



๐.๑๕
๓.๖๓

การศึกษาและพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้วัสดุพื้นฐานที่มีในประเทศไทย

THE STUDY AND IMPROVEMENT ON THE COMPRESSIVE
STRENGTH OF HIGH STRENGTH CONCRETE BY USING
AVAILABLE MATERIALS IN THAILAND



วัน เดือน ปี..... 16.ค.ค. 2541
เลขทะเบียน..... 039008
เลขเรียกหนังสือ..... 40449.0386ก..

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2540

039008

การศึกษาและพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้วัสดุพื้นฐานที่มีในประเทศไทย

THE STUDY AND IMPROVEMENT ON THE COMPRESSIVE
STRENGTH OF HIGH STRENGTH CONCRETE BY USING
AVAILABLE MATERIALS IN THAILAND



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2540 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE STUDY AND IMPROVEMENT ON THE COMPRESSIVE
STRENGTH OF HIGH STRENGTH CONCRETE BY USING
AVAILABLE MATERIALS IN THAILAND**

BY

MR. WATCHARIN TECHASATIAN 37014385

MR. WICHAN CHANTASING 37014396

MISS VILASINEE THAVEELERT 37014408

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE BACHELOR'S DEGREE OF CONSTRUCTION ENGINEERING**

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ในด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1997

การศึกษาและพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้วัสดุพื้นฐานที่มีอยู่ในประเทศไทย
THE STUDY AND IMPROVING HIGH STRENGTH CONCRETE BY USING
AVAILABLE MEATERIALS IN THAILAND

โดย นายวัชรินทร์ เตชะเสถียร
นายวิชาญ จันทสิงห์
นางสาววิลาสินี ทวีเลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษา นายคมสัน มาลีสี

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตที่มีกำลังสูง โดยใช้วัสดุพื้นฐานที่หาได้ง่าย และใช้สารลดน้ำพิเศษในปริมาณน้อยที่สุดที่ให้ค่าการยุบตัวมากกว่า 10 เซนติเมตร รวมทั้งหาราคาของคอนกรีตเทียบกับกำลังอัดที่เกิดขึ้น ทำการทดสอบตัวอย่างจำนวน 12 ส่วนผสม ที่อายุการบ่ม 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน รวมทั้งสิ้น 180 ตัวอย่าง การทดสอบหาค่าการยุบตัวและค่ากำลังรับแรงอัด อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนที่สามารถรับกำลังอัดมากที่สุด คือ ส่วนผสมที่ใช้ปูนซีเมนต์ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไมโครซิลิกา 15% ของปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก สารลดน้ำพิเศษ 2.5 ลิตรต่อน้ำหนักซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา 100 กิโลกรัม หิน 890 กิโลกรัม ทราย 675 กิโลกรัม อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา เท่ากับ 0.26 จะได้ค่าการยุบตัว 13 เซนติเมตร และกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่อายุการบ่ม 28 วัน เท่ากับ 731 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีราคาวัสดุผสมอยู่ระหว่าง 3,200-3,900 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (ไม่รวมภาษีและค่าดำเนินการ)

ABSTRACT

The objectives of this special project are to define the mix design used the least proportion of superplasticizer of high strength concrete and to estimate the cost of those. The total number of cylindrical concrete samples are 180 samples obtained from twelve mix design. Compression and slump test were carried out based on ASTM. The result of the study shows that the highest value of compressive strength is 731 ksc on average. The mix ratio of cement : microsilica : superplasticizer : coarse aggregate : sand : water / (cement + microsilica) is 600 kg/m³ : 90 kg/m³ : 17.25 litre/m³ : 890 kg/m³ : 675 kg/m³ : 0.26, respectively. The cost of high strength concrete is 3,200 - 3,900 baht/m³, excluding tax and overhead.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

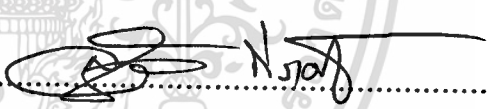
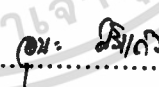
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

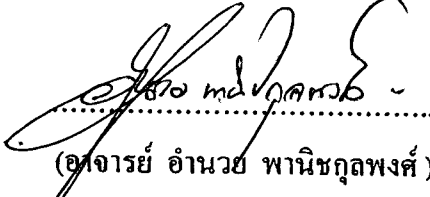
หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาและพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้วัสดุพื้นฐานที่มีในประเทศไทย

นักศึกษา นายวัชรินทร์ เตชาเสถียร 37014385
นายวิชาญ จันทสิงห์ 37014396
นางสาววิลาสินี ทวีเลิศ 37014408

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ คมสัน มาลีสี

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	
2. อาจารย์ สุพจน์ ศิรินิล
3. อาจารย์ อุเบ ศิริแก้ว	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว


.....
(อาจารย์ อำนวย พาณิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาและพัฒนากำลังอค์ของคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้วัสดุพื้นฐานที่มีในประเทศไทย

นักศึกษา นายวัชรินทร์ เตชาเสถียร 37014385
นายวิชาญ จันทสิงห์ 37014396
นางสาววิลาสินี ทวีเลิศ 37014408

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ คมสัน มาลีสี

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์
2. อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล
3. อาจารย์ อุเบ ศิริแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

...../

(อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร

หน้าหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่...เดือน...ปี...พ.ศ.ได้...

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาโครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้ ต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่และน้อง ของคณะผู้ศึกษา ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนกำลังทรัพย์ตลอดการทำโครงการพิเศษเป็นอย่างดี รวมถึงผู้ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล , คำชี้แนะต่างๆ ดังมีรายนามต่อไปนี้

อาจารย์คมสัน มาลีสี , อาจารย์อุษะ ศิริแก้ว , อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล และอาจารย์สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำที่มีคุณค่าและช่วยตรวจสอบแก้ไขโครงการวิจัยฉบับนี้ด้วยดีมาตลอด

คุณสุริยัน ปิติพิรกุล รองประธาน บริษัท นำเฮงคอนกรีต (1992) จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์วัสดุมวลรวม และแบบหล่อคอนกรีตสำหรับใช้ในการศึกษา

คุณณรงค์ศักดิ์ ลีวานิชกิจ วิศวกร บริษัท นำเฮงคอนกรีต(1992) จำกัด ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการจัดทำโครงการพิเศษนี้

คุณกิตติสุข สุขวิเศษศักดิ์ ผู้แทนฝ่ายขาย บริษัท W.R. GRACE (Thailand) Limited ผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสารลดน้ำ และ ไมโครซิลิกา ที่ใช้ในการศึกษา

เจ้าหน้าที่ประจำอาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์การทดสอบ ตลอดจนให้ความสะดวกตลอดการทำโครงการพิเศษนี้

เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ ขอให้ความดีและประโยชน์ทั้งหลาย อันพึงจะมีได้จากโครงการพิเศษฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ที่ได้ให้การอบรมสั่งสอนและชี้แนะคณะผู้จัดทำตลอดมา

นายวัชรินทร์ เตชะเสถียร

นายวิชาญ จันทสิงห์

นางสาววิลาสินี ทวีเลิศ

คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(i)
ABSTRACT	(i)
หน้าอำนวยการ	(ii)
กิตติกรรมประกาศ	(iii)
สารบัญ	(iv)
รายการตารางประกอบ	(vi)
รายการรูปประกอบ	(vii)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ทิวไป	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.3 วัตถุประสงค์	1
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงที่ผ่านมา	3
2.2 วัสดุผสมในคอนกรีต	3
2.3 กำลังอัดของคอนกรีต	5
2.4 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่าง	6
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา	
3.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์	7
3.2 ตัวอย่างการหาปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต	7
3.3 ขั้นตอนการผสมคอนกรีตและการเก็บก้อนตัวอย่าง	8
3.4 วิธีการทดสอบ	8
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์	
4.1 คุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูง	10
4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	10
4.3 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	11
4.4 ข้อบกพร่องในการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	11
4.5 ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต	11
4.6 ราคาของส่วนผสมของคอนกรีต	11
4.7 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่าง	12

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้อัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 5 สรุปลผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปลผล	21
5.2 ข้อเสนอแนะ	22
ภาคผนวก ก	23
ภาคผนวก ข	45
บรรณานุกรม	(viii)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการตารางประกอบ

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	แสดงสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	4
ตารางที่ 2.2	แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตเมื่อใช้สารลดน้ำพิเศษ	5
ตารางที่ 3.1	จำนวนแท่งตัวอย่างคอนกรีตจากส่วนผสมต่างๆ	9
ตารางที่ 4.1	สรุปผลการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต	13
ตารางที่ 4.2	แสดงการพัฒนาการรับแรงอัดเป็น% เปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน	17
ตารางที่ 4.3	แสดงปฏิกิริยาส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูง	18
ตารางที่ 4.4	ราคาของวัสดุต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร	19
ตารางที่ 5.1	แสดงผลกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	21
ตารางที่ 5.2	แสดงการเปรียบเทียบราคากับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	22
ตารางที่ A1-A12	แสดงผลการทดสอบ	24
ตารางที่ ก2.1	สรุปการผันแปรของกำลังอัดตัวอย่างคอนกรีต	36
ตารางที่ ก2.2	เกณฑ์ในการประเมินการควบคุมการผลิต	37
ตารางที่ ก2.3	เกณฑ์ในการประเมินการควบคุมคุณภาพ	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการรูปประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก	6
รูปที่ 4.1-4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลาการบ่ม 3 , 7 และ 28 วัน กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับไมโครซิลิกา ตามลำดับ	14
รูปที่ 4.4-4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา กับกำลังรับแรงอัด เมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 500, 550 และ 600 kg/m ³	15
รูปที่ 4.7-4.9 แสดงการพัฒนา กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 500, 550 และ 600 kg/m ³ ตามลำดับ	16
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาของคอนกรีตต่อลูกบาศก์เมตรกับ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา	20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ททั่วไป

การก่อสร้างในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็นลำดับทั้งด้านการออกแบบ วิธีการก่อสร้างและวัสดุก่อสร้าง ในส่วนวัสดุ คอนกรีตถือเป็นวัสดุที่สำคัญมาก ปัจจุบันการพัฒนาคุณภาพของงานคอนกรีตมีความจำเป็นต้องทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้นเป็นลำดับและสามารถปรับแต่งให้คุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานนั้นๆ คอนกรีตกำลังสูงควรต้องสามารถทำงานได้โดยง่าย ไม่เกิดการแยกตัวและเมื่อเป็นคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วก็ต้องมีคุณสมบัติรับกำลังอัดได้สูงตามที่ต้องการและปราศจากรอยแตกร้าวจากการหดตัวรวมถึงมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี

การผลิตคอนกรีตกำลังสูงจะต้องควบคุมคุณภาพวัสดุ ปริมาณส่วนผสม ขบวนการผลิตตลอดจนการบ่มเป็นอย่างดีจึงจะได้คอนกรีตที่มีกำลังสูงตามต้องการ โดยทั่วไปจะพิจารณาลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ให้น้อยลงแต่เมื่อลดลงมาถึงระดับหนึ่งจะทำงานได้ยาก ไม่สะดวกเพราะแข็งเกินไป จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้สารเคมีเพิ่ม โดยเฉพาะสารที่ทำให้เกิดความลื่นไหล เพื่อให้สามารถทำงานได้ในระดับปกติ ผลสืบเนื่องของคอนกรีตกำลังสูงจะทำให้คอนกรีตมีโมดูลัสยืดหยุ่นและการที่บ่มน้ำสูงขึ้น การหดตัวและแตกร้าวภายในน้อย จึงทำให้คุณภาพการใช้งานดีขึ้นตามกำลังที่สูงขึ้นด้วย

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการก่อสร้างได้เจริญก้าวหน้าไปอย่างมาก ซึ่งในต่างประเทศได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพสูง คอนกรีตกำลังสูงจึงได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับงานก่อสร้างที่ต้องการความรวดเร็ว สามารถเพิ่มพื้นที่ใช้สอย ลดขนาดโครงสร้าง และลดน้ำหนักตัวอาคารลง

การศึกษาคอนกรีตที่มีกำลังสูงมากจะต้องใช้วัสดุผสมเพิ่มเพื่อช่วยในการเชื่อมประสานระหว่างมวลต่างๆ และเป็นตัวอุดประสานช่องว่างระหว่างซีเมนต์ วัสดุดังกล่าวก็คือไมโครซิลิกา (Microsilica) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์ประมาณ 100 เท่า และมีการใช้สารลดน้ำ เพื่อทำการลดน้ำส่วนเกินในคอนกรีตซึ่งทำให้กำลังของคอนกรีตที่ได้สูญเสียไป

การทำโรงงานพิเศษนี้เป็นการจัดทำขึ้นเพื่อหาปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงโดยมุ่งเน้นในการคัดเลือกวัสดุพื้นฐานให้ได้มาตรฐานและการใช้ปริมาณสารลดน้ำพิเศษน้อยที่สุด

1.3 วัตถุประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (1) เพื่อศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติด้านการรับกำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (2) เพื่อหาประสิทธิภาพส่วนผสมคอนกรีตที่ให้กำลังอัดสูงโดยใช้สารลดน้ำพิเศษในอัตราที่น้อยที่สุด และมีค่าการยุบตัวมากกว่า 10 เซนติเมตร
- (3) เพื่อหาราคาของคอนกรีตที่ได้เทียบกับกำลังอัดของคอนกรีต

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- (1) วัสดุ ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ประเภทที่ 1 ทรายข้าง ไม้โครซิลิกาชนิดผง ชื่อการค้า FORCE 10,000 ของบริษัท W.R.GRACE (Thailand) Limited สารลดน้ำพิเศษชื่อการค้า DAREX SUPER 20 ของบริษัท W.R GRACE (Thailand) Limited
- (2) วิธีทดสอบ อ้างอิง มาตรฐาน ASTM C39 สำหรับ ทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทรงกระบอก มาตรฐาน ASTM C143 สำหรับ ทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต
- (3) บ่มตัวอย่างทดสอบในน้ำสะอาดเป็นเวลา 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน
- (4) อัตราส่วนผสมในคอนกรีต
 - อัตราส่วนน้ำต่อ ซีเมนต์กับ ไม้โครซิลิกา อยู่ระหว่าง 0.26-0.34
 - ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้คือ 500 550 และ 600 ในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 - ไม้โครซิลิกา 15% ของปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก
 - สารลดน้ำพิเศษ อัตราไม่เกิน 2.5 ลิตรต่อซีเมนต์รวมกับ ไม้โครซิลิกา 100 กิโลกรัม
 - อัตราส่วนทรายต่อมวลรวม (S/A) เท่ากับ 0.43
 - ตัวอย่างทดสอบทั้งสิ้น 180 ตัวอย่าง ได้จาก 12 ส่วนผสม แต่ละส่วนผสมมี 15 ตัวอย่าง โดยแบ่งออกทดสอบที่อายุ 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน วันละ 5 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูง

การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงที่ผ่านมา ได้มีการรวบรวมและเผยแพร่โดยสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2537) อาทิอ้างถึงผลงานของ กิติกร ต้นเปาว์ และ ณรงค์ศักดิ์ ลีวานิชกิจ (2537) ซึ่งได้สรุปผลการวิจัยว่า การผลิตคอนกรีตคุณภาพสูงในระดับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตประมาณ 600-700 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สามารถทำได้ด้วยการควบคุมส่วนผสมต่างๆ ดังนี้คือ ขนาดผลของมวลรวมควรเป็นไปตามช่วงขนาดผลตามมาตรฐาน ASTM C33 โดยมีค่าอัตราส่วนทรายต่อมวลรวม อยู่ระหว่าง 0.40-0.45 อัตราของสารลดน้ำพิเศษที่ใช้ควรมีค่า 1.5-2.5 ลิตรต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา 100 กิโลกรัม อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา $[W/(C+M)]$ มีค่า 0.23-0.30 ปริมาณปูนซีเมนต์อยู่ในช่วง 450-550 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณไมโครซิลิกาที่ใช้ควรอยู่ระหว่าง 10-15% ของปริมาณปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีผลงานวิจัยเรื่องปฏิภาคส่วนผสมสำหรับคอนกรีตคุณภาพสูงโดยพิชัย นิมิตรยงสกุล (2536) พบว่า คอนกรีตที่ผสมโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.22 อัตราส่วนทรายต่อมวลรวม เท่ากับ 0.42 ขนาดโตสุดของหิน $3/8''$ ไมโครซิลิกา 10% ของปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก สามารถให้กำลังอัดได้สูงถึง 1,053 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ยุทธชัย บุตรศรี และ รัฐพงศ์ พันธุ์จัตติยะ (2537) ได้ศึกษาเรื่องคอนกรีตที่มีการไหลและมีกำลังสูงในประเทศไทย พบว่าคอนกรีตที่ผสมโดยใช้ปูนซีเมนต์ 590 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หินขนาดโตสุด $3/4''$ ความถ่วงจำเพาะ 2.658 ทรายมีความถ่วงจำเพาะ 2.58 ไมโครซิลิกา 10% ของปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก สารลดน้ำพิเศษ 3% ของปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก จะให้กำลังอัดสูงสุด 812 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

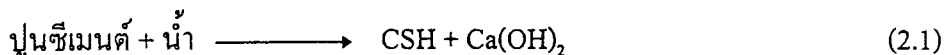
2.2 วัสดุผสมในคอนกรีต ชวัลลภ เศรษฐบุตร (2537) อธิบายถึงวัสดุผสมในคอนกรีต ดังนี้

(1) ปูนซีเมนต์ ประกอบด้วยออกไซด์ 2 กลุ่ม คือ

- ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3
- ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 และยิปซัม

ออกไซด์หลักจะรวมตัวเกิดเป็นสารประกอบหลัก 4 อย่าง ดังตารางที่ 2.1

การก่อตัวและการแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันดังสมการ (2.1)



CSH เป็นกาวเชื่อมให้ส่วนผสมคอนกรีตจับตัวกัน

เอกสารที่ Ca(OH)_2 มีประมาณ 25% โดยปริมาตรเป็นผลเสียทำให้เกิดฝ้าขาว าดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่มีกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียม ซิลิเกต (Tricalcium Silicate)	$3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
ไดแคลเซียม ซิลิเกต (Dicalcium Silicate)	$2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
ไตรแคลเซียม อลูมิเนต (Tricalcium Aluminate)	$3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
เตตราแคลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferrite)	$4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

(2) มวลรวม แบ่งตามขนาดได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

- มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้แก่ หินหรือกรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มิลลิเมตรขึ้นไป หรือค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4

- มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ได้แก่ ทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มิลลิเมตร หรือสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.07 มิลลิเมตร หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200

- Silt มีขนาดประมาณ 0.07 มิลลิเมตร

- Clay มีขนาดอยู่ในช่วง 0.02-0.06 มิลลิเมตร

คุณสมบัติของมวลรวมที่ต้องใช้พิจารณาในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต มีดังนี้

- ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมที่ใช้

- ขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C33

- ปริมาณความชื้นและการดูดซึม

- ความถ่วงจำเพาะ

- หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง

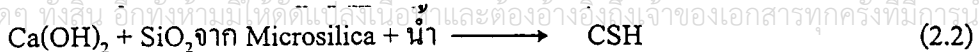
(3) น้ำ เป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตคอนกรีต โดยทำหน้าที่ 3 ประการ คือ

- ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้

- ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้น

- ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรก

(4) ไมโครซิลิกา (Microsilica) มีปริมาณ SiO_2 อยู่สูงกว่า 90% มีความละเอียดสูงมาก ส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว และไมโครซิลิกายังไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ ทำให้คอนกรีตมีความทนทานและกำลังอัดสูงขึ้น ดังสมการ (2.2)



จากสมการเคมีจะเห็นว่า จะได้ CSH เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในด้านกำลังอัด ความทนทาน การที่บ่มน้ำ เป็นต้น

(5) สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) ซัชวาลย์ เศรษฐบุตร (2537) ได้อธิบายว่า สารผสมเพิ่มนี้สามารถลดน้ำในส่วนผสมได้ 15-30% ทั้งนี้เนื่องจากประจุไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดการผลัดกันมากกว่าสารผสมเพิ่มประเภทลดน้ำทั่วไป

สารลดน้ำพิเศษได้มาจากสารประกอบหลัก คือ

- เกลือและสารประกอบของ Lignosulphonate
- เกลือและสารประกอบของ Hydroxycarboxylic Acid
- Polymer เช่น Hydroxylated Polymers

สารผสมเพิ่มชนิดนี้ช่วยลดความต้องการน้ำของคอนกรีต ทั้งนี้เพราะมีคุณสมบัติในการช่วยเปลี่ยนคุณสมบัติของผิวต่อระหว่างของแข็งและน้ำในคอนกรีต ปกติอนุภาคซึ่งมีประจุต่างกันจะดูดรวมกันเป็นกลุ่ม (Flocculate) ซึ่งสามารถดูดน้ำจำนวนมากทำให้เหลือน้ำหล่อลื่นคอนกรีตเหลวอยู่น้อย โมเลกุลของสารผสมเพิ่มชนิดนี้ จะทำให้ประจุเป็นกลางหรือทำให้ประจุบนผิวอนุภาคต่าง ๆ กลายเป็นประจุชนิดเดียวกันจึงเกิดแรงผลัดกันซึ่งกันและกัน ทำให้แยกตัวกันในเนื้อพาสต์ น้ำที่ผสมไปในคอนกรีตส่วนใหญ่จึงสามารถถูกใช้ลดความหนืดของพาสต์

จากผลการศึกษาเรื่องคอนกรีตที่มีความไหลและกำลังสูงในประเทศไทย โดย ยุทธชัย บุตรศรี และ รัฐพงศ์ พันธุ์ชัชดิยะ (2537) ได้แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตเมื่อใช้สารลดน้ำพิเศษ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตเมื่อใช้สารลดน้ำพิเศษ

คุณสมบัติ	ผลที่ได้เมื่อใช้สารลดน้ำ
1. ความสามารถทำงานได้	เพิ่มขึ้น
2. การคายน้ำ	ลดลง
3. ระยะเวลาการก่อตัว	ไม่เปลี่ยนแปลง
4. การรับกำลังอัด	สูงขึ้น
5. การรับแรงดึง	สูงขึ้น
6. ความทนทาน	เพิ่มขึ้น
7. การขยายตัว	ลดลง

2.3 กำลังอัดของคอนกรีต ซัชวาลย์ เศรษฐบุตร (2537) ได้กล่าวไว้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

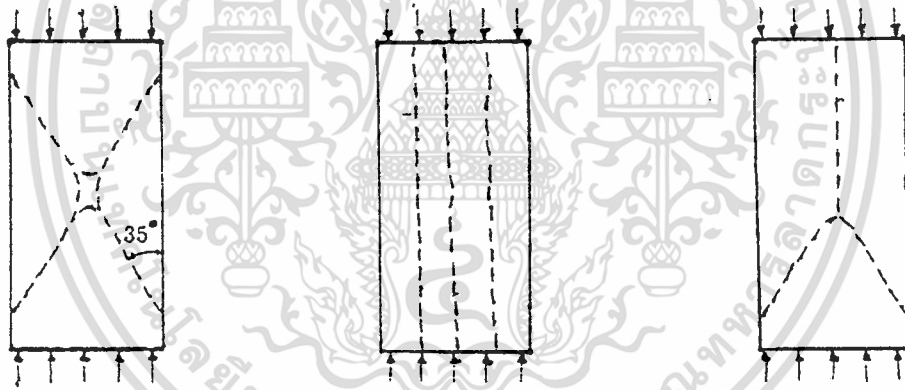
มี 3 ประการ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (1) กำลังอัดของมอร์ต้า ซึ่งขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับ ไมโครซิลิกา เมื่อก่อนนี้เตา ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ และ Degree of Hydration

- (2) กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม พบว่าการเพิ่มปริมาณของมวลรวมในส่วนผสมจะเป็นการเพิ่มกำลังอัด รวมทั้งถ้าใช้หินที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงจะทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น
- (3) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับมอร์ต้า ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น ลักษณะผิวของมวลรวมและปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนกับแร่ธาตุต่างๆ ในเนื้อมวลรวม

2.4 ลักษณะการแตกของตัวอย่างคอนกรีต

ซัชวาลย์ เศรษฐบุตร (2537) กล่าวว่าไว้ว่า ลักษณะการแตกหักของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่รับแรงอัดมักแตกออกเป็นรูปกรวยคู่ (Shear Failure) โดยมีปลายกรวยอยู่ที่กึ่งกลางของทรงกระบอก ดังรูป 2.1(a) โดยเกิดจากการถูกเฉือนในระนาบที่เอียงกับแรงกดอันเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง วัสดุผสมและความเสียดทานภายใน ดังนั้นมุมของการแตกหัก จึงมีค่าเท่ากับ $45^\circ - \phi/2$ เมื่อ ϕ เป็นมุมภายในของความเสียดทานภายในของคอนกรีตซึ่งมีค่าประมาณ 20° ดังนั้นระนาบของความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตจึงเอียงประมาณ 35° ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่าง อาจเป็นการแตกแบบแยกออก (Splitting Failure) ดังรูปที่ 2.1(b) หรืออาจเป็นการรวมของลักษณะการแตกของทั้ง 2 แบบ (Combination Shear and Splitting Failure) ดังรูปที่ 2.1(c)



(a) Shear or 'cone' failure

(b) Splitting or 'columnar' failure

(c) Combination shear and splitting failure

รูปที่ 2.1 การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก (ซัชวาลย์ เศรษฐบุตร 2537 [10])

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษา

การศึกษาและพัฒนาคอนกรีตกำลังสูง มีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานดังนี้

3.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

(1) วัสดุ

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งมีคุณสมบัติตามกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15-2514/2517 ประเภทที่ 1 และมาตรฐานอเมริกัน ASTM C150 Type 1 ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ปูนซีเมนต์ตราช้าง ของเครือซีเมนต์ไทย
- ไมโครซิลิกา (Microsilica) ซึ่งมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM C311 โดยในการศึกษานี้ใช้ไมโครซิลิกาที่มีชื่อการค้าว่า FORCE 10,000 ของ บริษัท W.R. GRACE (Thailand) Limited
- สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) ซึ่งมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM C494 Type A and F และ BS 5075 Part 3 : 1985 โดยในการศึกษานี้ใช้สารลดน้ำพิเศษที่มีชื่อการค้าว่า DAREX SUPER 20 ของ บริษัท W.R. GRACE (Thailand) Limited
- ทราชมะพร้าว มีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus, FM) เท่ากับ 2.6
- หินที่มีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus, FM) เท่ากับ 6.73 ซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุด 10 มิลลิเมตร
- น้ำประปา

(2) อุปกรณ์

- ชุดทดสอบคอนกรีต (Universal Testing Machine)
- ชุดทดสอบ Slump
- Mold และ เครื่องหล่อหมวก (Capped)
- เครื่องผสมคอนกรีตแบบ Tilt

3.2 ตัวอย่างการหาปริมาณส่วนผสมคอนกรีต

- (1) ใช้ปริมาณซีเมนต์ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไมโครซิลิกา 15% ของปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก เท่ากับ 75 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รวมน้ำหนักปูนซีเมนต์กับไมโครซิลิกา เท่ากับ 575 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (2) ปริมาณสารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) ใช้ 2.5 ลิตรต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา 100 กิโลกรัม ดังนั้นใช้ 14.375 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 17.4 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- (3) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา 0.30 ดังนั้นปริมาณน้ำที่ต้องการ $(575 \times 0.30) = 17.4$ เท่ากับ 155.1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) จากอัตราส่วนทรายต่อมวลรวม (S/A) เท่ากับ 0.43 ใช้ปริมาณทรายและหินเท่ากับ 735 และ 970 กิโลกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

(5) ปรับส่วนผสมคอนกรีต โดยทรายมีการดูดซึมน้ำ 1.0% หินมีการดูดซึมน้ำ 0.6%

- ทรายมีความชื้น 0.8% จึงต้องเพิ่มน้ำ 1.47 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และใช้ทรายปริมาณ 733.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

- หินมีความชื้น 0.5% จึงต้องเพิ่มน้ำ 0.1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และใช้หินปริมาณ 969 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.3 ขั้นตอนการผสมคอนกรีตและการเก็บก้อนตัวอย่าง

(1) ขั้นตอนการผสม

- หาปริมาณสารลดน้ำที่เหมาะสมโดยไม่เกิน 2.5 ลิตรต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา 100 กิโลกรัม (ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต) ซึ่งก็คือปริมาณสารลดน้ำพิเศษที่น้อยที่สุด ที่ทำให้คอนกรีตมีค่าการยุบตัวมากกว่า 10 เซนติเมตร โดยการลุ่มผสมกับคอนกรีตในแต่ละส่วนผสม

- ในการผสมคอนกรีตจะต้องล้าง โม่ผสมคอนกรีตให้สะอาด ใช้ผ้าสะอาดเช็ดพอหมาๆ จากนั้นใส่หินและทรายที่เตรียมไว้ลงไป หมุนโม่ให้หิน ทรายคละกั้น แล้วจึงเติมปูนซีเมนต์และไมโครซิลิกา ลงไป

- เมื่อส่วนผสมระหว่าง หิน ทราย ปูนซีเมนต์และไมโครซิลิกาเข้ากันดีแล้ว จึงเติมน้ำซึ่งผสมกับสารลดน้ำพิเศษที่เตรียมไว้ ลงไปในโม่ซึ่งน้ำที่ผสมกับสารลดน้ำพิเศษนั้นจะใช้ประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำ ทั้งหมด ส่วนน้ำที่เหลือค่อยๆ เติมน้ำเข้าไปทีละจนหมด สาเหตุที่ต้องผสมสารลดน้ำพิเศษกับน้ำก็เพื่อให้สารลดน้ำพิเศษซึ่งค่อนข้างหนืดได้กระจายตัวทั่วทั้งส่วนผสม

- ในการผสมคอนกรีตตั้งแต่เริ่มโม่ ใส่หิน ทราย ปูนซีเมนต์ ไมโครซิลิกา และ น้ำรวมกับสารลดน้ำพิเศษ จะกระทำภายในเวลา 10 นาที

(2) การเก็บแท่งตัวอย่าง กระทำตามมาตรฐาน ASTM C192 โดยแต่ละส่วนผสมเก็บตัวอย่าง 15 แท่งตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 หลังจากนั้นนำแท่งตัวอย่างไปบ่มในบ่อน้ำสะอาดจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบ จึงนำขึ้นมาจากบ่อน้ำ ทิ้งแท่งตัวอย่างไว้อย่างน้อย 12 ชั่วโมง จึงนำไป Cap หัว ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้ก้ามะถันในการ Cap หัวแท่งตัวอย่างทดสอบกำลังอัดที่อายุการบ่ม 3 วัน และ 7 วัน และใช้ก้ามะถันผสมกับผงกราไฟต์ ในอัตราส่วนประมาณ 1:3 หรือ 1:4 ในการ Cap หัวแท่งตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 28 วัน

3.4 วิธีการทดสอบ ประกอบด้วย

(1) การทดสอบค่าการยุบตัว ตามมาตรฐาน ASTM C143

(2) การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสำหรับตัวอย่างทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM C39 โดยในการทดสอบนี้ใช้ Rate of Loading เท่ากับ 30,000 กิโลกรัมต่อวินาที อุณหภูมิขณะทดสอบคือ 27° C

ตารางที่ 3.1 จำนวนแท่งตัวอย่างคอนกรีตจากส่วนผสมต่าง ๆ

Mix Design	จำนวนครั้งที่ทดสอบ Slump	จำนวนก้อนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบกำลังอัด			
		3 วัน	7 วัน	28 วัน	รวม
500_0.30	1	5	5	5	15
500_0.32	1	5	5	5	15
500_0.34	1	5	5	5	15
550_0.28	1	5	5	5	15
550_0.30	1	5	5	5	15
550_0.32	1	5	5	5	15
550_0.34	1	5	5	5	15
600_0.26	1	5	5	5	15
600_0.28	1	5	5	5	15
600_0.30	1	5	5	5	15
600_0.32	1	5	5	5	15
600_0.34	1	5	5	5	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์

4.1 คุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูง

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตดังแสดงในภาคผนวก ตาราง A1 ถึงตาราง A12 สามารถสรุปได้ว่า ส่วนผสมที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ รวมกับไมโครซิลิกา 0.30 ที่อายุการบ่ม 3 วัน จะมีความหนาแน่นเฉลี่ย 2,444 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ากำลังอัดเฉลี่ย 388.28 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าการยุบตัว 18 เซนติเมตร ซึ่งค่ากำลังอัดเฉลี่ย ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ส่วนผสมอื่นๆ แสดงในตารางที่ 4.1

4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูง

(1) ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมคอนกรีตมีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา $[W/(C+M)]$ เดียวกัน นั่นคือคอนกรีตที่ผสมโดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ผสมโดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 550 และ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และพบว่าคอนกรีตที่ผสมโดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา $[W/(C+M)]$ เท่ากับ 0.26 ให้กำลังรับแรงอัดสูงที่สุด ทั้งที่อายุการบ่ม 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน โดยกำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 3 วัน มีค่าประมาณ 540 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 7 วัน มีค่าประมาณ 665 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และที่อายุการบ่ม 28 วัน มีค่าประมาณ 730 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนคอนกรีตที่ผสมโดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา $[W/(C+M)]$ เท่ากับ 0.34 ให้กำลังรับแรงอัดต่ำที่สุด ทั้งที่อายุการบ่ม 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน โดยกำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 3 วัน มีค่าประมาณ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 7 วัน มีค่าประมาณ 370 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และที่อายุการบ่ม 28 วัน มีค่าประมาณ 620 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.3

(2) คอนกรีตที่ผสมโดยใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา $[W/(C+M)]$ เท่ากับ 0.26 จะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ผสมโดยใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา $[W/(C+M)]$ เท่ากับ 0.28 0.30 0.32 และ 0.34 ตามลำดับ ทั้งส่วนผสมที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 600 550 และ 500 ในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยส่วนผสมที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะได้กำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา $[W/(C+M)]$ เท่ากับ 0.26 0.28 0.30 0.32 และ 0.34 ดังนี้คือ 731 725 713 690 และ 652 ในหน่วยกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ส่วนผสมอื่นๆ แสดงในรูปที่ 4.4 ถึงรูปที่ 4.6
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต พบว่าคอนกรีตที่ผสมโดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 500 550 และ 600 ในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีกำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 3 วัน ประมาณ 50-60% 50-70% และ 70-75% ของกำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่อายุการบ่ม 28 วัน ตามลำดับ และมีกำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7 วัน ประมาณ 60-65% 55-75% และ 75-90% ของกำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่อายุการบ่ม 28 วัน จะเห็นได้ว่าการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีส่วนผสมโดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่ามากกว่าส่วนผสมที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 550 และ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.9

4.4 ข้อบกพร่องในการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ในบางชุดทดสอบกำลังรับแรงอัด มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD) และ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง ดังตาราง B2 และ B3 ในภาคผนวก ซึ่งอาจมีข้อบกพร่องเนื่องจากการทดสอบ ดังนี้

(1) ที่ $W/(C+M)$ เดียวกัน ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์และอายุการบ่มเท่ากัน (แห่งทดสอบที่ได้จากไม้เดียวกัน)

- การ Cap หัวแท่งตัวอย่างอาจจะเอียงเล็กน้อยไม่ได้ระนาบกับหัวกดของชุดทดสอบ

- คอนกรีตที่ทำการทดสอบมีความหนืดสูง ตัวอย่างคอนกรีตทดสอบที่ได้จากการกระทุ้งอาจไม่สม่ำเสมอ

- ขาดความชำนาญในการเก็บตัวอย่างและทดสอบตัวอย่างคอนกรีต

(2) ที่ $W/(C+M)$ ต่างกัน ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์และอายุการบ่มเท่ากัน (แห่งทดสอบที่ได้จากไม้ต่างกัน) ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้มีค่าผิดพลาดคือ เมื่อค่า $W/(C+M)$ เพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างบางก้อนมีค่าเพิ่มขึ้นแทนที่จะมีค่าลดลง ซึ่งอาจจะมีสาเหตุดังต่อไปนี้

การควบคุมความสะอาดของวัสดุมวลรวมที่ใช้

- การควบคุมการซั่งดวงส่วนผสมต่างๆ

- ระยะเวลาในการถอดแบบและบ่มน้ำไม่เท่ากันดีพอ

4.5 ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต จากการคำนวณส่วนผสมของคอนกรีต จะได้ว่า ส่วนผสมของคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 500 กิโลกรัม อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับไมโครซิลิกา 0.30 จะใช้ไมโครซิลิกา 75 กิโลกรัม สารลดน้ำพิเศษ 14.375 ลิตร น้ำ 155.11 กิโลกรัม ทราย 735 กิโลกรัม และหิน 970 กิโลกรัม โดยค่าส่วนผสมอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 4.3

4.6 ราคาของส่วนผสมของคอนกรีต จากการคำนวณราคาส่วนผสมของคอนกรีตโดยไม่รวมค่าแรงงานและค่าขนส่ง พบว่า ในส่วนผสมของคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 500 กิโลกรัม อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับไมโครซิลิกา 0.30 จะได้ราคาของปูนซีเมนต์คิดเป็นเงิน 900 บาท ไมโครซิลิกา 1,500 บาท สารลดน้ำพิเศษ 431 บาท หิน 283 บาท และ ทราย 247 บาท รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 3,361 บาท ส่วนราคาส่วนผสมอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.10

ราคาของวัสดุที่ใช้ในการทำส่วนผสม (เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2541)

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ราคา 90 บาท/ถุง
- ไมโครซิลิกา ราคา 20 บาท/กิโลกรัม
- สารลดน้ำพิเศษ ราคา 30 บาท/ลิตร
- หิน ราคา 300 บาท/ลูกบาศก์เมตร
- ทราย ราคา 260 บาท/ลูกบาศก์เมตร

หน่วยน้ำหนักของมวลรวม 1,500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตัวอย่างการคำนวณราคาของคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

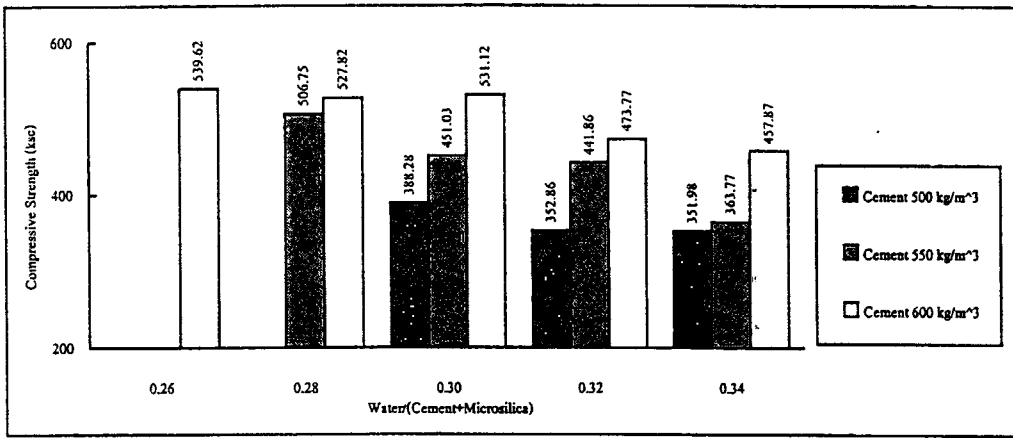
สมมติการคำนวณราคาของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับไมโครซิลิกา 0.30 ปูนซีเมนต์ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

- ราคาปูนซีเมนต์	=	$\frac{\text{ปริมาณซีเมนต์}}{\text{คอนกรีต } 1 \text{ m}^3} \times \text{ราคาต่อหน่วย}$
	=	$500 \times 90/50 = 900 \text{ บาท}$
- ราคาไมโครซิลิกา	=	$\frac{\text{ปริมาณไมโครซิลิกา}}{\text{คอนกรีต } 1 \text{ m}^3} \times \text{ราคาต่อหน่วย}$
	=	$75 \times 20 = 1,500 \text{ บาท}$
- ราคาสารลดน้ำพิเศษ	=	$\frac{\text{ปริมาณสารลดน้ำพิเศษ}}{\text{คอนกรีต } 1 \text{ m}^3} \times \text{ราคาต่อหน่วย}$
	=	$14.375 \times 20 = 431.25 \text{ บาท}$
- ราคาหิน	=	$\frac{\text{ปริมาณหิน}}{\text{คอนกรีต } 1 \text{ m}^3} \times \text{ราคาต่อหน่วย}$
	=	$970 \times 300/1,026 = 283.63 \text{ บาท}$
- ราคาทราย	=	$\frac{\text{ปริมาณทราย}}{\text{คอนกรีต } 1 \text{ m}^3} \times \text{ราคาต่อหน่วย}$
	=	$735 \times 260/774 = 246.90 \text{ บาท}$
ราคารวม	=	$900+1,500+431.25+283.63+246.9$
	=	$3,361.78 \text{ บาท}$

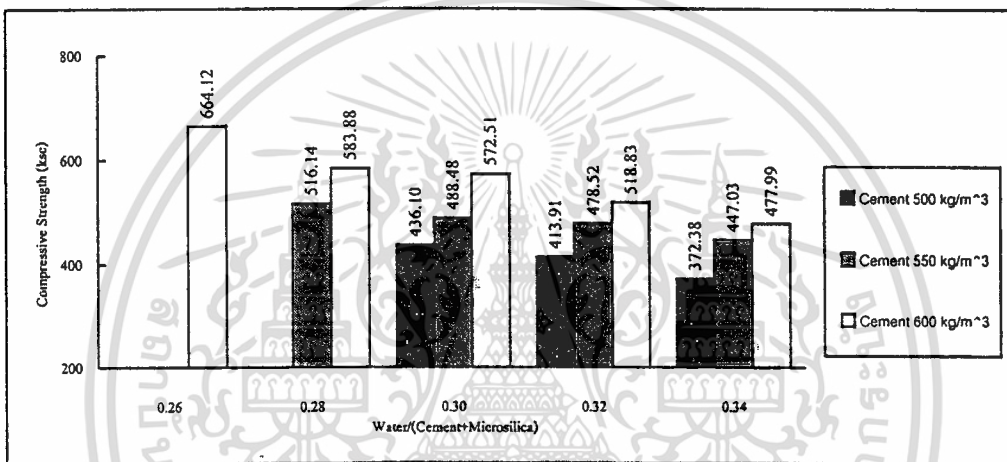
4.7 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่าง เมื่อนำก้อนตัวอย่างที่อายุการบ่มครบตามกำหนด มาทดสอบกำลังรับแรงอัดแล้ว พบว่า ลักษณะการแตกของก้อนทรงกระบอกตัวอย่างคอนกรีต จะแตกออกเป็นแบบกรวยคู่ (Shear Failure) เป็นส่วนใหญ่ โดยมีปลายกรวยอยู่ที่กึ่งกลางของก้อนทรงกระบอกตัวอย่างคอนกรีต ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4 และภาพการแตกของก้อนทรงกระบอกตัวอย่างคอนกรีตแสดงในภาคผนวก ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต

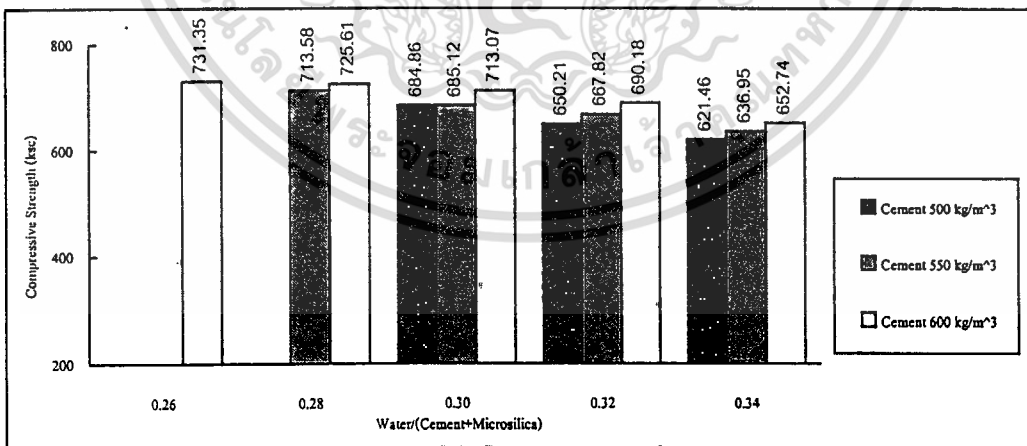
ปูนซีเมนต์ (kg/m ³)	W/(C+M)	อายุการบ่ม (วัน)	ความหนาแน่นเฉลี่ย (kg/m ³)	ค่ากำลังอัดเฉลี่ย (ksc)	ค่าการยุบตัว (cm)
500	0.3	3	2444	388.28	18
		7	2434	436.1	18
		28	2463	684.86	18
500	0.32	3	2423	352.86	12.5
		7	2420	413.91	12.5
		28	2424	650.21	12.5
500	0.34	3	2425	351.98	12
		7	2436	342.38	12
		28	2415	621.46	12
550	0.28	3	2429	506.75	12.5
		7	2420	516.14	12.5
		28	2442	713.58	12.5
550	0.3	3	2415	451.03	13
		7	2351	488.48	13
		28	2446	685.12	13
550	0.32	3	2415	441.86	11
		7	2432	478.52	11
		28	2440	667.85	11
550	0.34	3	2415	363.77	15
		7	2418	447.03	15
		28	2417	636.95	15
600	0.26	3	2442	539.62	16
		7	2417	664.12	16
		28	2428	731.35	16
600	0.28	3	2418	527.82	20
		7	2437	583.88	20
		28	2426	725.61	20
600	0.3	3	2415	531.12	11.5
		7	2421	572.51	11.5
		28	2437	713.07	11.5
600	0.32	3	2435	473.77	14
		7	2429	518.83	14
		28	2375	690.18	14
600	0.34	3	2412	457.87	16
		7	2430	477.99	16
		28	2380	652.74	16



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และไมโครซิลิกา

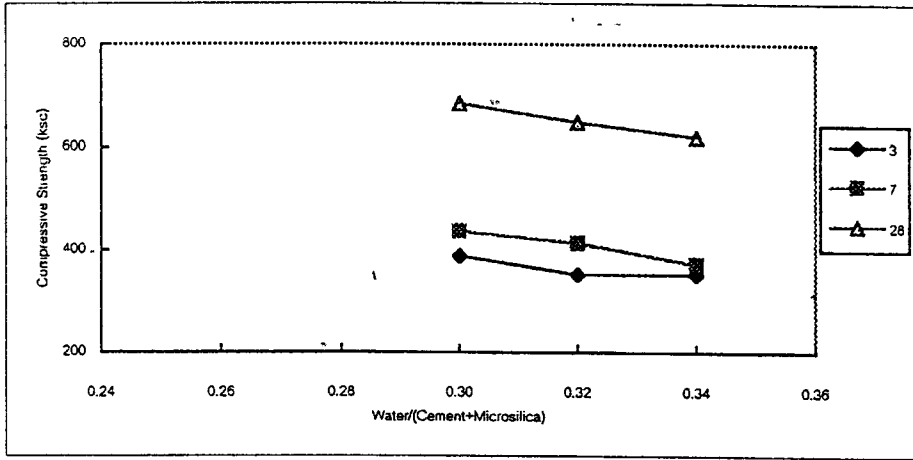


รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และไมโครซิลิกา

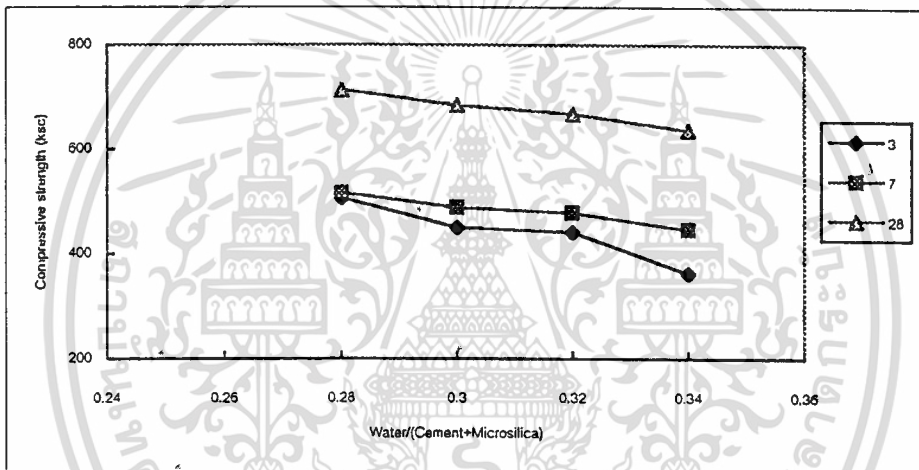


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และไมโครซิลิกา

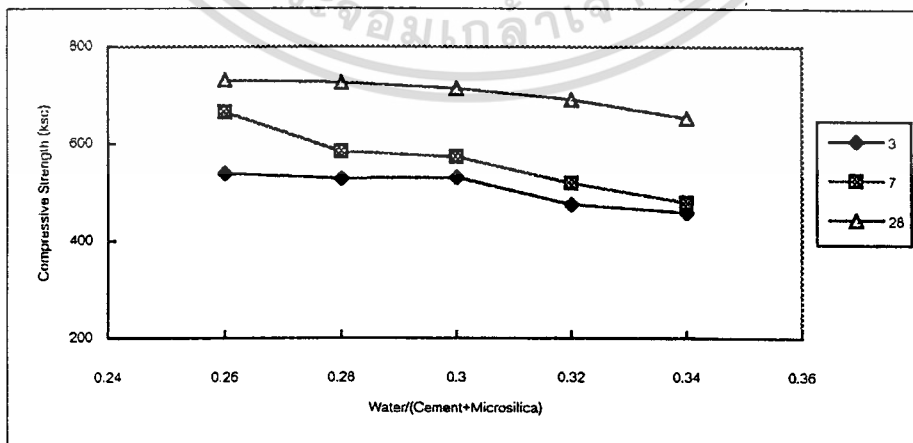
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



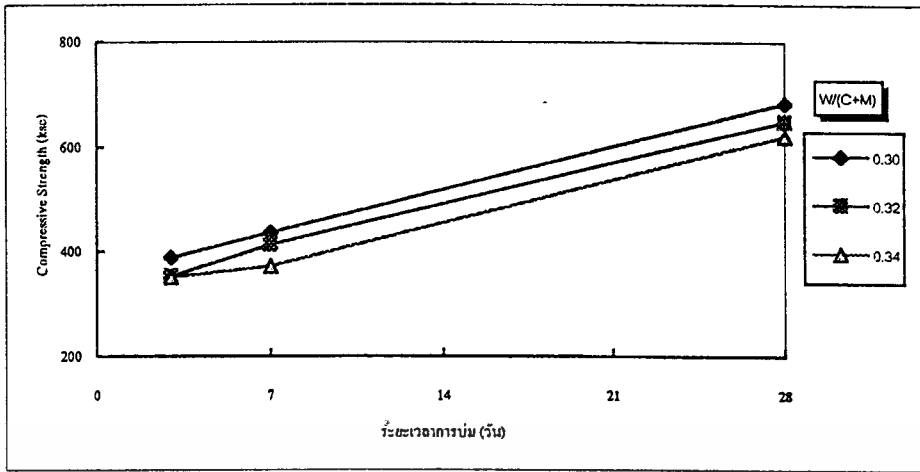
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และไมโครซิลิกา กับกำลังรับแรงอัดเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ 500 kg/m³



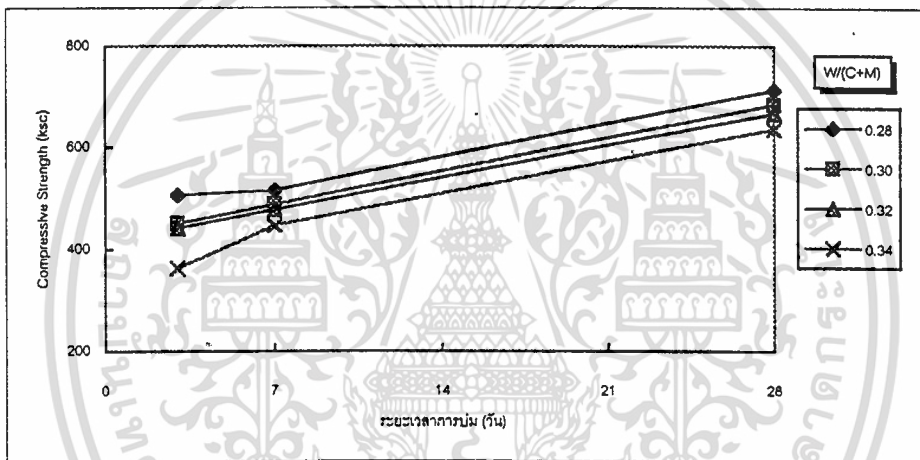
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และไมโครซิลิกา กับกำลังรับแรงอัดเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ 550 kg/m³



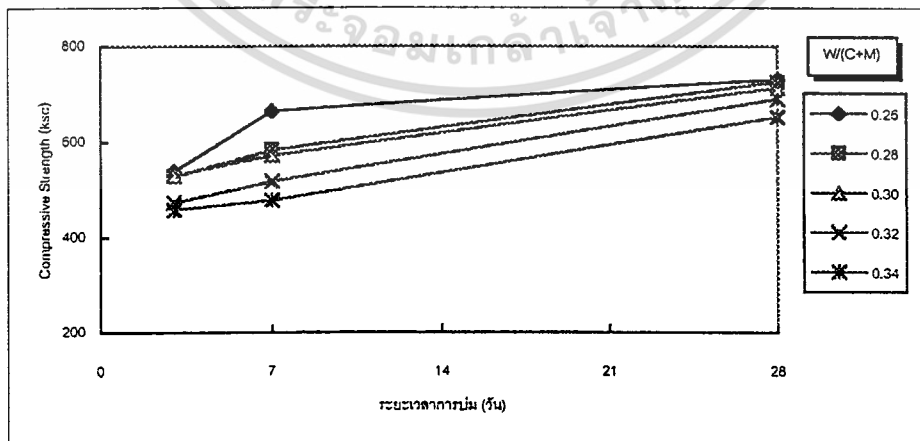
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และไมโครซิลิกา กับกำลังรับแรงอัดเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ 600 kg/m³ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ 500 kg/m³



รูปที่ 4.8 แสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ 550 kg/m³



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.9 แสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ 600 kg/m³ ด้านการคำนวณกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่คำนวณได้จะขึ้นอยู่กับค่าของคอนกรีตที่นำมาใช้ ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดเป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 28

Cement (kg/m ³)	Water/(Cement+Microsilica)	อายุการบ่ม 3 วัน		อายุการบ่ม 7 วัน		อายุการบ่ม 28 วัน	
		(ksc)	%	(ksc)	%	(ksc)	%
500	0.30	388.28	56.69	436.1	63.68	684.86	100
	0.32	352.86	54.27	413.91	63.66	650.21	100
	0.34	351.98	56.64	372.38	59.92	621.46	100
550	0.28	506.75	71.02	516.14	72.33	713.58	100
	0.30	451.03	50.96	488.48	55.19	685.12	100
	0.32	441.86	66.16	478.52	71.65	667.82	100
	0.34	363.77	57.13	477.03	70.21	636.74	100
600	0.26	539.62	73.78	664.12	90.81	731.35	100
	0.28	527.82	72.74	664.12	91.53	725.61	100
	0.30	531.12	74.48	572.51	80.29	713.07	100
	0.32	473.77	68.64	518.83	75.17	690.18	100
	0.34	457.87	70.15	477.99	73.23	652.74	100

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูง

Cement (kg)	Microsilica (kg)	Cement+Microsilica (kg)	W/(C+M)	สารลดน้ำพิเศษ Litre/100kg (C+M)	สารลดน้ำพิเศษ Litre	สารลดน้ำพิเศษ (kg)	Water (kg)	ทราย (kg)	หิน (kg)	ทราย+หิน (kg)	S/A
500	75	575	0.30	2.5	14.375	17.39	155.11	735	970	1705	0.43
500	75	575	0.32	2.3	13.225	16.00	168.00	735	970	1705	0.43
500	75	575	0.34	1.8	10.35	12.52	182.98	735	970	1705	0.43
550	82.5	632.5	0.28	2.5	15.81	19.13	157.97	705	930	1635	0.43
550	82.5	632.5	0.30	2.3	14.55	17.60	172.15	705	930	1635	0.43
550	82.5	632.5	0.32	2.0	12.65	15.31	187.09	705	930	1635	0.43
550	82.5	632.5	0.34	1.6	10.12	12.25	202.80	705	930	1635	0.43
600	90	690	0.26	2.5	17.25	20.87	158.53	675	890	1565	0.43
600	90	690	0.28	2.2	15.18	18.37	174.83	675	890	1565	0.43
600	90	690	0.30	1.8	12.42	15.03	191.97	675	890	1565	0.43
600	90	690	0.32	1.6	11.04	13.36	207.44	675	890	1565	0.43
600	90	690	0.34	1.3	8.97	10.85	223.75	675	890	1565	0.43



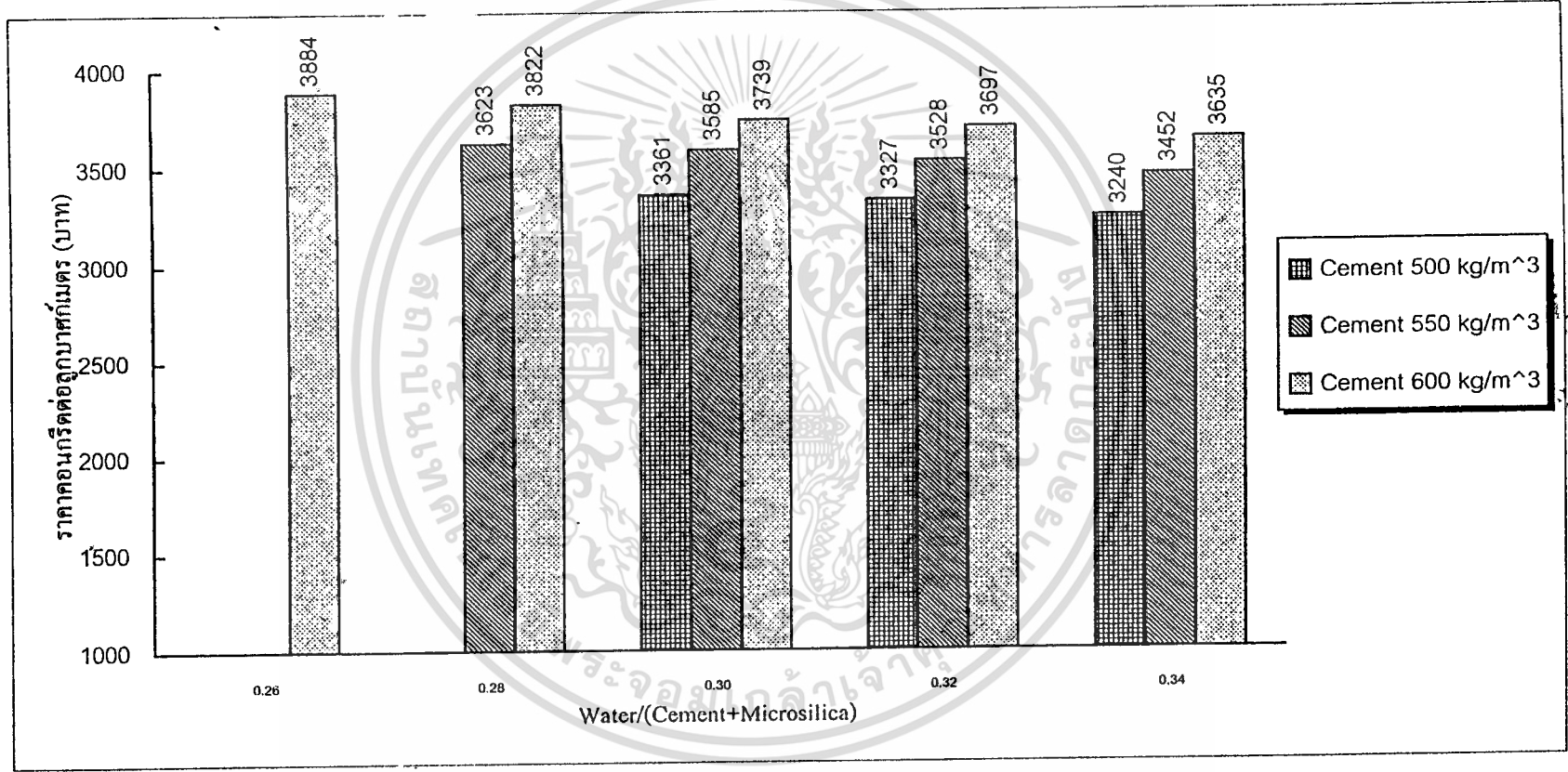
ตารางที่ 4.4 ราคาวัสดุคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

ปูนซีเมนต์ (kg/m ³)	W/(C+M)	ปูนซีเมนต์ (บาท)	ไม้ท่อนซุง (บาท)	สารลดน้ำพิเศษ (บาท)	หิน (บาท)	ทราย (บาท)	ราคารวม (บาท)
500	0.30	900	1500	431	283	247	3361
500	0.32	900	1500	396	283	247	3327
500	0.34	900	1500	310	283	247	3240
550	0.28	990	1650	474	272	237	3623
550	0.30	990	1650	436	272	237	3585
550	0.32	990	1650	379	272	237	3528
550	0.34	990	1650	303	272	237	3452
600	0.26	1080	1800	517	260	227	3884
600	0.28	1080	1800	455	260	227	3822
600	0.30	1080	1800	372	260	227	3739
600	0.32	1080	1800	331	260	227	3697
600	0.34	1080	1800	268	260	227	3635

หมายเหตุ : ราคาในตารางไม่รวมค่าแรงงานและค่าขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
-ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

039008



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาของคอนกรีตต่อ m³ กับ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และไมโครซิลิกา

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป จากผลการทดสอบและศึกษา สามารถสรุปผลได้ดังนี้

(1) คอนกรีตกำลังสูงซึ่งผสมไมโครซิลิกา ในอัตราส่วน 15% ของปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักและสารลดน้ำพิเศษ ในอัตราไม่เกิน 2.5 ลิตรต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา 100 กิโลกรัมจะให้ค่ากำลังรับแรงอัด ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงผลกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ปริมาณปูนซีเมนต์ (kg/m ³)	เวลาการบ่ม (วัน)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
500	3	350-390
	7	370-440
	28	620-690
550	3	360-510
	7	440-520
	28	630-720
600	3	450-540
	7	480-660
	28	650-730

(2) ความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับตัวแปร ดังนี้

- ปริมาณปูนซีเมนต์
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา [W/(C+M)]
- ปริมาณของสารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer)

(3) ส่วนผสมของคอนกรีตที่ให้กำลังรับแรงอัดสูงที่สุด คือส่วนผสมที่ใช้ปูนซีเมนต์ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สารลดน้ำพิเศษ 2.5 ลิตรต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา 100 กิโลกรัม ไมโครซิลิกา 15% ของปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก หิน 890 กิโลกรัม ททราย 675 กิโลกรัม อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา [W/(C+M)] เท่ากับ 0.26 มีค่าการยุบตัว 13 เซนติเมตร จะได้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเฉลี่ย 731 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

(4) การเปรียบเทียบราคากับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต พบว่าที่ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนผสมที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา [W/(C+M)] เท่ากับ 0.30 จะมีการเพิ่มของราคาส่วนผสมน้อยที่สุด และส่วน

ผสมที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมกับไมโครซิลิกา [W/(C+M)] เท่ากับ 0.34 จะมีการเพิ่มของราคาส่วนผสมมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบราคากับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ปูนซีเมนต์ (kg/m ³)	W/(C+M)	กำลังรับแรง อัดที่ 28 วัน (ksc)	% ของกำลังอัดที่ เพิ่มขึ้นเทียบกับ คอนกรีตทั่วไป	ราคา	% ของราคาที่ เพิ่มขึ้นเทียบกับ คอนกรีตทั่วไป	ราคาเมื่อ กำลังรับแรง อัดเพิ่มขึ้น 1 ksc
คอนกรีตทั่วไป		280	-	1820	-	-
500	0.30	685	144	3361	85	3.80
500	0.32	650	132	3327	83	4.07
500	0.34	622	122	3240	78	4.15
550	0.28	714	155	3623	99	4.15
550	0.30	685	145	3585	97	4.36
550	0.32	668	138	3528	94	4.40
550	0.34	636	127	3452	90	4.58
600	0.26	731	161	3884	113	4.58
600	0.28	725	159	3822	110	4.50
600	0.30	713	154	3739	105	4.43
600	0.32	690	146	3697	103	4.58
600	0.34	653	133	3635	101	4.91

5.2 ข้อเสนอแนะ

- (1) จากราคาคอนกรีตผสมเสร็จทั่วไป 1 ลูกบาศก์เมตร มีราคาอยู่ระหว่าง 1,500-2,000 บาท (List Price) แต่ราคาของคอนกรีตกำลังสูงที่ศึกษา 1 ลูกบาศก์เมตร มีราคาอยู่ระหว่าง 3,200-3,900 บาท จึงควรหาวิธีการลดราคาของคอนกรีตกำลังสูง เช่น ลดเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของไมโครซิลิกา
- (2) การ Cap หัวแท่งตัวอย่างทรงกระบอกให้ได้ระนาบค่อนข้างลำบาก ดังนั้นจึงควรเก็บตัวอย่างรูปลูกบาศก์
- (3) เรื่องที่น่าสนใจควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับคอนกรีตกำลังสูง

- การศึกษาสารปอซโซลานิกอื่นๆ ทดแทนไมโครซิลิกา เช่น ซีเมนต์ลอย

- การนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 4 และ 5 มาทำเป็นคอนกรีตกำลังสูง

- การศึกษาการ Creep และ Shrinkage ของคอนกรีตกำลังสูงเมื่อเวลาผ่านไปนานๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง A1 Compressive Strength

Cement 500 kg/m³, Microsilica 15 % of cement by weight

Water/(Cement + Microsilica) = 0.30, Slump 18 cm.

Superplasticizer 2.5 litre/100 kg. of (Cement + Microsilica)

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่ รับแรง (cm ²)	Average (cm ²)	ปริมาตร (cm ³)	Average (cm ³)	Density (kg/m ³)	Average (kg/m ³)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน(SD)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%)
1	3	13.052	30.10	15.054	177.90		5,354.8		2437		65,700	369.31			
2	3	13.120	30.05	15.003	176.70		5,309.7		2471		61,800	349.75			
3	3	13.021	29.94	15.048	177.76	177.53	5,322.1	5,324.2	2447	2,444	73,200	411.80	388.28	24.521	7.52
4	3	12.885	29.97	15.074	178.37		5,345.8		2410		73,000	409.26			
5	3	12.984	29.89	15.013	176.93		5,288.5		2455		71,000	401.29			
1	7	12.876	29.90	15.049	177.78		5,315.6		2422		82,000	461.24			
2	7	13.030	29.98	15.003	176.70		5,297.3		2460		75,400	426.72			
3	7	13.025	30.14	15.012	176.91	177.89	5,332.0	5,324.7	2443	2,434	83,100	469.74	436.10	24.823	7.70
4	7	12.976	29.80	15.131	179.72		5,355.8		2423		74,300	413.41			
5	7	12.897	29.85	15.072	178.32		5,323.0		2423		73,000	409.37			
1	28	13.145	30.03	15.098	178.94		5,373.6		2446		121,600	679.56			
2	28	13.226	30.04	15.060	178.04		5,348.3		2473		128,000	718.94			
3	28	13.196	29.97	15.074	178.37	178.00	5,345.8	5,353.3	2468	2,463	117,000	655.93	684.86	25.214	7.95
4	28	13.213	30.36	15.049	177.78		5,397.4		2448		117,500	660.93			
5	28	13.154	29.97	15.011	176.88		5,301.2		2481		125,400	708.94			

ตาราง A2 Compressive Strength

Cement 500 kg/m³, Microsilica 15 % of cement by weight

Water/(Cement + Microsilica) = 0.32, Slump 12.5 cm.

Superplasticizer 2.2 litre/100 kg. of (Cement + Microsilica)

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาป่ม (วัน)	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่ รับแรง (cm ²)	Average (cm ²)	ปริมาตร (cm ³)	Average (cm ³)	Density (kg/m ³)	Average (kg/m ³)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน(SD)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%)
1	3	12.932	29.90	15.007	176.79		5,286.0		2446		68,700	388.60			
2	3	12.945	29.97	15.030	177.33		5,314.6		2436		57,600	324.81			
3	3	12.845	30.09	15.087	178.68	177.69	5,376.5	5,318.0	2389	2,423	64,200	359.30	352.86	24.136	7.28
4	3	12.939	29.84	15.070	178.28		5,319.8		2432		65,000	364.60			
5	3	12.751	29.84	15.032	177.38		5,293.0		2409		58,000	326.98			
1	7	12.889	29.92	15.077	178.44		5,339.0		2414		75,800	424.79			
2	7	13.054	29.73	15.115	179.34		5,331.9		2448		75,600	421.54			
3	7	13.020	29.85	15.091	178.77	178.63	5,336.4	5,329.5	2440	2,420	79,000	441.90	413.91	20.216	5.11
4	7	12.678	29.79	15.052	177.85		5,298.2		2393		69,300	389.65			
5	7	12.844	29.89	15.089	178.73		5,342.2		2404		70,000	391.66			
1	28	12.804	29.90	14.992	176.44		5,275.5		2427		119,700	678.43			
2	28	13.061	30.03	15.106	179.13		5,379.3		2428		120,800	674.37			
3	28	12.912	29.93	15.010	176.86	177.64	5,293.4	5,317.2	2439	2,424	106,100	599.91	650.21	31.140	12.12
4	28	12.842	29.83	15.096	178.89		5,336.4		2407		120,000	670.79			
5	28	12.826	29.97	15.011	176.88		5,301.2		2419		111,000	627.53			

ตาราง A3 Compressive Strength

Cement 500 kg/m³, Microsilica 15 % of cement by weight

Water/(Cement + Microsilica) = 0.34, Slump 12 cm.

Superplasticizer 1.8 litre/100 kg. of (Cement + Microsilica)

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่ รับแรง (cm ²)	Average (cm ²)	ปริมาตร (cm ³)	Average (cm ³)	Density (kg/m ³)	Average (kg/m ³)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน(SD)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%)
1	3	12.984	30.03	15.067	178.21		5,351.5		2426		62,100	348.47			
2	3	13.055	29.89	15.101	179.01		5,350.7		2440		61,000	340.76			
3	3	12.950	29.97	15.054	177.90	178.14	5,331.6	5,337.3	2429	2,425	68,000	382.24	351.98	18.941	3.59
4	3	12.745	29.88	15.028	177.29		5,297.3		2406		59,000	332.80			
5	3	12.978	30.04	15.070	178.28		5,355.5		2423		63,400	355.63			
1	7	12.806	29.87	15.011	176.88		5,283.5		2424		66,300	374.82			
2	7	12.914	29.79	15.089	178.73		5,324.3		2425		76,100	425.79			
3	7	12.995	29.86	15.048	177.76	177.82	5,307.8	5,289.1	2448	2,436	62,250	350.20	372.38	34.386	11.82
4	7	12.883	29.90	15.010	176.86		5,288.1		2436		66,450	375.72			
5	7	12.816	29.30	15.096	178.89		5,241.6		2445		60,000	335.40			
1	28	12.978	30.80	15.088	178.70		5,504.1		2358		107,500	601.56			
2	28	13.046	29.87	15.166	180.56		5,393.2		2419		101,800	563.81			
3	28	12.865	29.84	15.066	178.18	178.72	5,317.0	5,381.0	2420	2,415	117,600	660.00	621.46	38.732	15.00
4	28	13.023	30.03	15.055	177.92		5,343.0		2437		113,300	636.79			
5	28	13.066	30.00	15.069	178.25		5,347.6		2443		115,000	645.15			

ตาราง A4 Compressive Strength

Cement 550 kg/m³ , Microsilica 15 % of cement by weight

Water/(Cement + Microsilica) = 0.28 , Slump 12.5 cm.

Superplasticizer 2.5 litre/100 kg. of (Cement + Microsilica)

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่ รับแรง (cm ²)	Average (cm ²)	ปริมาตร (cm ³)	Average (cm ³)	Density (kg/m ³)	Average (kg/m ³)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน(SD)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%)
1	3	13.030	29.95	15.042	177.62		5,319.6		2449		94,600	506.71			
2	3	12.988	30.03	15.069	178.25		5,353.0		2426		78,500	440.38			
3	3	12.876	29.98	15.034	177.43	177.55	5,319.2	5,308.9	2421	2,429	87,720	494.40	506.75	39.798	19.80
4	3	12.896	29.78	15.04	177.57		5,288.0		2439		99,000	557.53			
5	3	12.700	29.76	15.012	176.91		5,264.8		2412		90,000	534.74			
1	7	12.874	29.87	15.046	177.71		5,308.2		2425		88,950	500.53			
2	7	12.585	29.71	15.122	179.51		5,333.2		2360		90,450	503.87			
3	7	12.987	29.92	15.008	176.81	178.16	5,290.3	5,332.0	2455	2,420	91,800	519.19	516.14	13.458	2.26
4	7	13.054	30.09	15.125	179.58		5,403.6		2416		93,150	518.71			
5	7	13.025	30.05	15.024	177.19		5,324.6		2446		95,400	538.40			
1	28	13.052	29.89	15.075	178.40		5,332.2		2448		122,000	683.87			
2	28	12.910	29.79	15.000	176.63		5,261.7		2454		125,000	707.71			
3	28	12.820	29.89	14.918	174.70	177.35	5,221.8	5,304.1	2455	2,442	133,600	764.74	713.58	32.156	12.92
4	28	13.022	30.02	15.028	177.29		5,322.1		2447		130,000	733.28			
5	28	12.967	29.95	15.131	179.72		5,382.7		2409		121,900	678.26			

ตาราง A5 Compressive Strength

Cement 550 kg/m³ , Microsilica 15 % of cement by weight

Water/(Cement + Microsilica) = 0.30 , Slump 13 cm.

Superplasticizer 2.3 litre/100 kg. of (Cement + Microsilica)

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่ รับแรง (cm ²)	Average (cm ²)	ปริมาตร (cm ³)	Average (cm ³)	Density (kg/m ³)	Average (kg/m ³)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน(SD)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%)
1	3	12.849	30.00	15.097	178.92		5,367.5		2394		76,800	421.43			
2	3	12.849	29.84	15.052	177.85		5,307.1		2421		87,100	431.82			
3	3	12.549	29.78	15.058	177.99	178.34	5,300.6	5,323.6	2367	2,415	78,900	443.27	451.03	24.653	7.60
4	3	13.054	29.88	15.070	178.28		5,326.9		2451		75,400	471.18			
5	3	12.980	29.75	15.087	178.68		5,315.7		2442		84,000	487.46			
1	7	12.788	29.55	15.072	178.32		5,269.5		2427		83,000	465.44			
2	7	12.950	29.89	15.106	179.13		5,354.2		2419		86,300	481.77			
3	7	12.645	29.74	15.054	177.90	184.73	5,290.7	5,489.9	2390	2,351	95,000	534.01	488.48	29.807	11.11
4	7	13.044	29.90	15.789	195.69		5,851.3		2229		99,700	509.47			
5	7	13.012	29.51	15.664	192.61		5,683.9		2289		87,000	451.69			
1	28	13.029	29.84	15.027	177.26		5,289.5		2463		118,000	665.68			
2	28	13.005	29.93	15.052	177.85		5,323.1		2443		104,300	586.44			
3	28	12.914	29.92	15.028	177.29	177.53	5,304.4	5,303.1	2435	2,446	110,000	620.47	685.12	142.769	254.79
4	28	12.879	29.77	15.004	176.72		5,260.9		2448		170,500	964.81			
5	28	13.017	29.90	15.080	178.51		5,337.6		2439		105,000	588.19			

ตาราง A6 Compressive Strength

Cement 550 kg/m³ , Microsilica 15 % of cement by weight

Water/(Cement + Microsilica) = 0.32 , Slump 11 cm.

Superplasticizer 2.0 litre/100 kg. of (Cement + Microsilica)

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่ รับแรง (cm ²)	Average (cm ²)	ปริมาตร (cm ³)	Average (cm ³)	Density (kg/m ³)	Average (kg/m ³)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน(SD)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%)
1	3	12.989	29.87	15.087	178.68		5,337.2		2434		75,000	419.75			
2	3	12.746	29.96	15.103	179.06		5,364.6		2376		79,500	428.91			
3	3	12.704	29.90	15.052	177.85	178.53	5,317.8	5,326.2	2389	2,415	82,500	463.87	441.86	15.801	3.12
4	3	12.884	29.52	15.077	178.44		5,267.6		2446		80,600	451.68			
5	3	12.987	29.92	15.084	178.61		5,344.0		2430		76,800	445.11			
1	7	13.046	30.05	15.054	177.90		5,345.9		2440		88,000	459.25			
2	7	13.021	29.98	15.012	176.91		5,303.7		2455		81,700	454.47			
3	7	12.587	29.96	15.008	176.81	177.45	5,297.3	5,294.4	2376	2,432	83,500	472.25	478.52	21.485	5.77
4	7	12.776	29.45	15.025	177.21		5,219.0		2448		80,400	496.57			
5	7	12.944	29.74	15.076	178.42		5,306.2		2439		91,000	510.03			
1	28	13.141	29.70	15.115	179.34		5,326.5		2467		107,900	601.64			
2	28	12.984	29.92	15.086	178.66		5,345.4		2429		127,300	712.54			
3	28	12.945	29.97	15.070	178.28	178.33	5,343.0	5,316.5	2423	2,440	119,500	670.30	667.82	41.164	21.18
4	28	12.898	29.96	15.037	177.50		5,317.8		2425		125,700	708.18			
5	28	12.881	29.51	15.054	177.90		5,249.8		2454		115,000	646.43			

ตาราง A7 Compressive Strength

Cement 550 kg/m³, Microsilica 15 % of cement by weight

Water/(Cement + Microsilica) = 0.34 , Slump 15 cm.

Superplasticizer 1.6 litre/100 kg. of (Cement + Microsilica)

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์ กลาง (cm)	พื้นที่ รับแรง (cm ²)	Average (cm ²)	ปริมาตร (cm ³)	Average (cm ³)	Density (kg/m ³)	Average (kg/m ³)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน(SD)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%)
1	3	12.880	29.89	15.030	177.33		5,300.5		2430		58,500	378.39			
2	3	12.784	29.84	15.110	179.22		5,348.1		2390		59,300	330.87			
3	3	13.056	29.91	15.160	180.41	178.7	5,396.2	5,344.6	2420	2,415	70,200	324.26	363.77	30.126	11.34
4	3	12.765	29.85	15.050	177.80		5,307.5		2405		67,100	394.82			
5	3	13.062	30.05	15.089	178.73		5,370.8		2432		69,800	390.54			
1	7	12.997	30.02	15.054	177.90		5,340.5		2434		71,300	400.79			
2	7	12.724	29.87	15.067	178.21		5,323.0		2390		78,750	441.90			
3	7	12.750	29.93	15.088	178.70	178.01	5,348.6	5,320.8	2384	2,418	86,400	444.87	447.03	28.263	9.98
4	7	12.891	29.89	15.064	178.14		5,324.5		2421		81,900	459.76			
5	7	12.962	29.74	15.021	177.12		5,267.5		2461		79,500	487.81			
1	28	12.912	29.85	15.115	179.34		5,353.4		2412		129,000	719.29			
2	28	12.972	29.97	15.077	178.44		5,347.9		2426		111,000	622.05			
3	28	12.995	30.09	15.091	178.77	178.35	5,379.3	5,348.8	2416	2,417	107,800	602.99	636.95	45.612	26.01
4	28	12.832	29.90	15.042	177.62		5,310.7		2416		105,000	591.16			
5	28	12.936	30.14	15.041	177.59		5,352.6		2417		115,300	649.24			

ตาราง A8 Compressive Strength

Cement 600 kg/m³, Microsilica 15 % of cement by weight

Water/(Cement + Microsilica) = 0.26, Slump 16 cm.

Superplasticizer 2.5 litre/100 kg. of (Cement + Microsilica)

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่ รับแรง (cm ²)	Average (cm ²)	ปริมาตร (cm ³)	Average (cm ³)	Density (kg/m ³)	Average (kg/m ³)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน(SD)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%)
1	3	12.984	29.77	15.042	177.62		5,287.6		2456		100,400	551.75			
2	3	13.017	29.84	15.058	178.0		5,311.3		2451		89,000	500.02			
3	3	13.020	29.95	15.075	178.4	178.055	5,343.0	5,321.7	2437	2,442	98,000	562.79	539.62	21.531	5.79
4	3	13.053	30.01	15.051	177.83		5,336.6		2446		97,620	536.47			
5	3	12.898	29.87	15.077	178.44		5,330.1		2420		95,400	547.07			
1	7	13.154	30.02	15.027	177.26		5,321.4		2472		123,000	675.27			
2	7	12.897	29.92	15.075	178.4		5,337.6		2416		117,500	689.48			
3	7	12.936	30.04	15.098	178.94	178.027	5,375.4	5,328.4	2407	2,417	119,700	676.20	664.12	23.927	7.16
4	7	12.826	29.89	15.031	177.36		5,301.2		2419		110,000	620.22			
5	7	12.585	29.78	15.066	178.18		5,306.3		2372		121,000	659.44			
1	28	13.000	29.79	15.104	179.08		5,334.9		2437		130,800	730.39			
2	28	13.056	29.85	15.158	180.37		5,383.9		2425		129,000	715.21			
3	28	13.045	29.89	15.090	178.75	178.568	5,342.9	5,346.6	2442	2,428	128,700	720.00	731.35	16.623	3.45
4	28	13.024	30.4	15.043	177.64		5,400.2		2412		129,400	728.44			
5	28	12.793	29.78	15.016	177		5,271.1		2427		135,000	762.70			

ตาราง A9 Compressive Strength

Cement 600 kg/m³, Microsilica 15 % of cement by weight

Water/(Cement + Microsilica) = 0.28, Slump 20 cm.

Superplasticizer 2.2 litre/100 kg. of (Cement + Microsilica)

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่ รับแรง (cm ²)	Average (cm ²)	ปริมาตร (cm ³)	Average (cm ³)	Density (kg/m ³)	Average (kg/m ³)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน(SD)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%)
1	3	12.987	30.08	15.087	178.68		5,374.7		2416		96,400	518.25			
2	3	12.995	29.97	15.106	179.13		5,368.5		2421		92,600	513.59			
3	3	12.883	29.77	15.101	179.01	178.95	5,329.2	5,356.9	2417	2,418	93,400	521.75	527.82	12.785	2.04
4	3	12.859	29.84	15.105	179.11		5,344.5		2406		97,850	538.23			
5	3	13.042	30.02	15.092	178.80		5,367.5		2430		92,000	547.26			
1	7	13.055	29.85	15.102	179.04		5,344.2		2443		101,600	616.08			
2	7	12.987	30.02	15.029	177.31		5,322.8		2440		102,000	575.27			
3	7	12.879	29.89	15.067	178.21	178.39	5,326.6	5,328.4	2418	2,437	110,300	594.25	583.88	18.975	4.50
4	7	12.996	29.89	15.089	178.73		5,342.2		2433		105,900	568.46			
5	7	13.022	29.7	15.086	178.66		5,306.1		2454		101,000	565.33			
1	28	12.927	29.85	15.110	179.22		5,349.9		2416		133,000	742.08			
2	28	13.016	29.76	15.106	179.13		5,330.9		2442		132,500	739.69			
3	28	12.770	29.76	15.006	176.77	178.37	5,260.6	5,341.3	2427	2,426	128,800	728.65	725.61	19.598	4.80
4	28	13.023	29.91	15.122	179.51		5,369.1		2426		131,000	729.77			
5	28	13.042	30.45	15.025	177.21		5,396.2		2417		121,900	687.87			

ตาราง A10 Compressive Strength

Cement 600 kg/m³, Microsilica 15 % of cement by weight

Water/(Cement + Microsilica) = 0.30, Slump 11.5 cm.

Superplasticizer 1.8 litre/100 kg. of (Cement + Microsilica)

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่ รับแรง (cm ²)	Average (cm ²)	ปริมาตร (cm ³)	Average (cm ³)	Density (kg/m ³)	Average (kg/m ³)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน(SD)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%)
1	3	12.746	29.54	15.087	178.68		5,278.2		2415		94,300	531.68			
2	3	12.807	29.88	15.055	177.92		5,316.3		2409		96,000	530.01			
3	3	12.788	29.74	15.106	179.13	178.49	5,327.3	5,318.3	2400	2,415	99,000	552.67	531.12	16.848	3.55
4	3	13.012	29.85	15.052	177.85		5,308.9		2451		95,000	539.78			
5	3	12.877	29.97	15.095	178.87		5,360.7		2402		89,700	501.48			
1	7	12.845	30.02	15.074	178.37		5,354.7		2399		99,000	577.44			
2	7	12.893	29.67	15.031	177.36		5,262.1		2450		102,800	558.20			
3	7	12.822	29.93	15.059	178.02	178.26	5,328.1	5,335.4	2407	2,421	100,000	561.74	572.51	11.444	1.64
4	7	12.978	30.05	15.088	178.70		5,370.0		2417		103,000	575.25			
5	7	13.052	29.98	15.094	178.85		5,361.8		2434		105,500	589.89			
1	28	12.939	29.30	15.105	179.11		5,247.8		2466		122,400	683.39			
2	28	12.820	29.74	15.088	178.70		5,314.6		2412		126,000	705.08			
3	28	12.844	29.89	15.032	177.38	177.82	5,301.9	5,289.8	2423	2,437	130,500	735.71	713.07	17.885	4.00
4	28	12.840	29.97	15.003	176.70		5,295.6		2425		128,000	724.41			
5	28	13.022	29.85	15.024	177.19		5,289.1		2462		127000	716.74			

ตาราง A11 Compressive Strength

Cement 600 kg/m³, Microsilica 15 % of cement by weight

Water/(Cement + Microsilica) = 0.32, Slump 14 cm.

Superplasticizer 1.6 litre/100 kg. of (Cement + Microsilica)

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่ รับแรง (cm ²)	Average (cm ²)	ปริมาตร (cm ³)	Average (cm ³)	Density (kg/m ³)	Average (kg/m ³)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน(SD)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%)
1	3	12.882	29.45	15.066	178.18		5,248.2		2455		79,000	443.37			
2	3	12.945	29.86	15.023	177.17		5,290.0		2447		81,600	460.58			
3	3	12.845	29.89	15.021	177.12	177.97	5,293.8	5,306.3	2426	2,435	87,000	491.19	473.77	18.918	4.47
4	3	12.876	29.85	15.074	178.37		5,323.7		2419		86,000	482.14			
5	3	13.054	30.03	15.101	179.01		5,375.7		2428		88,000	491.59			
1	7	12.783	29.78	15.069	178.25		5,308.4		2408		89,200	500.41			
2	7	12.973	29.96	15.091	178.77		5,356.1		2422		96,100	514.61			
3	7	13.012	30.10	15.074	178.37	177.92	5,369.0	5,334.1	2424	2,429	87,600	491.11	518.83	21.886	5.99
4	7	13.031	30.12	15.032	177.38		5,342.7		2439		92,000	544.60			
5	7	12.975	29.94	15.009	176.84		5,294.5		2451		96,600	543.44			
1	28	12.724	29.40	15.057	177.97		5,232.3		2432		126,500	710.79			
2	28	12.816	29.85	15.103	179.06		5,344.9		2398		124,700	696.42			
3	28	12.000	29.84	15.101	179.01	178.33	5,341.7	5,305.1	2246	2,375	119,200	665.88	690.18	14.582	2.66
4	28	12.699	29.84	15.063	178.11		5,314.9		2389		123,000	690.58			
5	28	12.764	29.81	15.038	177.52		5,291.9		2412		122,000	687.24			

ตาราง A12 Compressive Strength

Cement 600 kg/m³, Microsilica 15 % of cement by weight

Water/(Cement + Microsilica) = 0.34, Slump 16 cm.

Superplasticizer 1.3 litre/100 kg. of (Cement + Microsilica)

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่ รับแรง (cm ²)	Average (cm ²)	ปริมาตร (cm ³)	Average (cm ³)	Density (kg/m ³)	Average (kg/m ³)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน(SD)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%)
1	3	12.885	29.75	15.12	179.46		5,339.0		2413		79,800	444.66			
2	3	12.978	29.98	15.08	178.51		5,351.9		2425		83,850	431.34			
3	3	12.724	29.74	15.16	180.41	178.99	5,365.5	5,343.9	2371	2,412	83,700	463.94	457.87	17.759	3.94
4	3	12.986	30.02	15.11	179.22		5,380.3		2414		85,400	467.85			
5	3	12.879	29.79	15.03	177.33		5,282.7		2438		77,000	481.58			
1	7	12.988	29.77	15.07	178.28		5,307.3		2447		79,000	443.13			
2	7	12.786	29.85	15.09	178.75		5,335.7		2396		86,200	475.52			
3	7	13.033	29.81	15.10	178.99	178.23	5,335.6	5,321.2	2443	2,430	93,000	519.59	477.99	24.896	7.75
4	7	13.014	29.92	15.06	178.04		5,327.0		2443		82,800	484.16			
5	7	12.844	29.93	15.02	177.10		5,300.5		2423		85,000	467.54			
1	28	12.704	29.89	15.09	178.75		5,342.9		2378		120,000	671.33			
2	28	12.618	30.00	15.00	176.63		5,298.8		2381		110,000	622.79			
3	28	12.806	30.02	15.10	178.99	177.76	5,373.2	5,315.3	2383	2,380	112,000	625.74	652.74	27.229	9.27
4	28	12.534	29.87	14.98	176.15		5,261.7		2382		122,300	694.28			
5	28	12.579	29.73	15.07	178.28		5,300.2		2373		115,800	649.55			

ก-2 เกณฑ์การประเมินผลการทดสอบ

(1) ทั่วไป

วัตถุประสงค์ของการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากหน่วยงานก่อสร้าง ก็คือเพื่อประเมินผลและควบคุมให้แน่ใจว่า คอนกรีตที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพและกำลังอัดที่สม่ำเสมออยู่ในระดับที่ต้องการ แต่เนื่องจากคอนกรีตมีคุณสมบัติที่ต่างกันไปในแต่ละรุ่นผสมและแม้แต่รุ่นผสมเดียวกันก็ยังมีคุณสมบัติผันแปรกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนผสม การผสม การลำเลียง การเท การบ่ม และตัวอย่างคอนกรีต นอกจากการผันแปรเนื่องจากลักษณะของคอนกรีตเองแล้ว ยังอาจจะเกิดเนื่องจากวิธีการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติ นั้นๆ อีกด้วย เช่น การหล่อแท่งตัวอย่าง การดูแล และการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตเป็นต้น สรุปแล้วก็คือ ใน การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่ได้จากสนามต้องยอมรับว่า ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าที่แตกต่าง และค่าผันแปรนี้ต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ด้วย สำหรับการที่จะกำหนดขอบเขตและควบคุมนั้นสามารถทำได้ด้วยวิธีการทางสถิติพร้อมกันกับความเข้าใจในลักษณะของคอนกรีต และการทดสอบคอนกรีตด้วย

(2) ความผันแปรของกำลังอัดตัวอย่างคอนกรีต

กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การควบคุมทั้งวัตถุดิบ ขบวนการผลิต และขบวนการทดสอบ ซึ่งกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตมีค่าผันแปรเนื่องจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ

- 1) การผันแปรเนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีต (ผันแปรในขบวนการผลิต)
- 2) การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ (ผันแปรในขบวนการควบคุมคุณภาพ) ซึ่งสามารถสรุปได้ดัง ตารางที่ ก1.1

ตารางที่ ก2.1 สรุปการผันแปรกำลังรับแรงอัดตัวอย่างคอนกรีต (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร 2537 [10])

การผันแปรในสมบัติของคอนกรีตเอง	การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ
<u>การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์</u> - ควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่ดีพอ - ความชื้นในหินและทรายมีมาก การผันแปรในปริมาณความต้องการน้ำในส่วนผสม - ขนาดละเอียดของหินและทราย - วัสดุผสมมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอ	<u>วิธีการสุ่มตัวอย่างไม่เหมาะสม</u> <u>วิธีการเตรียมตัวอย่างไม่แน่นอน</u> - ปริมาณการกระทุ้ง - การเคลื่อนย้ายตัวอย่าง - การดูแลตัวอย่างคอนกรีตสด
<u>การผันแปรในคุณภาพและอัตราส่วนผสมของวัสดุ</u> - หิน , ทราย - ซีเมนต์	<u>การเปลี่ยนแปลงจากการบ่ม</u> - อุณหภูมิ - ความชื้น <u>วิธีการดำเนินการทดสอบไม่ดี</u> - การหล่อเสา - การทดสอบกำลังอัด

(3) การประเมินผล

- การประเมินผลความผันแปรในขบวนการผลิต ในการประเมินผลนี้ จะพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าการควบคุมยังไม่ดีพอต้องปรับปรุงความสัมพันธ์ระหว่างความเบี่ยงเบนมาตรฐานกับระดับการควบคุม สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ ก2.2

ตารางที่ ก2.2 เกณฑ์ในการประเมินการควบคุมการผลิต (ञชวาลัย เศรษฐบูร 2537 [10])

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ksc)	น้อยกว่า 28	28 - < 35	35 - < 42	42 - < 49	มากกว่า 49
ระดับการควบคุมขบวนการผลิต	ดีเลิศ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง

- การประเมินผลความผันแปรในขบวนการควบคุมคุณภาพ ในการประเมินนี้ จะพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าการควบคุมยังไม่ดีพอ ต้องปรับปรุงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรกับระดับการควบคุม สรุปได้ดังตารางที่ ก2.3

ตารางที่ ก2.3 เกณฑ์ในการประเมินการควบคุมคุณภาพ (ञชวาลัย เศรษฐบูร 2537 [10])

สัมประสิทธิ์ความผันแปร (%)	น้อยกว่า 3.0	3.0 - < 4.0	4.0 - < 5.0	5.0 - < 6.0	มากกว่า 6.0
ระดับการควบคุมขบวนการควบคุมคุณภาพ	ดีเลิศ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง

สาเหตุที่กำลังอัดไม่เป็นไปตามข้อกำหนด อาจเกิดจาก การใช้ส่วนผสมที่ไม่เหมาะสม ควบคุมปริมาณน้ำและการผสมไม่ดีพอ มีสารอินทรีย์ต่างๆ มากเกินข้อกำหนด ใช้หินทรายที่สกปรก ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่ไม่มีประสิทธิภาพ ไม่ได้ปรับความชื้นในมวลรวม การบ่มไม่เพียงพอ การลำเลียงและการทดสอบไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก3 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม

SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF FINE AGGREGATE

(ASTM C 128)

DESCRIPTION OF SAMPLE : SAND
DATE : Dec 16 , 97

Item	Description	Test No.		Average
		1	2	
A	น้ำหนักตัวอย่างในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง	g. 500.00	500.00	500.00
B	น้ำหนักขวดทดลอง - น้ำ	g. 729.10	729.10	729.10
C	น้ำหนักขวดทดลอง - ตัวอย่างอิ่มตัวผิวแห้ง-น้ำ	g. 1036.80	1037.00	1036.90
D	น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง	g. 495.20	495.40	495.30
	Bulk sp.gr. (สภาพแห้ง) $D/(A+B-C)$	2.58	2.58	2.58
	Bulk sp.gr. (สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง) $A/(A+B-C)$	2.60	2.60	2.60
	Apparent sp. gr. (สภาพจริง) $D/(B+D-C)$	2.64	2.64	2.64
	Absorption (% การดูดซึม) $(A-D)*100/D$ %	0.97	0.93	0.95

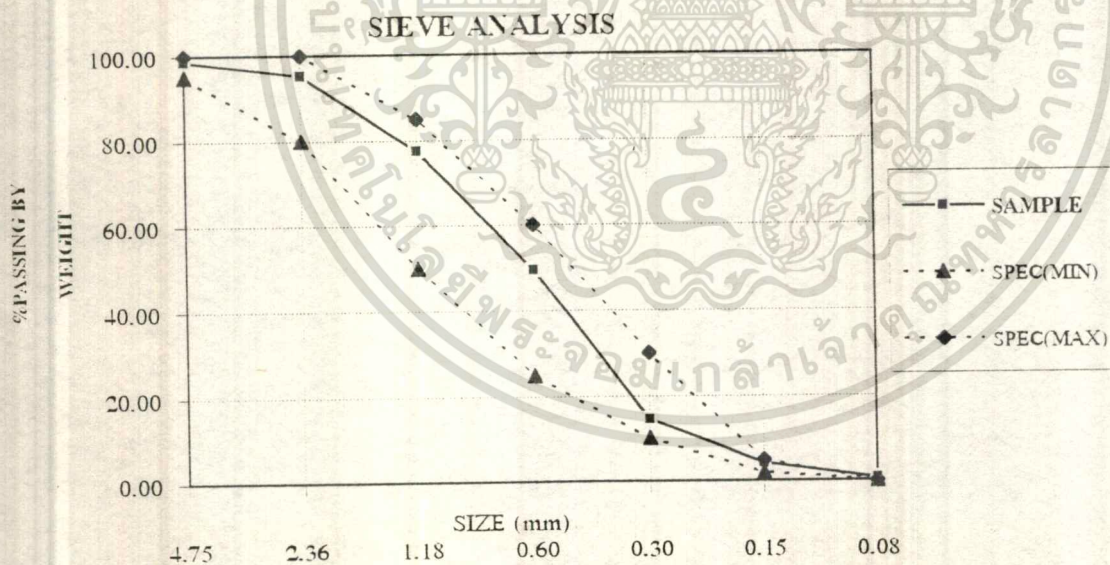
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEVE ANALYSIS OF FINE AGGREGATE (ASTM C136)

DESCRIPTION OF SAMPLE : SAND
 DATE : Dec 16, 97

SIEVE SIZE	WT.RETAINED (g.)	% RETAINED	CUMULATIVE % RETAINED	% PASSING BY WEIGHT	SPECIFICATION	
					%	%
#4	7.90	1.34	1.34	98.66	95	100
#8	20.60	3.48	4.82	95.18	80	100
#16	104.30	17.64	22.46	77.54	50	85
#30	165.80	28.04	50.49	49.51	25	60
#50	206.30	34.88	85.37	14.63	10	30
#100	61.90	10.47	95.84	4.16	2	5
#200	20.50	3.47	99.31	0.69	-	-
PAN	4.10	0.69	100.00		-	-
TOTAL	591.40	100.00				

FM = 2.60 (Spec 2.25-3.25)



Spec. ASTM C33

PASS
NO

REMARK : ผ่านมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATERIALS FINER THAN NO.200 SIEVE IN AGGREGATE (ASTM C117)

DESCRIPTION OF SAMPLE : SAND
 DATE : Dec 16 , 97

ITEM	DESCRIPTION	TEST NO.		
		1	2	Avg.
A	Original dry weight of sample g.	398.6	452.4	425.5
B	Dry weight of sample after W. g.	388.4	441.5	415.0
C	Materials finer than No. 200 sieve g.	10.20	10.90	10.55
	Percentage of Materials finer than No. 200 sieve %	2.56	2.41	2.48

" Fine Aggregate " Allowable Range < 3.0 %

" Coarse Aggregate " Allowable Range < 1.5 %

REMARK :

ผ่านมาตรฐาน ASTM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF COARSE AGGREGATE

(ASTM C 128)

DESCRIPTION OF SAMPLE : ROCK ¾ “
 DATE : Dec 16 , 97

Item	Description	Test No.		Average
		1	2	
A	น้ำหนักตัวอย่างในสภาพอิ่มตัวแห้ง g.	1000.00	1000.00	1000.00
B	น้ำหนักตะกร้า - ชั่งในน้ำ g.	388.00	388.00	388.00
C	น้ำหนักตะกร้า - ตัวอย่างอิ่มตัวแห้ง-ชั่งในน้ำ g.	1020.90	1021.00	1020.95
D	น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง g.	994.10	994.00	994.05
	Bulk sp.gr. (สภาพแห้ง) $D/(A+B-C)$	2.71	2.71	2.71
	Bulk sp.gr. (สภาพอิ่มตัวแห้ง) $A/(A+B-C)$	2.72	2.72	2.72
	Apparent sp. gr. (สภาพจริง) $D/(B+D-C)$	2.75	2.75	2.75
	Absorption (% การดูดซึม) $(A-D)*100/D$	0.59	0.60	0.60

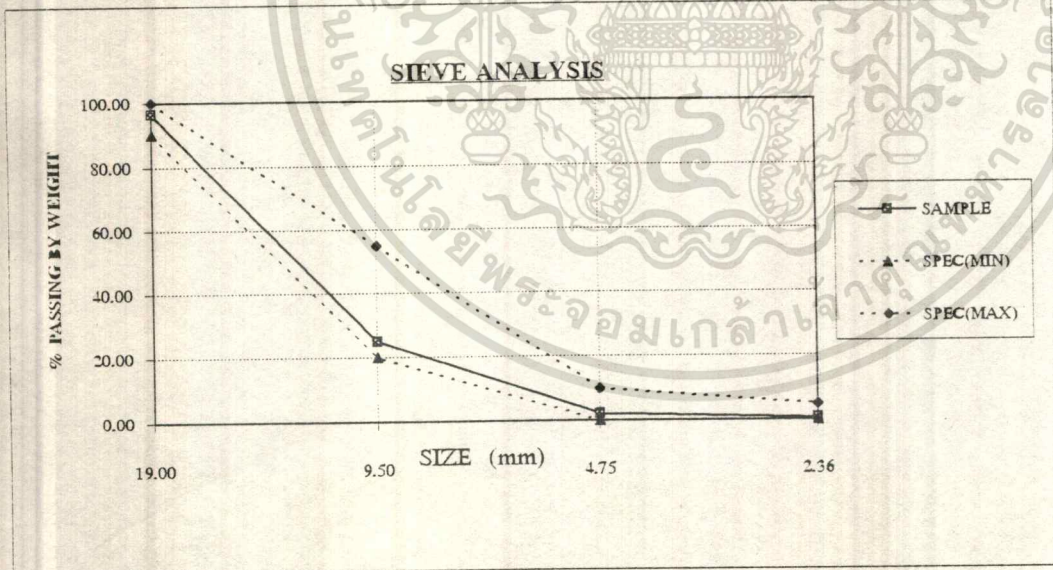
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEVE ANALYSIS OF COARSE AGGREGATE (ASTM C136)

DESCRIPTION OF SAMPLE : ROCK $\frac{3}{4}$ "
 DATE : Dec 16 , 97

SIEVE SIZE	WT.RETAINED (g.)	% RETAINED	CUMULATIVE % RETAINED	% PASSING BY WEIGHT	SPECIFICATION	
					%	%
3/4"	62.90	3.46	3.46	96.54	90	100
3/8"	1301.90	71.63	75.09	24.91	20	55
#4	414.50	22.81	97.90	2.10	0	10
#8	26.90	1.48	99.38	0.62	0	5
#16		0.00	99.38	0.62	0	0
#30		0.00	99.38	0.62	-	-
#50		0.00	99.38	0.62	-	-
#100		0.00	99.38	0.62	-	-
PAN	11.30	0.62	100.00	0.00		
TOTAL	1817.50	100.00				

FM = 6.73 (Spec 5.5-7.5)



Spec. ASTM C33

○ PASS
○ NO

REMARK : ผ่านมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATERIALS FINER THAN NO.200 SIEVE IN AGGREGATE (ASTM C117)

DESCRIPTION OF SAMPLE : ROCK 3/4 "

DATE : Dec 16 , 97

ITEM	DESCRIPTION	TEST NO.		
		1	2	Avg.
A	Original dry weight of sample g.	1,052.6	1,477.3	1,265.0
B	Dry weight of sample after W. g.	1,038.4	1,458.3	1,248.4
C	Materials finer than No. 200 sieve g.	14.20	19.00	16.60
	Percentage of Materials finer than No. 200 sieve %	1.35	1.29	1.32

" Fine Aggregate " Allowable Range < 3.0 %

" Coarse Aggregate " Allowable Range < 1.5 %

REMARK :

ผ่านมาตรฐาน ASTM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOS ANGELES ABRASION TEST (ASTM C 131 - 89)

DESCRIPTION OF SAMPLE : ROCK $\frac{3}{4}$ "
 DATE : Dec 16 , 97

SIEVE SIZE		BEFORE TEST	
PASSING	RETAINED NO.	WEIGHT RETAINED (gm.)	TOTAL WEIGHT (gm.)
1/2"	1"		
1"	3/4"		
3/4"	1/2"	2,500.8	
1/2"	3/8"	2,500.0	5,000.8
3/8"	1/4"		
1/4"	#4		
#4	#8		
Gradation :		AFTER TEST	
No of Spheres :	12	Weight of Materials Coarse Than The	
Weight of Charge (gm.)	4751	No.12 Sieve (After Washing & Drying	Weight of Materials Loss (gm.)
Machine Rotated At Speed (RPM =30-39)		in an Oven At 105°C-110°C)gm.	
Revolution :	30		
Remark :		3,920.4	1080.40
Allowable Wear = 10-45 %		Percentage of Wear	21.60 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

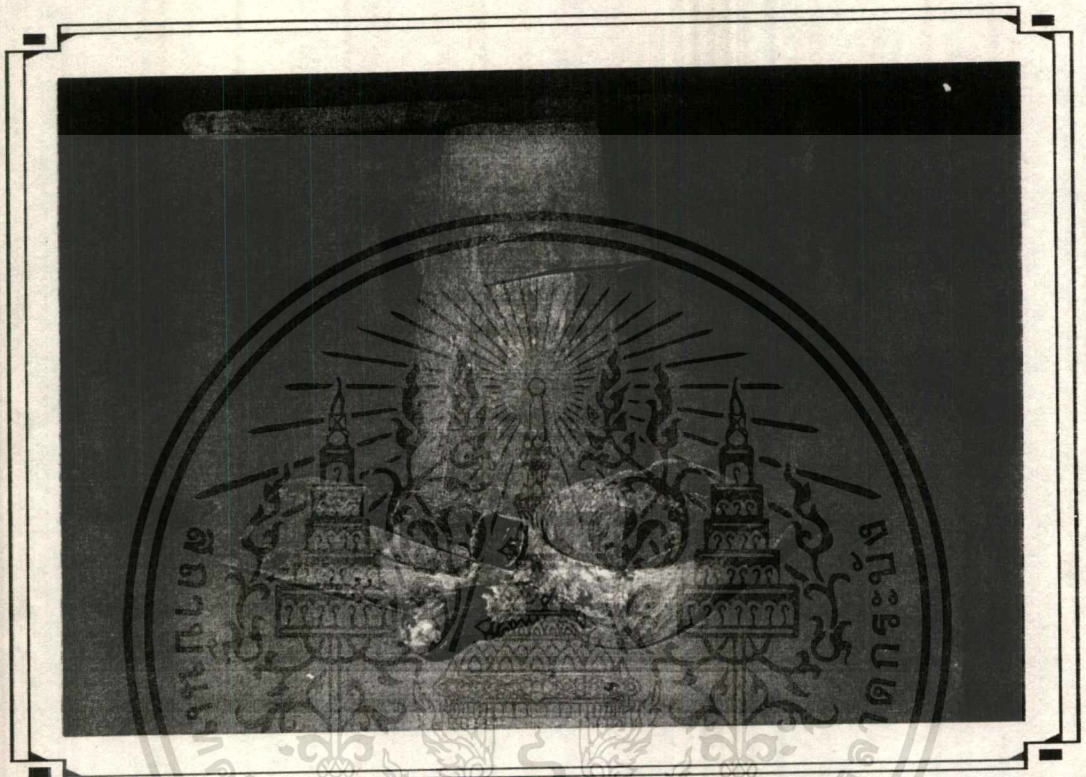


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



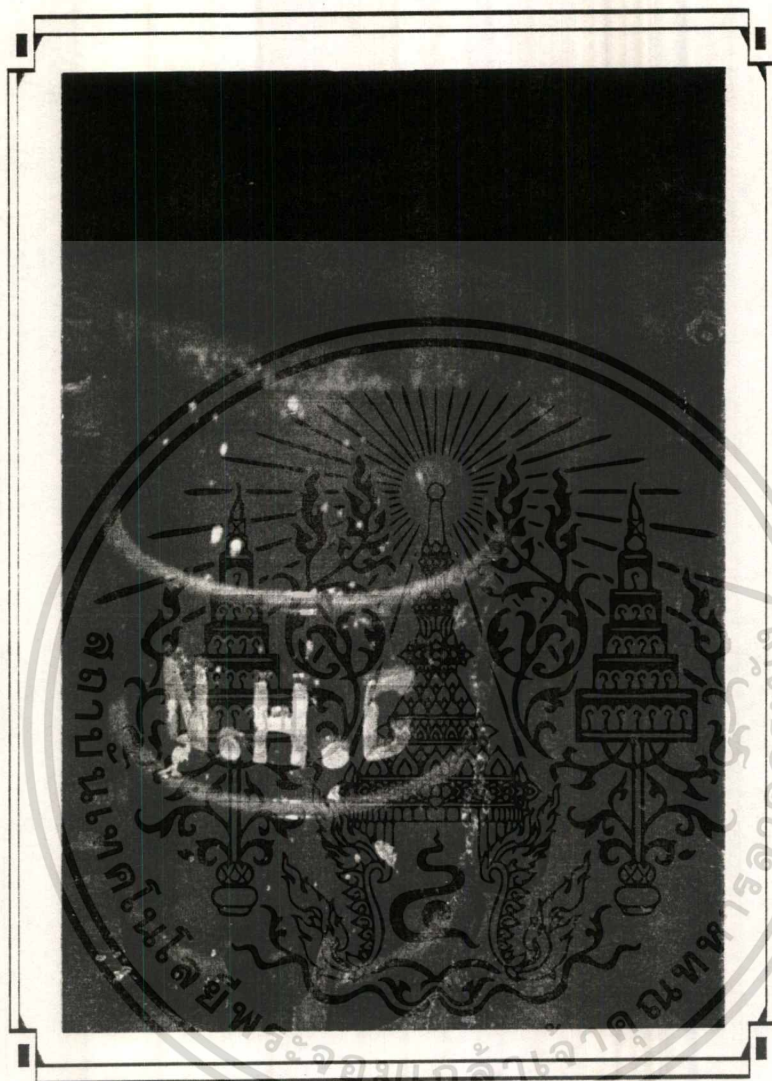
รูปที่ ๑๑ สารลมน้ำที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



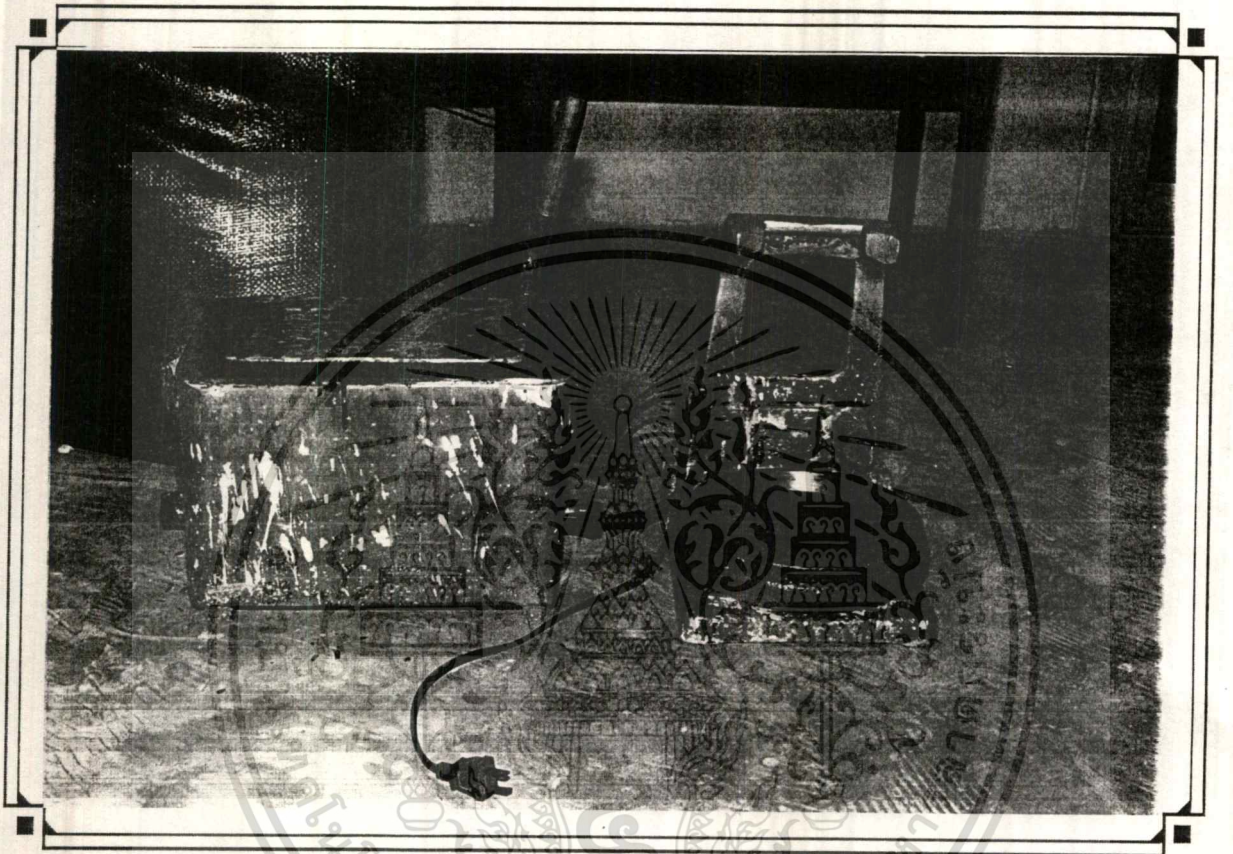
รูปที่ ข2 ชุดทดสอบค่าการยุบตัว (Slump)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



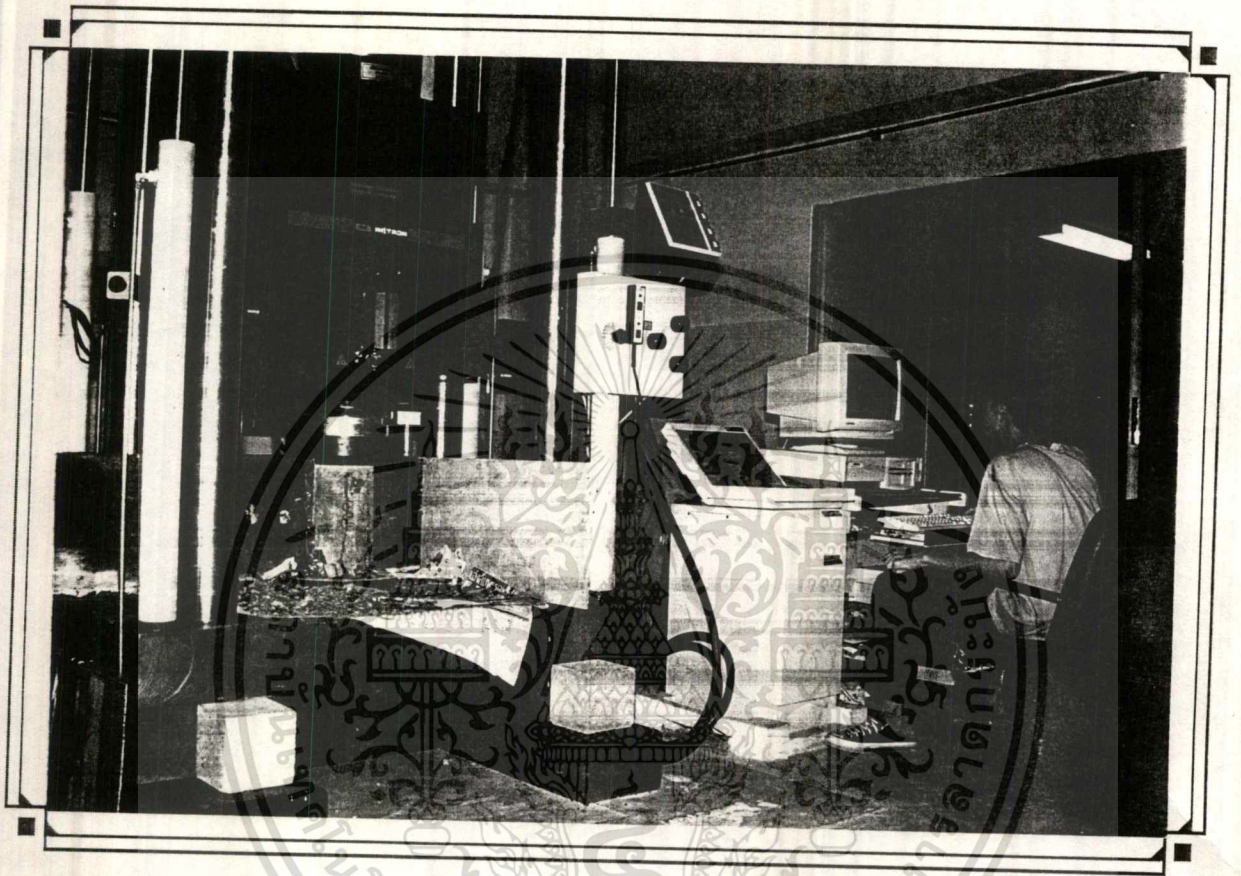
รูปที่ ๖๓ แบบหล่อตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



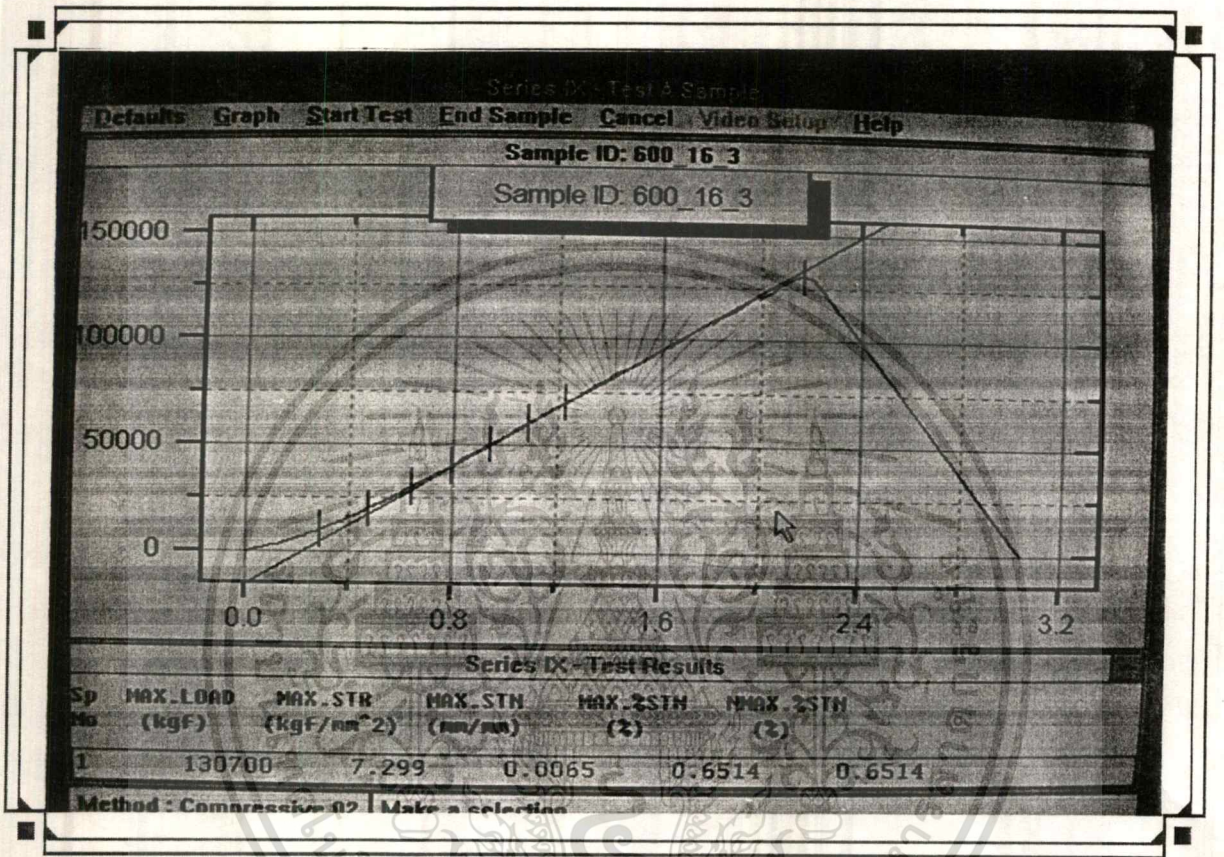
รูปที่ ๗4 ชุด Cap หัวของแท่งตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗6 กราฟผลการทดสอบแท่งตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข7 การแตกแบบกรวยคู่ (Shear Failure) ของแท่งตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข8 การแตกแบบแยกออก (Splitting Failure) ของแท่งตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] American Concrete Institute (1996). ACI Manual of Concrete Practice, Material and General Properties of Concrete 1996:PART 1.
- [2] Lydon, F.D. (1982), Concrete Mix Design, Second Edition.
- [3] Tadahiko Suzuki, Yogendran, V., Larigan, B.W., Ward, M.A. and Heter W.T. (1987), Utilization of High Strength Concrete Proceedings: Symposium in Stavanger; Norway, Tapir Publisher.
- [4] Tan Hock Chuan (1991), Design of High Strength Concrete Mixes Using Locally Available Materials, M. Eng. Thesis No.ST-91-25, AIT, Bangkok.
- [5] Thu Ya Zaw (1996), Influence of Maximum Size and Type of Coarse Aggregate on Workability and Strength of High-Strength-Concrete, M. Eng. Thesis No.ST-96-16, AIT, Bangkok.
- [6] Sumon Kaingkaew (1994), The Strength and Durability Against Acidic Attack of Fly Ash Concrete Containing Superplasticizers, M. Eng. Thesis No.ST-94-27, AIT, Bangkok.
- [7] Ivar Holand and Erik Sellevold (1993), Utilization of High Strength Concrete Proceedings; Symposium in Lillehammer; Norway.
- [8] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2537. Pre-Workshop on High Performance Concrete.
- [9] ยุทธชัย บุตรศรี และ รัฐพงศ์ พันธุ์ติยะ. 2537. การศึกษาคอนกรีตที่มีการไหลและมีกำลังสูงในประเทศไทย. ภาควิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 178น.
- [10] ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. 2537. Concrete Technology. กรุงเทพฯ. 166น.
- [11] ศ. ดร. วินิต ช่อวิเชียร. Concrete Technology. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ. 16น.
- [12] ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ. 2538. คอนกรีตเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ. 16น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้