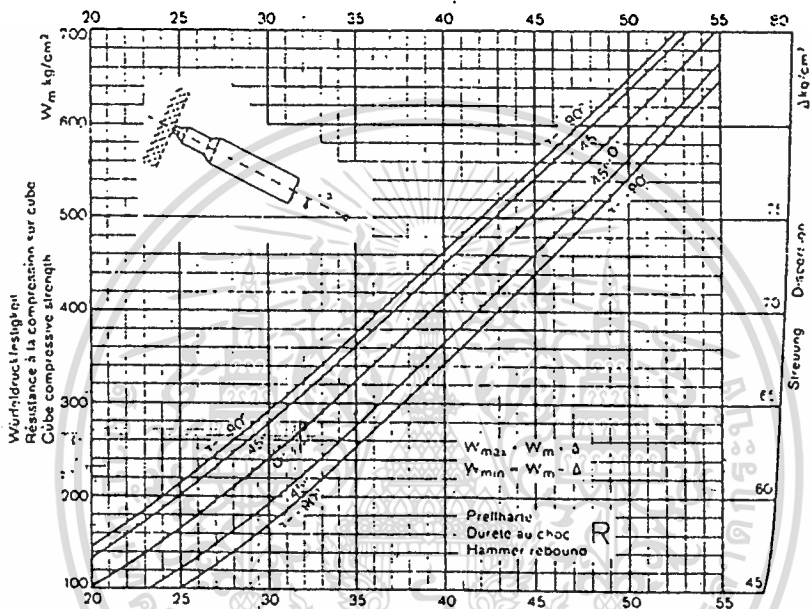
4. ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด W_m และค่าที่น้อยที่สุด W_{min} ของการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแบบลูกบาศก์ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3ข ซึ่งในตารางที่ 3ข นี้ได้แสดงวิธีคำนวณค่า β เพื่อแปลงเป็นค่า w ซึ่งมีหน่วยเป็น ksc หรืออาจหาค่าการรับกำลังอัดได้จากรูปที่ 2ข ก็ได้เช่นเดียวกัน

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

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

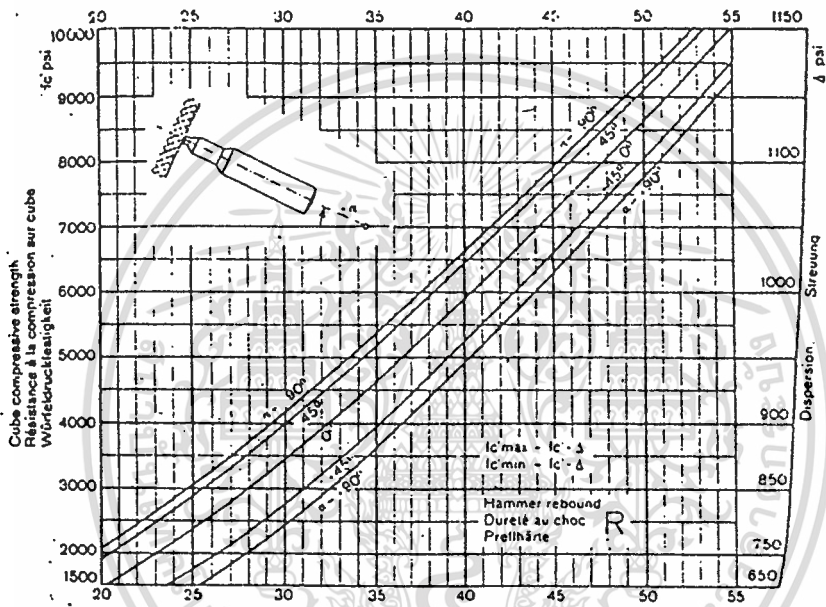


The curves apply to compact Portland cement concrete with good quality gravel/sand aggregate. Age 14 to 56 days. Smooth and dry concrete surface.

W_m = most likely value of the cube compressive strength in kg/cm^2 .

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

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

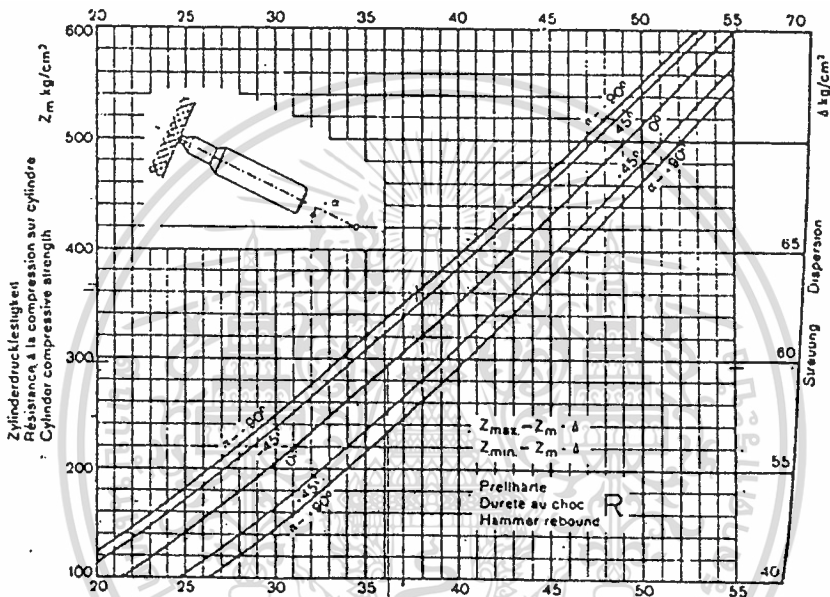


The curves apply to compact Portland cement with good-quality gravel/sand aggregate. Age 14 to 56 days. Smooth and dry concrete surface.

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

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

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

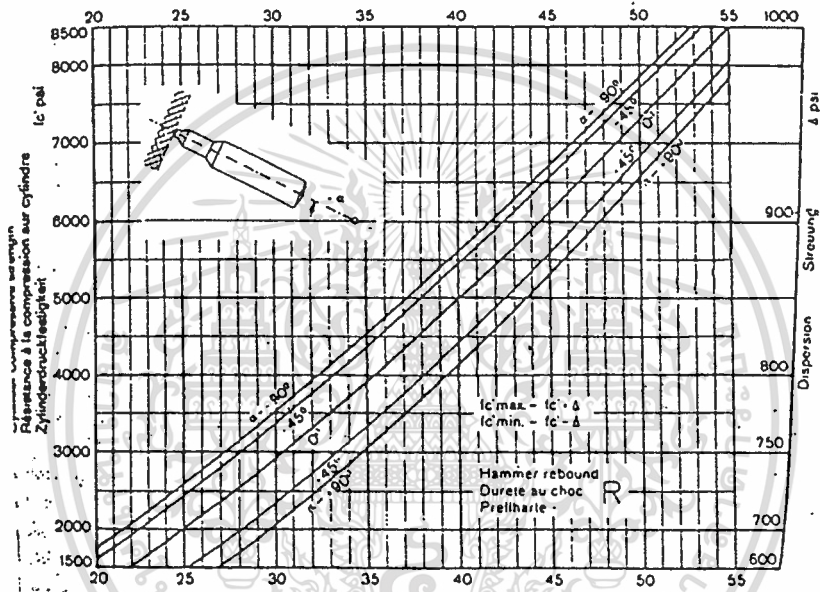


The curves apply to compact Portland cement with good-quality gravel/sand aggregate. Age 14 to 56 days. Smooth and dry concrete surface.

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

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

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



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

f_c^T = most likely value of the cylinder compressive strength in psi.

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

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

Table II . Cube Compressive Strength W In kg/cm^2 as a Function of the Rebound Number R
Type N Test Hammer

R	Age of Concrete			
	14 to 56 days		7 days	
	W_m	$W_{min.}$	W_m	$W_{min.}$
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 = $0.85 \times$ Cube Compressive Strength
 $100 \text{ kg/cm}^2 = 1420 \text{ psi}$

ภาคผนวก ค.

การทดสอบแบบทำลาย

การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตโดยเครื่อง Universal Testing Machine

กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีต เป็นตัวบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี เพราะค่ากำลังต้านทานหรือรับแรงแบบอื่นเป็นสัดส่วนกับกำลังต้านทานแรงอัด ด้วยเหตุที่คอนกรีตมีกำลังต้านทานต่อแรงอัดมากกว่ากำลังต้านทานต่อแรงดึงหลายเท่า ดังนั้น ในการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงออกแบบให้คอนกรีตรับเฉพาะแรงอัดเพียงอย่างเดียว ส่วนแรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมซึ่งหล่ออยู่ในคอนกรีตทำหน้าที่ต้านทาน

การทดสอบหาแรงอัดประลัยของคอนกรีตทำได้โดยการกดหรืออัดแท่งทดสอบมาตรฐาน (รูปทรงกระบอก หรือลูกบาศก์) ซึ่งบ่มขึ้นตามระยะเวลาที่กำหนด ด้วยเครื่องทดสอบมาตรฐานจนกระทั่งคอนกรีตถูกอัดแตก น้ำหนักกดหรืออัดสูงสุดที่ได้หารด้วยเนื้อที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างจะเป็นค่าหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตนั้น ค่ากำลังต้านทานต่อแรงอัดนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมมวลน้ำ อายุของแท่งทดสอบ การบ่ม เป็นต้น

วัสดุ

วัสดุซึ่งใช้ในการเตรียมแท่งตัวอย่างคอนกรีตซึ่งประกอบด้วยซีเมนต์มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

เครื่องมือ

- 1) หล่อแบบแท่งทดสอบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 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
- 4) เวอร์เนีย คาลิเปอร์ (Vernier Caliper) อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มม.
- 5) เครื่องชั่ง อ่านได้ละเอียดถึง 1 กรัม
- 6) เครื่องมือเล็กที่จำเป็น เช่น พลั่ว เกรียง แปรง เป็นต้น

การเตรียมแท่งทดสอบซึ่งได้จากการหล่อ

- 1) ก่อนใส่คอนกรีตลงในแบบหล่อจะต้องเคลือบภายในแบบหล่อด้วยน้ำมันที่ไม่ทำปฏิกิริยากับคอนกรีต เพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตเกาะติดแบบหล่อ แล้ววางแบบลงบนพื้นที่ราบและมั่นคง
- 2) เทคอนกรีตลงในแบบหล่อเป็นชั้นๆ โดยพยายามไม่ให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว
- 3) เขย่าคอนกรีตโดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้
 - 3.1 ใช้เครื่องเขย่าแบบโต๊ะ แบบหล่อจะต้องยึดแน่นกับโต๊ะเขย่าอย่างมั่นคง การเขย่าต้องดำเนินติดต่อกันและหยุดเมื่อถึงจุดที่ไม่ปรากฏฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้นมา และมีมอร์ต้าเป็นชั้นบางๆ ปรากฏขึ้นที่ผิวหน้าของคอนกรีต
 - 3.2 ใช้เครื่องเขย่าแบบแท่ง แท่งเขย่าจะต้องอยู่ในแนวตั้งและห่างจากแบบหล่อประมาณ 20 มม. เขย่าคอนกรีตในลักษณะนี้จนกว่าจะไม่ปรากฏฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้นมา และมีมอร์ต้าเป็นชั้นบาง ๆ ปรากฏขึ้นที่ผิวหน้าของคอนกรีต การนำแท่งเขย่าออกจากแบบหล่อให้น้ำออกอย่างช้า ๆ
 - 3.3 ใช้แท่งกระทุ้งด้วยมือ คอนกรีตที่ใส่ในแบบหล่อให้ใส่เป็นชั้นๆละประมาณ 100-150 มม. แต่ละชั้นกระทุ้งให้ทั่วด้วยแท่งเหล็ก โดยกระทุ้ง 1 ครั้ง ต่อพื้นที่ประมาณ 1,000 มม.2 ของพื้นที่หน้าตัดแบบหล่อ การกระทุ้งแต่ละครั้งต้องกระทุ้งให้จมลงไปเท่ากับความหนาของชั้นที่ใส่ลงไปใหม่
- 4) หลังจากเขย่าคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ตกแต่งผิวคอนกรีตให้เรียบด้วยเกรียง

การเตรียมแท่งทดสอบซึ่งได้จากการเจาะ

ให้เจาะแท่งทดสอบเมื่อคอนกรีตมีอายุไม่ต่ำกว่า 14 วัน แท่งทดสอบต้องอยู่ในสภาพดี ไม่มีรอยร้าว รอยบิ่นหรือโพรง

การบ่มแท่งคอนกรีตซึ่งได้จากการหล่อ

- 1) หลังจากหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้คลุมผิวบนด้วยแผ่นเหล็กหรือแผ่นพลาสติก เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ แล้วเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิประมาณ 16-27 องศาเซลเซียส และป้องกันไม่ให้มีการสัมผัสเหนือน้ำ
- 2) ให้ถอดแบบออกหลังจากหล่อแท่งทดสอบระหว่าง 20 ± 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้บ่มแท่งตัวอย่างในที่ซึ่งอุณหภูมิ 23 ± 1.7 องศาเซลเซียส จนกว่าจะถึงเวลาทดสอบ ถ้าแท่ง

ตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ต้องเช็ดผิวหน้าแห่งทดสอบให้แห้ง แล้วทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง และถ้าแห่งทดสอบเป็นรูปทรงกระบอกต้องเช็ดผิวหน้าให้แห้ง เคลือบผิวหน้าแห่งทดสอบ ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้น

การบ่มแห้งคอนกรีตซึ่งได้จากการเจาะ

ให้แช่ก้อนตัวอย่างในน้ำปูนขาวอิ่มตัวที่อุณหภูมิห้อง ไม่น้อยกว่า 40 ชั่วโมงก่อนทดสอบ นำขึ้นจากน้ำมาเคลือบแล้วจึงทดสอบต่อไป

การส่งแห้งตัวอย่างจากสนามไปยังห้องทดลอง

ในกรณีที่มีการส่งแห้งตัวอย่างจากสถานที่ก่อสร้างมาทำการทดสอบในห้องทดลอง ให้บรรจุแห้งตัวอย่างในภาชนะที่แข็งแรง และให้พยายามรักษาความชื้นของแห้งตัวอย่าง โดยอาจใส่ทรายเปียกหรือขี้เลื่อยเปียกก็ได้ หลังจากนั้นเมื่อถึงห้องทดลองแล้วให้บ่มแห้งตัวอย่างในที่ชื้นที่อุณหภูมิ 23 ± 1.7 องศาเซลเซียส เพื่อรอการทดสอบต่อไป

การเคลือบผิวหน้าแห่งทดสอบ

ในกรณีที่ผิวหน้าของแห่งทดสอบไม่เรียบ ให้เคลือบผิวหน้าของแห่งทดสอบด้วยส่วนผสมของกำมะถันกับผงแร่หรือซีเมนต์เพสต์ (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก 27-30%) ซึ่งผสมไว้ 2-4 ชั่วโมงแล้ว

ในการเคลือบนั้น อุปกรณ์จะต้องตั้งอยู่ในแนวแกนของแห่งทดสอบและผิวหน้าด้านที่จะใช้ต้องมีมุมที่ถูกค้ำ และขณะที่วัตถุที่ใช้เคลือบแข็งตัวต้องป้องกันการระเหยของน้ำ เช่น ใช้ผ้าเปียกคลุมไว้

วิธีทดสอบ

- 1) วัดขนาดของแห่งคอนกรีต (กระทำก่อนการเคลือบผิวหน้า)
- 2) ทำความสะอาดแห่งคอนกรีตและผิวแท่นชาร (Bearing Faces) ทั้งบนและล่างของเครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine)
- 3) วางแห่งทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกด แล้วเลื่อนหรือหมุนผิวแท่นชารให้สัมผัสกับแห่งทดสอบสนิท
- 4) เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่ที่อยู่ในเกณฑ์ช่วง 14-34 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ในระยะช่วงครึ่งแรกของน้ำหนักกดสูงสุดที่แห่งทดสอบจะรับได้นั้น อาจใช้อัตราการกดสูงกว่าที่กำหนดได้ ส่วนในการควบคุมเครื่องทดสอบ

แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่แท่งทดสอบถึงจุดคลาก (Yielding) อย่างรวดเร็วทันทีก่อนเกิดถึงจุดประลัย (Ultimate) นั้น ห้ามปรับอัตราการกดหรือส่วนใดๆของเครื่องทดสอบ

- 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 ของเส้นผ่านศูนย์กลาง ให้แก้ไขค่าการต้านทานแรงอัด ดังนี้

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

ภาคผนวก ง

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Concrete Mixed Design)

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ACI : (211.1-77)

ขอบเขต

วิธีและหลักการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่จะได้กล่าวถึงต่อไปนี้ ใช้กับคอนกรีตปัดทั่วไปที่ใช้ในโครงสร้างอาคารบ้านเรือน และใช้สำหรับกำหนดให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานได้เหมาะสมกับสภาพการเทหรือหล่อในที่ (cast-in-place construction)

กล่าวนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าคอนกรีตนั้น คือวัสดุผสมซึ่งมีวัสดุที่เป็นหลักอยู่ 3 ชนิด คือ ซีเมนต์ มวลรวมคละ (ทรายและละเอียด) และน้ำ นอกจากนี้ยังมีสิ่งอื่นเพิ่มเติมเข้ามาอีกได้แล้ว แต่ต้องการ 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) ค่านี้ดูเหมือนจะให้คำจำกัดความลงไปอย่างแน่ชัดไม่ได้ โดยทั่วไปเรามุ่งถึงคอนกรีตที่เราสามารถจะทำได้ง่ายสำหรับการผสม การขนส่ง การเทลงในแบบหล่อ การอัดแน่น การตกแต่ง ตลอดจนความแข็งแรงของคอนกรีต

ความชื้นเหนียว (Consistency) กล่าวง่าย ๆ ก็คือ ความเหลวหรือความเปียกของคอนกรีตสดนั่นเอง ความเหลวหรือความเปียกนี้สามารถตรวจสอบได้จากการยุบตัว (slump) คอนกรีตที่มีความยุบตัวสูงก็就会有ความเหลวมาก ความเหลวในที่นี้ไม่เกี่ยวกับคุณสมบัติความสามารถในการทำงานของคอนกรีต ในการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตนั้น ปริมาณน้ำที่จะใช้

เป็นสิ่งสำคัญซึ่งขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์หลายประการ

ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรง (Strength) กำลังความแข็งแรงของคอนกรีตนับว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่ง ในสภาวะทั่วไปกำลังของคอนกรีตคำนวณจากปริมาณน้ำสุทธิตี่ใช้เทียบกับปริมาณของซีเมนต์หนึ่งหน่วย ปริมาณน้ำสุทธิตี่ว่านี้ไม่รวมถึงน้ำที่ถูกซึมเข้าไปในมวลรวมคละ อย่างไรก็ตามกำลังของคอนกรีตที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำกับซีเมนต์จำนวนหนึ่งนี้อาจแตกต่างกันไปเนื่องจากขนาดของมวลรวมคละ รูปทรงของมวลรวม ความแกร่งของมวลรวม หรือการใช้ซีเมนต์ต่างชนิดกัน ตลอดจนกระทั่งปริมาณอากาศและการใช้สารผสมเพิ่ม

ความคงทน (Durability) คอนกรีตที่ดีจะต้องมีความสามารถในการคงทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในขณะที่อยู่ในกำลังใช้งาน อาจจะเป็นอากาศหนาวจัด ร้อนจัด ฝนตก หรือแดดออกหรือผลจากสารเคมี ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ควรจะมีการใช้สารเพิ่ม เพื่อให้คอนกรีตเกิดความคงทนภายใต้สภาวะดังกล่าวให้การกำหนดค่า water-cement ratio ต่ำ ๆ อาจมีส่วนช่วยยืดอายุคอนกรีตให้คงทนขึ้นได้มาก

ความหนาแน่น (Density) คอนกรีตบางชนิดอาจมีความจำเป็นที่ต้องใช้คุณสมบัติจากน้ำหนักของตัวเอง ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุหรือความหนาแน่นก็ควรจะให้เป็นไปตามความต้องการ

ข้อมูลพื้นฐาน

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

ขั้นตอนการคำนวณ

ขั้นตอนสำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตในที่นี้ควรกระทำไปตามลำดับขั้นตอน สิ่งแรกก็คือ ความต้องการหรือคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่จะใช้ ซึ่งมีดังนี้

1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด

2. ปริมาณซีเมนต์น้อยสุด

3. ปริมาณอากาศ

4. ค่ายุบตัว

5. ขนาดโตสุดของมวลรวมคละ

6. กำลังคอนกรีต

7. อาจมีความต้องการอื่น ๆ อีกนอกเหนือจากการคำนวณ เช่น สารผสมเพิ่ม และซีเมนต์ชนิดพิเศษ เหล่านี้เป็นต้น

ข้อมูลสำหรับความจำเป็นเบื้องต้นเหล่านี้ มีหลักและวิธีการปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่ายุบตัว : หากค่ายุบตัวไม่ได้มีกำหนดไว้ในความต้องการของงาน อาจใช้ตารางที่ 1 ช่วยในการกำหนดได้ ค่ายุบตัวต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในตารางนี้เป็นค่ายุบตัวสำหรับการเทคอนกรีตที่ใช้เครื่องจักรสั่นสะเทือนให้คอนกรีตแน่น และเป็นส่วนผสมที่มีความชื้นเหนียวเหมาะสมแก่สภาพงานอย่างยิ่ง

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

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดปริมาณน้ำผสมและปริมาณอากาศ : ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตในหนึ่งหน่วยปริมาตรที่จะทำให้เกิดค่ายุบตัวตามกำหนดในขั้นตอนแรกนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดโตสุดรูปทรงและขนาดเรียงของมวลรวมคละ และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณฟองอากาศอีกด้วย ในตารางที่ 2 เป็นตารางที่ช่วยในการประมาณการของจำนวนน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต สำหรับมวลรวมคละขนาดต่าง ๆ ทั้งเป็นคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตกักฟองอากาศ เนื่องจากขนาดและรูปร่างของมวลรวมที่อาจวัดได้ไม่แน่นอน อาจทำให้ค่าในตารางที่ให้ไว้ผิดพลาดไปบ้างเล็กน้อย แต่ก็คิดว่าจะยังคงถูกต้องเพียงพอสำหรับใช้ในการประมาณขั้นแรกนี้ และจำนวนน้ำที่แตกต่างกัน จากความที่น่าจะเป็นจริงเพียงเล็กน้อยนี้ ไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของคอนกรีตเลย ทั้งนี้เพราะยังมีแฟกเตอร์อื่น 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, เคาชองและผนังกันดิน	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 สำหรับคอนกรีตที่มีมวลรวมคละขนาดโตสุดเป็นนม.							
	10	12.5	20	25	40	50	70	150
ซม.	10	12.5	20	25	40	50	70	150

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	-
ปริมาณอากาศที่เกิดในคอนกรีต	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
ธรรมดา, %								

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตกระจายล็กฟองอากาศ

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	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณอากาศที่ ควรให้มี, %	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

สำหรับในสถานะที่ทรุนเหลือหลาย (severe condition) ค่า WCR ควรจะต่ำยิ่งขึ้นเพื่อที่จะทำให้กำลังของคอนกรีตได้ตามต้องการ ซึ่งถ้าเป็นสถานะเช่นนี้ให้ดูจากตารางที่ 3.2

ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณปริมาณซีเมนต์ : ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรนั้นขึ้นอยู่กับค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ที่ผ่านมา โดยที่จำนวนซีเมนต์นี้จะเท่ากับจำนวนน้ำที่ใช้ผสม (ขั้นตอนที่ 3) หารด้วยค่า WCR (ขั้นตอนที่ 4)

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

ขั้นตอนที่ 6 การประมาณปริมาณมวลรวมหยาบ : ปริมาณมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต หาได้จากตารางที่ 4 ง คูณด้วยค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง (dry unit weight) ของมวลรวมซึ่งมีหน่วยเป็น กก. ต่อ ม³. 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

กำลังอัดของคอนกรีต ที่ 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 คัดจากตัวอย่างทรงกระบอกขนาด $\phi 15 + 30$ ซม. บ่มขึ้นจนได้อายุ 28 วัน ที่อุณหภูมิ 23 ± 1.7 °C ถ้าเทียบตัวอย่างลูกบาศก์ค่าจะสูงกว่าประมาณ 20 %

ตารางที่ 3.2ง - อัตราส่วนน้ำ - ซีเมนต์ที่ยอมให้สำหรับงานภายใต้สภาวะพิเศษ

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกชื้นตลอดเวลา หรือทนต่ออากาศหนาว	คอนกรีตสัมผัสน้ำทะเล หรือซัลเฟต
ชิ้นส่วนเล็ก ๆ อาทิ ราว, ขอบกัน, บัวหรือหน้าต่างที่มี ระยะหุ้มต่ำกว่า 3 ซม. โครงสร้างทั่วไป	0.45 0.50	0.40* 0.45*

* ควรใช้คอนกรีตชนิดสารกระจายฟองอากาศ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4ง - ปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร

หินขนาด โดสุด มม.	ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตที่มี ส่วนผสมของทรายที่มีค่าแห่งความละเอียดแตกต่างกัน			
	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

ขนาดโด้สุดของหิน ที่ใช้ , มม.	น้ำหนักคอนกรีตสด , กก./ม. ³	
	คอนกรีตธรรมดา	คอนกรีตกระจายกักฟอง อากาศ
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

$$U_M = \text{น้ำหนักคอนกรีตสด, กก./ม.}^3$$

$$G_a = \text{ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของมวลรวมคละ (หยาบ + ละเอียด)}$$

$$G_c = \text{ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ (ทั่วไปเท่ากับ 3.15)}$$

$$A = \text{ปริมาณอากาศ, \%}$$

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

$$C_m = \text{ปริมาณซีเมนต์, กก./ม.}^3$$

สำหรับวิธีปริมาตร (the “absolute volume” method) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาปริมาณของมวลรวมละเอียดที่ได้ค่านอนขึ้นไปอีก ซึ่งแน่นอนย่อมเกี่ยวข้องกับปริมาตรส่วนผสมต่าง ๆ ที่อยู่ในคอนกรีต ในที่นี้คือ น้ำ, อากาศ, ซีเมนต์และมวลรวมหยาบ นำปริมาตรเหล่านี้ไปหักออกจากปริมาตรของคอนกรีต ก็จะได้เป็นปริมาตรของมวลรวมละเอียด ปริมาตรของวัสดุต่าง ๆ ที่อยู่ในคอนกรีต อาจหาได้โดยเอาน้ำหนักหารด้วยความหนาแน่นของตัวเอง

ขั้นตอนที่ 8 การปรับค่าสำหรับความชื้นในมวลรวมคละ : ปริมาณของมวลรวมคละที่ได้จากการชั่งน้ำหนักนั้น จะต้องอยู่ในขอบข่ายของความชื้นที่อนุญาตให้ในหน่วยมวลรวมคละ โดยทั่วไปมวลรวมคละจะต้องมีความชื้น โดยจะมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ถูกซึมและเคลือบผิวอยู่ ดังนั้นปริมาณน้ำที่จะใส่เข้าไปผสมจะต้องลดลงตามจำนวนของความชื้นในมวลรวมคละ

ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีต

คำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีตสำหรับงานหนึ่งที่ต้องการกำลังคอนกรีตโดยเฉลี่ย 250 กก./ชม.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 : ค่าขุบตัวกำหนดไว้ระหว่าง 8-10 ซม.

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมคละที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มม.

ขั้นตอนที่ 3 : คอนกรีตเป็นแบบธรรมดาทั่วไป เนื่องจากไม่ได้นำไปใช้ในสภาพที่เลวร้าย จากตารางที่ 2ง จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมสำหรับค่าขุบตัว 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 : จากค่าได้ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 จะสามารถนำมาหาปริมาณของซีเมนต์ได้คือ $175/0.62 = 282 \text{ กก./ม.}^3$

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบ หาได้จากตารางที่ 4ง สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. 2.8 และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 มม. จะได้ค่า 0.72 ม.^3 ดังนั้นน้ำหนักมวลแห้งเท่ากับ $0.72 \times 1600 = 1152 \text{ กก.}$

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียดหรือทรายก็จะคำนวณได้ ทั้งเป็นน้ำหนักและปริมาตร ดังแสดงต่อไปนี้

วิธีน้ำหนัก : 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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$\text{ปริมาตรวัสดุผสมทั้งหมดยกเว้นทราย} = 0.705 \text{ ม.}^3$$

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

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

จากผลการคำนวณที่ผ่านมาทั้งหมด เปรียบเทียบน้ำหนักของวัสดุต่าง ๆ ให้เห็น
ได้ดังตารางข้างล่างนี้

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

ขั้นตอนที่ 8 : จากผลการทดลองปรากฏว่าค่าความชื้นรวมของมวลรวมหยาบเป็น 2 % และของมวลรวมละเอียดเป็น 6 % ถ้าการผสมคอนกรีตคิดเป็นน้ำหนัก จำเป็นต้องปรับ ปริมาณของมวลรวมทั้งสองใหม่ ดังนี้

$$\text{มวลรวมหยาบ (ชื้น)} = 1152(1.02) = 1175 \text{ กก.}$$

$$\text{มวลรวมละเอียด (ชื้น)} = 811(1.06) = 860 \text{ กก.}$$

ส่วนปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อมวลรวมไม่เกี่ยวกับจำนวนน้ำที่ต้องใช้ ผสม และอยู่นอกเหนือจากการที่จะปรับปริมาณน้ำใหม่ ดังนั้น น้ำที่เคลือบผิวของมวลรวม หยาบจะเป็นจำนวน $2-0.5 = 1.5$ % และมวลรวมละเอียดเท่ากับ $6-0.7 = 5.3$ % และ ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ผสมจะเปลี่ยนแปลงเท่ากับ

$$175 - 1152(0.015) - 811(0.053) = 115 \text{ กก.}$$

น้ำหนักของวัสดุผสมครั้งสุดท้ายสำหรับคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร คือ

$$\text{น้ำ (ที่ต้องใส่)} \quad 115 \text{ กก.}$$

$$\text{ซีเมนต์} \quad 282 \text{ กก.}$$

$$\text{มวลรวมหยาบ (ชื้น)} \quad 1175 \text{ กก.}$$

$$\text{มวลรวมละเอียด (ชื้น)} \quad 860 \text{ กก.}$$

$$\text{รวมทั้งสิ้น} \quad 2432 \text{ กก.}$$

คอนกรีตสำหรับงานเล็ก

สำหรับคอนกรีตที่ใช้ในงานเล็ก ๆ ที่ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้การควบคุมอย่างเข้มงวด และต้องการคอนกรีตที่มีความแข็งแรงพอประมาณ จำนวนน้ำที่ใส่เข้าไปผสมก็ไม่มากเกินไปที่จะทำให้คอนกรีตเหลว และมวลรวมคละที่ใช้ก็เป็นวัสดุที่มีขนาดผสมปานกลางทั่วไป อาจใช้ตารางที่ 6ง ช่วยในการกำหนดอัตราส่วนผสมได้

ตารางที่ 6ง - ส่วนผสมคอนกรีตสำหรับงานขนาดเล็ก

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

- จากตารางจะเห็นว่าได้กำหนดอัตราส่วนผสมครั้งแรกไว้ 3 แบบ สำหรับมวลรวมแต่ละขนาดเมื่อกำหนดขนาดโตสุดของมวลรวมได้แล้ว ให้เริ่มที่อัตราส่วนผสมแบบ B ก่อน ถ้าอัตราส่วนผสมออกมา รู้สึกว่าจะมีทรายมากเกินไป ก็ให้เปลี่ยนมาใช้แบบ C แต่ถ้ารู้สึกว่าทรายจะดำไปก็ให้เลื่อนขึ้นไปใช้แบบ A อย่างไรก็ตาม ค่าที่ให้ไว้ในตารางนี้เป็นค่าที่คิดเมื่อทรายแห้งหรือทรายผิวนแห้ง ถ้าทรายที่ใช้ชื้นหรือเปียกก็จะต้องแก้ไขหรือปรับตัวเลขเสียใหม่ตามข้อกำหนดที่ให้ไว้ได้ตาราง



การทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

(Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates)

AASHTO : T 27-78

ASTM : C 136

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาขนาดของมวลรวมละเอียดโดยใช้ตะแกรงขนาดมาตรฐาน สำหรับค่าพิถีความละเอียด (Fineness modulus) ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของอนุภาคในมวลรวมที่กำหนดให้ นั่นคือ มวลรวมหยาบ ค่าพิถีความละเอียดยิ่งสูง

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 สำหรับ
- หิน หรือกรวด
5. เครื่องเขย่าตะแกรง
 6. ตาชั่งขนาดใหญ่
 7. เตาอบ

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การหาส่วนขนาดคละของทราย

1. เตรียมทรายสำหรับทดสอบด้วยการตรวจดูว่าชื้นหรือไม่ ปกติควรเป็นทรายที่แห้ง หากชื้นเกินไปควรอบเสียก่อน

2. เตรียมชุดของตะแกรงด้วยการทำความสะอาดไม่ให้มีเศษฝุ่นผงค้างอยู่ภายในช่อง ชั่งน้ำหนักตะแกรงทุกขนาดและบันทึกไว้ พร้อมกับจัดเรียงซ้อนตามลำดับ และมีถาดรองอยู่ด้านล่างสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่อย ๆ เททรายที่เตรียมพร้อมไว้แล้วลงในชุดตะแกรง ปิดฝาให้สนิท แล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่า จับเวลาประมาณ 10 นาที

4. ถึงขณะนี้ทรายที่มีเม็ดขนาดต่าง ๆ จะถูกแยกไปอยู่ในตะแกรงขนาดต่าง ๆ เช่นกัน ให้นำตะแกรงที่มีทรายค้างอยู่นั้นไปชั่งและจดบันทึกไว้อีกครั้งหนึ่ง แล้วคำนวณหาค่าพิกต์ความละเอียดต่อไป

ข) การหาส่วนขนาดคละของหิน

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

2. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองของทรายตั้งแต่ข้อ 2 - 4

หมายเหตุ

1. ค่าพิกต์ความละเอียดของมวลรวม จะหาได้จากผลรวมของอัตราที่ค้างอยู่บนตะแกรงทั้งหมดหารด้วย 100

2. ทรายสำหรับใช้ในงานคอนกรีตทั่วไปควรมีค่าพิกต์ความละเอียดระหว่าง 2.3 - 3.1

3. หิน หรือกรวดที่ใช้ในงานคอนกรีตควรมีค่าพิกต์ความละเอียดระหว่าง 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

grading limits

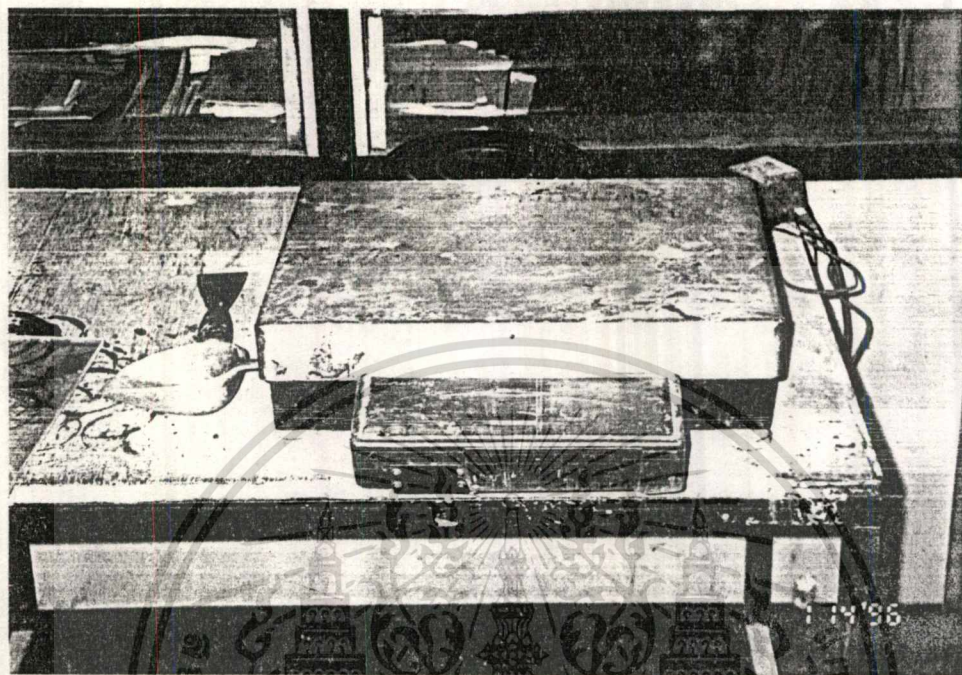
Fine		Coarse			
Sieve No.	% Passing	% Passing (Nominal Max.Size)			
		1 1/2"	1"	3/4"	1/2"
3/8"	100	95-100	100	-	-
No. 4	95-100	-	95-100	100	-
No. 8	80-100	35-70	-	90-100	100
No. 16	50-85	-	25-60	-	90-100
No. 30	25-60	10-30	-	20-55	40-70
No. 50	10-30	0-5	0-10	0-10	0-15
No. 100	2-10	-	0-5	0-5	0-5

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 1ง แสดงตะแกรงและเครื่องเขย่าตะแกรง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23 แสดงเครื่องข่งนำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม
(Test for Unit Weight of Aggregate)
ASTM : C 29-76

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร ไม่ว่าจะ เป็น ทราย หิน หรือมวลรวมผสมก็ตาม ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

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

ปริมาตร ลิตร	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน มม.	ความสูงภายใน มม.	ความหนาแน่นสุด		ขนาดโตสุด ของมวลรวม
			ก้นภาชนะ	ผนังข้าง	
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

1. เติมน้ำใส่ภาชนะให้เต็ม และทำให้ไม่มีฟองอากาศอยู่เลย พร้อมทั้งปิดฝาด้วย

แผ่นกระดาษใส เสร็จที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัดอุณหภูมิของน้ำเพื่อนำไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนักโดยเทียบจากตารางข้าง
ล่างนี้

3. หาค่าแฟกเตอร์ของภาชนะ โดยการหารหน่วยน้ำหนักของน้ำด้วยน้ำหนักน้ำ
ในภาชนะ

ข) การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักเมื่อมวลรวมอัดตัวแน่น

1. โดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง (Rodding procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวม
ที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 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 เท้า และเกลี่ย
ผิวหน้าให้เรียบและใช้เหล็กกระทุ้งให้เกือบถึงก้น โดยแผ่กระจายให้ทั่วผิวหน้ารวม 25 ครั้ง
จากนั้นใส่มวลรวมลงไปอีก 1/3 เท้า ทำการกระทุ้งเช่นเดียวกันและใส่ลงไปอีกเป็นชั้นสุดท้าย
กระทุ้งอีก 25 ครั้ง เสร็จแล้วให้ปาดผิวหน้าของมวลรวมให้เรียบเสมอกับแนวขอบบนของ
ภาชนะ อย่าให้บวมหรือโปนเป็นอันขาด

1.2 ชั่งน้ำหนักภาชนะที่บรรจุมวลรวมดังกล่าวเพื่อคำนวณหาน้ำหนักเฉพาะ
ของมวลรวมโดยแท้ โดยชั่งให้ได้ความละเอียดถึง 0.1 % แล้วคูณด้วยแฟกเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3
ของข้อ ก) จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่น

2. โดยวิธีกระแทกภาชนะ (Jigging Procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่
มีขนาดโตสุดเกินกว่า 37.5 มม. แต่ไม่เกิน 100 มม. (4”)

2.1 แบ่งเทมวลรวมใส่ภาชนะเป็น 3 ชั้น เช่นเดียวกับวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง แต่
วิธีนี้ภาชนะควรถูกนำมาวางบนพื้นที่แข็ง เช่น พื้นคอนกรีต เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเมื่อเทมวลรวม
ไม่ทราบว่าจะเกิดอะไรขึ้นบ้าง อาจทำให้ดินหรือทรายที่รองรับภาชนะเกิดการยุบตัวลงได้

แต่ละชั้นแล้วให้เอียงภาชนะเพื่อให้ด้านตรงข้ามสูงขึ้นจากพื้นไม่เกิน 50 มม. และปล่อยให้ตกลง
 กระแทกพื้นเป็นจำนวน 25 ครั้ง เสร็จแล้วเอียงกลับมาอีกด้านหนึ่งเพื่อให้ด้านที่ติดพื้นในตอน
 แรกนั้นยกลอยขึ้นมา 50 มม.บ้าง และปล่อยให้ตกกระแทกพื้นอีก 25 ครั้งเช่นเดียวกัน ทำเช่นนี้
 ทั้ง 3 ชั้น จึงปาดผิวหน้ามวลให้เรียบ แล้วนำไปซัง

2.2 เมื่อดำเนินการที่แท้งของมวลรวมแล้วคุณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3
 ของข้อ ก) ก็จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่นเช่นเดียวกัน



การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม

(Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying)

ASTM : C 566-67

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาอัตราของปริมาณความชื้นทั้งหมดที่มีอยู่ในมวลรวม โดยการทำให้มวลรวมแห้งด้วยการเผา ซึ่งจะทำได้น้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมสำหรับซึ่งผสมคอนกรีต

วัสดุและอุปกรณ์

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

ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมขึ้นที่จะนำมาทดสอบ แล้วเทลงในภาชนะบรรจุนำไปใส่วางบนเตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สม่ำเสมอ ใช้แท่งเหล็กคนมวลรวมเป็นระยะ ๆ เพื่อให้มวลรวมทุกก้อนได้รับความร้อนทั่วถึงกัน
2. เมื่อมวลรวมแห้งสนิทแล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง
3. ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวมจะหาได้จากสูตร

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

โดยที่ P = ปริมาณความชื้น , %

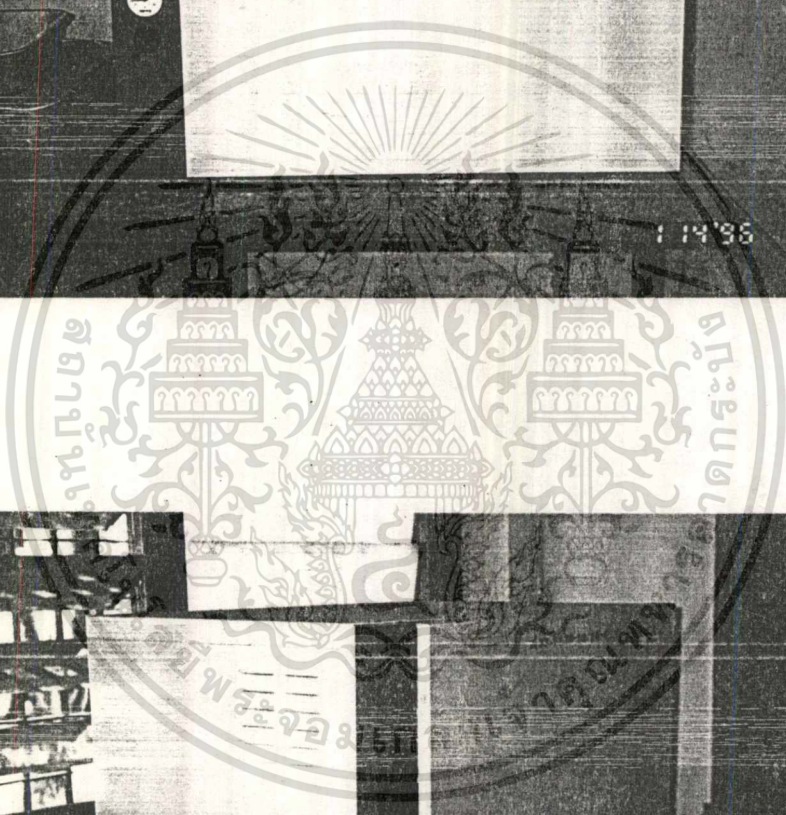
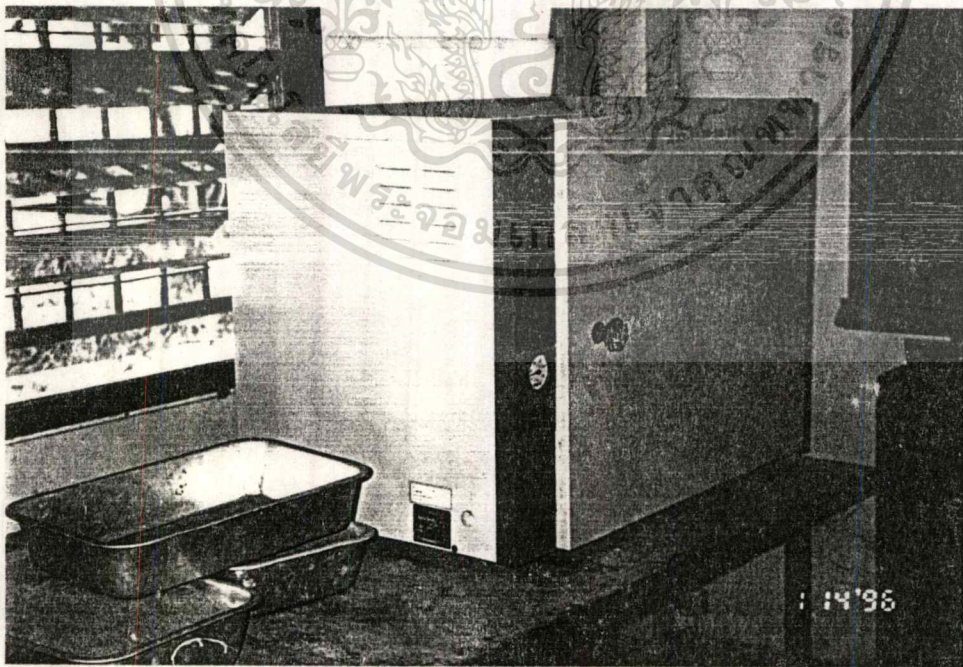
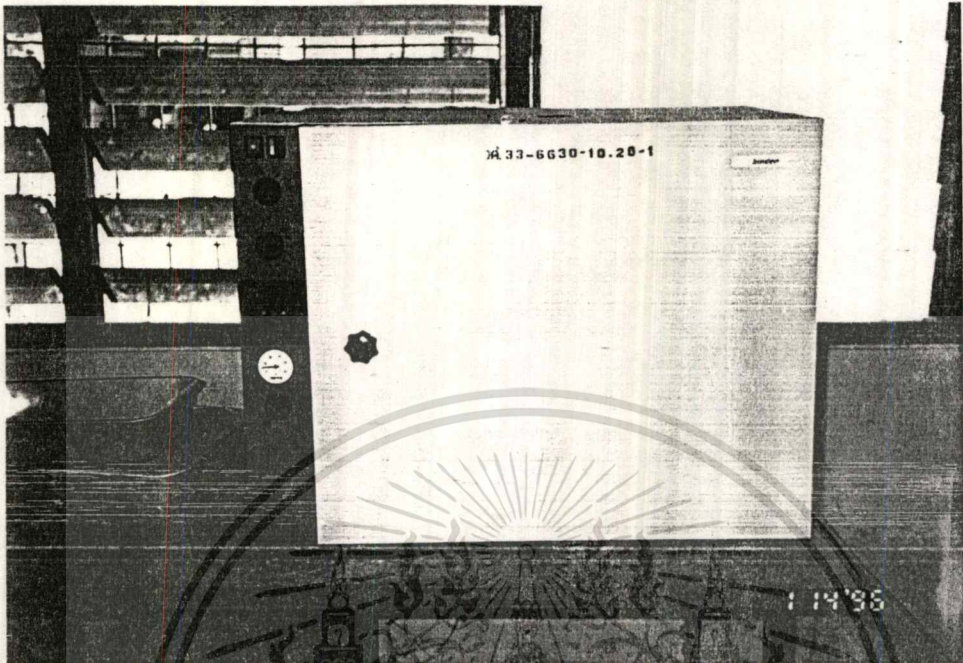
W = น้ำหนักมวลรวมก่อนเผา

D = น้ำหนักมวลรวมแห้งหลังเผา

ส่วนปริมาณความชื้นรอบผิวของมวลรวมจะหาได้จากค่าแตกต่างระหว่างปริมาณ

ความชื้นรวมกับอัตราการดูดซึมของมวลรวมนั่นเอง ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดรูปที่ 8 9 และแสดงต่อผู้อื่นอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ชัชวาล เศรษฐบุตร, คอนกรีตเทคโนโลยี, พิมพ์ครั้งที่ 1, 30 กรกฎาคม 2536
2. ศาสตราจารย์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร, คอนกรีตเทคโนโลยี, พิมพ์ครั้งที่ 7, พ.ศ.2529
3. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ, ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ ๑ , พระจอมเกล้าลาดกระบัง, พ.ศ.2535
4. A.M. Neville & J.J. Brooks, Constructions Technology
5. J. francis young , concrete
6. พุทธิชาติ, การทดสอบแบบไม่ทำลาย
7. เอกสารประกอบการใช้เครื่องมือ
 - Ultrasonic, Pundit
 - Schmidt Hammer

