



การศึกษาคอนกรีตที่มีความไหลและมีกำลังสูง  
ในประเทศไทย

A STUDY OF FLOWING AND HIGH-STRENGTH CONCRETE  
IN THAILAND



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ประจำปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำเผยแพร่

035008

A STUDY OF FLOWING AND HIGH-STRENGTH CONCRETE  
IN THAILAND



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

1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาคอนกรีตที่มีกำลังสูงและมีกำลังสูงในประเทศไทย  
A STUDY OF FLOWING AND HIGH-STRENGTH CONCRETE  
IN THAILAND

โดย

นายยุทธชัย บุตรศรี

นายรัฐพงศ์ พันธุ์ติยะ

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ศิริกริช หิรัญมาศ

บทคัดย่อ

ในกรณีศึกษาคอนกรีตที่มีหลากหลายหน้าที่ (High Performance Concrete) มีความจำเป็นในการก่อสร้างในปัจจุบันนี้มาก เพราะการออกแบบโครงสร้างในปัจจุบันนี้มีความซับซ้อนของโครงสร้างมาก ทำให้ยากแก่การทำงาน ในการศึกษาโครงการพิเศษนี้ได้ทำการทดสอบวิจัยคอนกรีตที่มีลักษณะการไหลที่ดีและมีกำลังสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติชนิดหนึ่งของ High Performance Concrete โดยทำการใช้วัสดุที่มีในประเทศไทยและแบ่งทดสอบวิจัยออกเป็นสองการทดสอบคือ Flowing Concrete และ High Strength Concrete โดยที่จะกำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์อยู่ที่ 0.22-0.32 และใช้ปริมาณน้ำ 160 กก./คอนกรีต 1 ลบ.ม. จากการทดสอบวิจัยพบว่า ขอบเขตของ High Performance Concrete จะมีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 600-900.ksc ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน และมีค่าความยุบตัวอยู่ระหว่าง 18-25 ซม. และมีค่าอัตราการไหลอยู่ระหว่าง 50-60 ซม. ซึ่งผลการทดสอบวิจัยที่ได้มีตัวอย่างทดสอบที่อยู่ในขอบเขตคือ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ 0.22-0.25 และ High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ 0.22-0.29

ABSTRACT

A STUDY OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE IS RECENTLY BECOME A NECESSITY IN CONSTRUCTION INDUSTRY BECAUSE MORE COMPLICATED STRUCTURES ARE BEING DESIRE AND BUILT. IN THIS SPECIAL PROJECT. THE STUDY DEFINE TWO TYPES OF CONCRETE, FLOWING CONCRETE AND HIGH STRENGTH CONCRETE ARE STUDIES USING LOCALLY AVAILABLE MATERIALS. MAIN VARIABLE IS THE WATER CEMENT RATIO WHICH RANGES FROM 0.22 TO 0.25 FOR FLOWING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND FROM 0.22 TO 0.29 FOR HIGH STRENGTH CONCRETE. THE AMOUNT OF WATER IN THE MIX IS KEPT CONSTANT AT 160 KG. PER 1 CU.M. OF CONCRETE

RESULTS SHOW THAT STRENGTH OF 600 TO 900 KSC. CAN BE ACHIEVED AT 28 DAYS AGE WITH HIGH SLUMPS OF BETWEEN 18 TO 25 CM. AND FLOW RATE OF 50 TO 60 CM.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ใบยืนยันโครงการพิเศษ**  
**ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

\*\*\*\*\*

หัวข้อโครงการพิเศษ      การศึกษาคอนกรีตที่มีการไหลและมีกำลังสูงในประเทศไทย  
 (A STUDY OF FLOWING AND HIGH-STRENGTH  
 CONCRETE THAILAND)




นักศึกษา                      นายยุทธชัย บุตรศรี                      รหัสประจำตัว 34105277  
    นายรัฐพงศ์ พันธุ์ติยะ                      รหัสประจำตัว 34105284

หลักสูตร                      วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

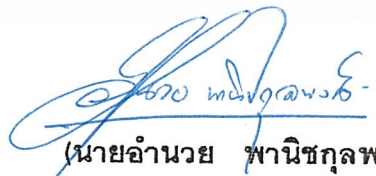
สาขา                              วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา                              วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา              ดร.ศรிகฤษ หิรัญมาศ

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
1.อาจารย์วิบูลย์ วุฒินุญาน	
2.อาจารย์สมชาย สำลีรงค์กุล	
3.ดร.ศรிகฤษ หิรัญมาศ	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

  
 (นายอำนาจ พานิชกุลพงษ์)  
 หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
 วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

## กิตติกรรมประกาศ

การทำรายงานฉบับนี้ ข้าพเจ้าได้รับความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล รวมทั้งคำชี้แนะต่างด้านการทำโครงการวิจัยนี้ ข้าพเจ้ารู้สึกสำนึกในความกรุณาและขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ในการทำโครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ข้าพเจ้าได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจาก

-อาจารย์ ศรีกรีช หิรัญมาศ อาจารย์ที่ปรึกษาผู้คอยให้คำชี้แนะและให้คำปรึกษาระหว่างการทำโครงการวิจัยและได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขโครงการวิจัยฉบับนี้

-เจ้าหน้าที่ประจำโรงปฏิบัติการงานเทคโนโลยีการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์การทดสอบ ตลอดจนให้ความสะดวกตลอดการทำงานโครงการวิจัย

-คุณ บุญรอด คูปติกัมภ์ วิศวกรประจำฝ่ายปฏิบัติการ และทดสอบ บริษัท คอนกรีตผสมเสร็จซีเพค จำกัด ผู้ให้คำชี้แนะเกี่ยวกับงานคอนกรีต

-คุณ นิพนธ์ จิรสวรรณกุล วิศวกรสนับสนุนเทคนิค บริษัท คอนกรีตผสมเสร็จซีเพค จำกัด ผู้หาข้อมูลต่างๆและอำนวยความสะดวกในการติดต่อกับบุคคลอื่นๆ

-คุณจรัล เกตุวิเชียร ผู้จัดการฝ่ายขาย บริษัท Sika (Thailand) จำกัด ผู้ให้วัสดุและข้อมูลต่างๆ

-เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกท่านทั้งที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและที่อื่นๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดการทำโครงการวิจัยนี้

-บิดา มารดา พี่ และน้องของข้าพเจ้า ผู้คอยให้กำลังใจทั้งทางด้านกำลังใจและทางด้านกำลังทรัพย์ตลอดการทำโครงการวิจัยนี้

ท้ายสุดนี้ ขอให้ความดีและประโยชน์ทั้งหลาย อันพึงที่จะมีได้จากโครงการวิจัยฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดา มารดา และครูอาจารย์ที่ได้ให้การอบรมสั่งสอนและชี้แนะตัวข้าพเจ้าตลอดมา

นายยุทธชัย บุตรศรี

นายรัฐพงศ์ พันธุ์ติยะ

ผู้เขียนนิตិกรรมประกาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	I
หน้าอำนวยการ	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	VI
รายการตารางประกอบ	IX
รายการรูปประกอบ	X
บทที่ 1 บทนำ	1-4
1.1 คำนำ	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	2
1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย	3
1.3.1 วัตถุประสงค์	3
1.3.2 ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	5-26
2.1 ปูนซีเมนต์	5
2.1.1 กรรมวิธีผลิตปูนซีเมนต์	5
2.1.2 สารประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	9
2.1.3 อิทธิพลของสารประกอบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์	10
2.1.4 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	11
2.1.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทอื่น	13
2.1.6 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์	14
2.1.7 ปฏิกริยาไฮเดรชัน	18
2.2 สารลดน้ำพิเศษ	19
2.3 คุณสมบัติของมอร์ตาร์และคอนกรีตที่ผสมสารลดน้ำพิเศษ	20
2.3.1 ความต้องการน้ำและความสามารถทำงานได้	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.3.2 การคายน้ำ	20
2.3.3 ระยะเวลาการก่อตัว	21
2.3.4 กำลังรับแรงอัด	22
2.3.5 กำลังรับแรงดึง	22
2.3.6 ความทนทาน	22
2.3.7 การขยายตัว	22
2.3.8 การหดตัว	23
2.4 วัสดุปอซโซลาน	24
บทที่ 3 คอนกรีตสมัยใหม่สำหรับงานก่อสร้างในประเทศไทย และคอนกรีตชนิดพิเศษ	27-33
3.1 คอนกรีตกำลังอัดสูงและสูงมาก	28
3.1.1 คอนกรีตกำลังอัดสูงคืออะไร	28
3.1.2 สัดส่วนผสมของคอนกรีตกำลังอัดสูงและสูงมาก	28
3.1.3 ประโยชน์ของการใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง	29
3.2 คอนกรีตเหลวมาก	31
3.2.1 การนำคอนกรีตเหลวมากไปใช้งาน	31
3.2.2 คุณสมบัติของคอนกรีตเหลวมาก	31
3.3 High Performance Concrete	32
3.3.1 คุณสมบัติ	32
3.3.2 การออกแบบ	33
3.3.3 การใช้งาน	33
บทที่ 4 การเตรียมวัสดุวิจัยและการหาปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต	34-39
4.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	34
4.2 การหาปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต	34
4.3 ตัวอย่างการหาปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต	37

	หน้า
บทที่ 5 การทดสอบวิจัย	40-45
5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวิจัย	40
5.2 ปริมาณที่ใช้ในการทดสอบวิจัย	41
5.3 วิธีการทดสอบวิจัย	43
5.3.1 การเตรียมวัสดุผสมและแบบหล่อ	43
5.3.2 การเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีต	43
5.3.3 การทดสอบค่าการยุบตัว	43
5.3.4 การทดสอบการไหลตัว	44
5.3.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	44
บทที่ 6 ผลการทดสอบวิจัยและวิเคราะห์ผล	46-117
6.1 ผลการทดสอบการรับกำลังอัด	46
6.2 ผลการทดสอบค่าความยุบตัว	50
6.3 ผลการทดสอบค่าการไหลตัว	51
6.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบวิจัย	53
บทที่ 7 สรุปผลการทดสอบวิจัยและข้อเสนอแนะ	118-120
7.1 สรุปผลการทดสอบวิจัย	118
7.2 ข้อเสนอแนะ	120
ภาคผนวก	121-145
รูปภาพประกอบคำอธิบาย	146-167
บทแทรกแก้ไขเพิ่มเติม	168-178
บรรณานุกรม	XII

## รายการตารางประกอบ

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของออกไซด์ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	6
ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	10
ตารางที่ 2.3 ปริมาณร้อยละของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทต่างๆ	13
ตารางที่ 2.4 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางเคมี	15
ตารางที่ 2.5 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางฟิสิกส์	16
ตารางที่ 2.6 สารประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และไมโครซิลิกา	26
ตารางที่ 5.1 ปริมาณวัสดุผสมของ High Strength Concrete	41
ตารางที่ 5.2 ปริมาณวัสดุผสมของ Flowing Concrete	42
ตารางที่ 6.1 - 6.22 แสดงผลการทดสอบกำลังการรับแรงอัด ค่าการยุบตัว และค่าการไหลตัวของตัวอย่างทดสอบ ของแต่ละอัตราส่วน ระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ ทำการทดสอบที่ระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน , 3 วัน , 7 วัน , 14 วัน , และ 28 วัน	55-76
ตารางที่ 6.23 - 6.24 แสดงการสรุปค่ากำลังการรับแรงอัดของ High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่เวลา 1 วัน , 3 วัน , 7 วัน , 14 วัน , และ 28 วัน	77-78
ตารางที่ 6.25 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความยุบตัวและค่าความไหล ตัวของ High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่แต่ละ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์	79
ตารางที่ ผนวก ก-ข แสดงราคาของ High Strength Concrete และ Flowing Concrete	122-123
ตารางที่ แทรก ก. แสดงระดับการควบคุมคอนกรีตมาตรฐาน	172
ตารางที่ แทรก ข-ค. แสดงการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดตามเวลาบ่ม	174-175
ตารางที่ แทรก ง-จ. แสดงการลดลงของกำลังอัดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับ w/c	176-177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการรูปประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพกรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์	8
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำพิเศษกับการลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	21
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดน้ำและกำลังการรับแรงอัดกับปริมาณ SMFC	23
รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดน้ำและกำลังการรับแรงอัดกับปริมาณ SNFC	24
รูปที่ 6.1 - 6.11 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ	80-90
รูปที่ 6.12 - 6.22 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ	91-101
รูปที่ 6.23 แสดงการพัฒนา กำลังรับแรงอัดของ High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ	102
รูปที่ 6.24 แผนภูมิแท่งแสดงการพัฒนา กำลังรับแรงอัดของ High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ	103
รูปที่ 6.25 แสดงการพัฒนา กำลังรับแรงอัดของ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ	104
รูปที่ 6.26 แผนภูมิแท่งแสดงการพัฒนา กำลังรับแรงอัดของ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ	105
รูปที่ 6.27 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างราคากับค่าการยุบตัวและค่าการไหลตัวของ High Strength Concrete	106
รูปที่ 6.28 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างราคากับค่ากำลังรับแรงอัดของ High Strength Concrete	107

	หน้า
รูปที่ 6.29 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างราคากับค่าการยุบตัวและค่าการไหลตัวของ Flowing Concrete	108
รูปที่ 6.30 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างราคากับค่ากำลังรับแรงอัดของ Flowing Concrete	109
รูปที่ 6.31 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณซีเมนต์กับค่ากำลังรับแรงอัดของ High Strength Concrete	110
รูปที่ 6.32 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณซีเมนต์กับค่ากำลังรับแรงอัดของ Flowing Concrete	111
รูปที่ 6.33 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสารไมโครซิลิกากับค่าการยุบตัว	112
รูปที่ 6.34 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสารไมโครซิลิกากับค่าการไหลตัว	113
รูปที่ 6.35 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสารไมโครซิลิกากับค่าการรับแรงอัด	114
รูปที่ 6.36 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสาร Superplasticizer กับค่าการยุบตัว	115
รูปที่ 6.37 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสาร Superplasticizer กับค่าการไหลตัว	116
รูปที่ 6.38 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสาร Superplasticizer กับค่าการรับแรงอัด	117
รูปที่ ผนวก 1 - 11 แผนภูมิแห่งแสดงราคาของวัสดุผสมที่ใช้ผสมใน High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ	124-134
รูปที่ ผนวก 12 - 22 แผนภูมิแห่งแสดงราคาของวัสดุผสมที่ใช้ผสมใน Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ	135-145
รูปที่ แทรก ก. แสดงกราฟเปรียบเทียบราคาระหว่าง Flowing Concrete และ High Strength Concrete	178

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 คำนำ

การศึกษาคอนกรีตที่มีกำลังสูงมากจะต้องใช้วัสดุผสมเพิ่มเพื่อช่วยในการเชื่อมประสานระหว่างมวลต่างๆ และ เป็นตัวอุดประสานช่องว่างระหว่างซีเมนต์ วัสดุดังกล่าวก็คือ ไมโครซิลิกา (Microsilica,  $\text{SiO}_2$ ) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์ประมาณ 100 เท่า และ ไมโครซิลิกาจะทำปฏิกิริยากับคลีเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเหลือจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ ทำให้ได้คลีเซียมซิลิเกตไฮเดรตมากขึ้น ซึ่งคลีเซียมซิลิเกตไฮเดรตตัวนี้เองที่ทำหน้าที่เชื่อมประสานระหว่างมวลต่างๆ ทำให้คอนกรีตที่ได้มีความสามารถในการรับแรงได้สูง

การศึกษาคอนกรีตที่มีการไหล นั้นโดยทั่วไปจะเป็นการใช้คอนกรีตธรรมดาในช่อง slump 7.5-12.5 ซม. แต่คอนกรีตไหลจะมี slump อยู่ระหว่าง 18-22 ซม. โดยจะใช้สารลดน้ำจําพวก Superplasticizer เพื่อทำการลดน้ำส่วนที่เติมเข้าไปในคอนกรีตเพื่อลดน้ำส่วนเกินที่จะทำให้อำนาจของคอนกรีตที่ได้สูญเสียไป และสารลดน้ำพิเศษนี้ยังมีผลทำให้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และไมโครซิลิกาลดลงด้วย

การศึกษาคอนกรีตที่มีทั้งลักษณะการไหลและมีกำลังสูงมากในระยะเวลาอันสั้นนี้เป็นขั้นการทดลองศึกษาหาความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในประเทศไทย โดยที่ต่างประเทศ อาทิ ญี่ปุ่น อเมริกา ออสเตรเลีย ฯลฯ เริ่มที่จะนำคอนกรีตชนิดนี้มาใช้บ้างแล้ว ซึ่งแต่ละประเทศก็จะมีแนวความคิดในการใช้คุณลักษณะของคอนกรีตแตกต่างกันไป และโดยรวมแล้วการใช้งานของคอนกรีตชนิดนี้จะสามารถใช้งานได้หลายหน้าที่ (High Performance Concrete) เป็นคอนกรีตที่มีความคงทนสูง มีความสามารถที่จะไหลเข้าแบบได้สูง และที่สำคัญคือมีกำลังในระยะแรกสูงมากด้วย

## 1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปัญหาเรื่องความทนทานของคอนกรีต ในระยะยาวที่เกิดขึ้นในโครงสร้างคอนกรีตภายหลังการก่อสร้าง ที่สามารถเห็นได้ชัดเจนก็คือ การที่คอนกรีตเป็นรูพรุน และเกิดการแยกตัวของคอนกรีตขณะเท เนื่องจากขาดความชำนาญในการเทคอนกรีต และเขย่าให้เข้าแบบได้พอเหมาะ หรือเนื่องจากโครงสร้างคอนกรีตที่มีการเสริมเหล็กมากและมีรูปแบบที่ซับซ้อน จึงมีความคิดริเริ่มในการพัฒนาคอนกรีตที่มีลักษณะที่มีความเหลวในการเทเข้าแบบได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องใช้เครื่องเขย่า และในขณะที่จะต้องไม่เกิดการแยกตัว และที่สำคัญคือทำให้คอนกรีตที่ได้มีกำลังการรับแรงอยู่ในเกณฑ์สูง

ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการพัฒนาคอนกรีตที่มีชื่อว่า “High Performance Concret” (HPC) คือคอนกรีตที่สามารถเทเข้าแบบได้ทุกซอกทุกมุม โดยไม่ต้องใช้เครื่องเขย่าเข้าช่วย นอกจากนี้ HPC ยังมีการหดตัวน้อย ไม่มีรอยแตกเนื่องมาจากความร้อนจากปฏิกิริยา ไฮเดรชัน , จากการแข็งตัวของคอนกรีต และจาก Drying Shrinkage ซึ่งรอยแตกเหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดการกัดกร่อนเหล็กโครงสร้าง การพัฒนาคอนกรีต HPC ในประเทศญี่ปุ่นนั้นใช้วัสดุที่เกิดจากผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศญี่ปุ่น เช่น Blast-Furnance Slag , Fly Ash , Superplasticizer , Viscosity Agent

ในการพัฒนาคอนกรีตในประเทศไทยนั้นเราไม่มีผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมเช่นประเทศญี่ปุ่น ดังนั้นทางออกที่ดีที่สุดคือการใช้วัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศให้เป็นประโยชน์ โดยจะพิจารณาไปที่การพัฒนาคอนกรีตที่มีความสามารถในการไหลและมีกำลังสูงในระยะเวลานั้น เพื่อให้ในการเทคอนกรีตที่ง่ายและทำให้การถอดแบบได้รวดเร็ว ทำให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการทำงาน

### 1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย

#### 1.3.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านการรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีกำลังสูงและมีคุณสมบัติการไหลที่ดี
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านการรับแรงในช่วงระยะเวลาอันสั้น ที่จะนำไปใช้ในการถอดแบบได้เร็วขึ้น
3. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ ในส่วนผสมคอนกรีตว่ามีอัตราส่วนเท่าไรจึงทำให้มีความเหมาะสมในด้านราคาและด้านการนำไปใช้งาน

#### 1.3.2 ขอบเขตของการวิจัย

##### 1. ขอบเขตของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

- ปูนซีเมนต์ เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ประเภทที่ 1
- ไมโครซิลิกาชนิดผง โดยใช้ร้อยละ 0 และ 10 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์
- สารลดน้ำพิเศษชนิด Sulphonate Naphthalene Formaldehyde Condensates โดยใช้ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์
- หิน เป็นหินปูนขนาดเบอร์ 1 ที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป
- ทราย เป็นทรายแม่น้ำที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป
- น้ำ เป็นน้ำประปา โดยจะทำการทดสอบที่ 160 กก./ลบ.ม. ของคอนกรีต

##### 2. ขอบเขตของวิธีทดสอบที่ใช้ในการวิจัย

- ทดสอบกำลังรับแรงอัด
  - ทดสอบ Slump
  - ทดสอบ Flow Rate
- (การทดสอบทั้งหมด ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.ขอบเขตของระยะเวลาการบ่มตัวอย่างทดสอบ

- 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน

โดยที่การทดสอบต่างๆเป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM

### 4.ขอบเขตของอัตราส่วนผสมในคอนกรีต

-High Strength Concrete โดยจะมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อยู่ระหว่าง 0.22 ถึง 0.32

-Flowing Concrete โดยจะมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อยู่ระหว่าง 0.22 ถึง 0.32

รวมทั้งสิ้น 22 ส่วนผสม

รวมตัวอย่างที่ต้องทดสอบวิจัย =  $3 \times 5 \times 22 = 330$  ตัวอย่าง  
(แต่ละชุดทดสอบ 3 ตัวอย่าง)



## บทที่ 2 ทฤษฎี

### 2.1 ปูนซีเมนต์ (Cement)

ปูนซีเมนต์ เป็นผลผลิตที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่าง ๆ จนรวมตัวผสมกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ แคลเซียม และอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้จะหมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) ที่เมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนผสมของซีเมนต์นั้น การทำปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า ไฮเดรชัน (Hydration) คำรับของชื่อปูนซีเมนต์ที่เรียกกันว่า “ปอร์ตแลนด์” นี้ได้มาจากการตั้งชื่อของนายโจเซฟ แอสปดิน โดยในปีค.ศ. ที่ 1824 เขาได้ทำการจดทะเบียนวิธีการผลิตปูนซีเมนต์อย่างหนึ่ง ซึ่งได้จากการเผาส่วนผสมระหว่างหินปูนและดินเหนียว และเมื่อนำมาบดจะได้เนื้อปูนซีเมนต์มีสีเหลืองเทา คล้ายกับหินในเกาะของเมืองปอร์ตแลนด์ ประเทศอังกฤษ เขาจึงตั้งชื่อ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ในตอนแรกนี้ ยังมีคุณภาพต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากการเผาส่วนผสมดังกล่าวใช้ความร้อนต่ำ ซึ่งทำให้หินปูนกับดินเหนียวยังรวมตัวไม่ดี

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่สุด ในการก่อสร้างทางวิศวกรรมในปัจจุบัน โดยที่เมื่อผสมกับ หิน กรวด ทราย และน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้เป็นคอนกรีต ซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะแข็ง และทนทานคล้ายหิน ตัวอย่างสิ่งก่อสร้างคอนกรีต ได้แก่ ฐานราก ตอเชื่อม เขื่อนกำแพงกันดิน พื้นและถนน เมื่อเสริมด้วยเหล็กเสริมจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับพื้น หลังคา สะพานอาคาร อุโมงค์ และอื่น ๆ หรือเมื่อผสมรวมกัยทรายและปูนขาวจะเป็นปูนฉาบสำหรับการก่ออิฐและหิน เป็นต้น

#### 2.1.1 กรรมวิธีผลิตปูนซีเมนต์ (Manufacture of Portland Cement)

วัตถุดิบ วัตถุดิบที่สำคัญซึ่งใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ประกอบด้วย สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน เหล็กและอลูมิเนียม โดยมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุดิบที่ใช้นี้อาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือประเภทที่ให้ธาตุแคลเซียม ได้แก่ หิน ปูน (Limestone) ดินสอพอง(Chalk) ดินปูนขาว (Marl) และประเภทที่ให้ธาตุซิลิกอนและอลูมิเนียม ได้แก่ หินเชล (Shale) ดินเหนียว(Clay) หินชนวน (Slate)

นอกจากนี้ยังมีวัตถุดิบอย่างอื่น อาทิเช่น

(ก) แร่เหล็ก (Iron Ore) ใช้เพื่อเพิ่มปริมาณเหล็กให้ได้ตามต้องการ ในกรณีที่ดินเชลหรือดินเหนียวที่ใช้มีปริมาณของเหล็กต่ำ

(ข) ยิปซัม (Gypsum) ใช้เพื่อเป็นสารหน่วงการก่อตัว โดยผสมรวมกับปูนเม็ดจากเตาเผา

ออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ	เปอร์เซ็นต์
ปูนขาว (CaO)	
ซิลิกา (SiO <sub>2</sub> )	20 - 24
อลูมิน่า (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	45 - 8
เหล็ก (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2 - 5

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของออกไซด์ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

## กรรมวิธีผลิต

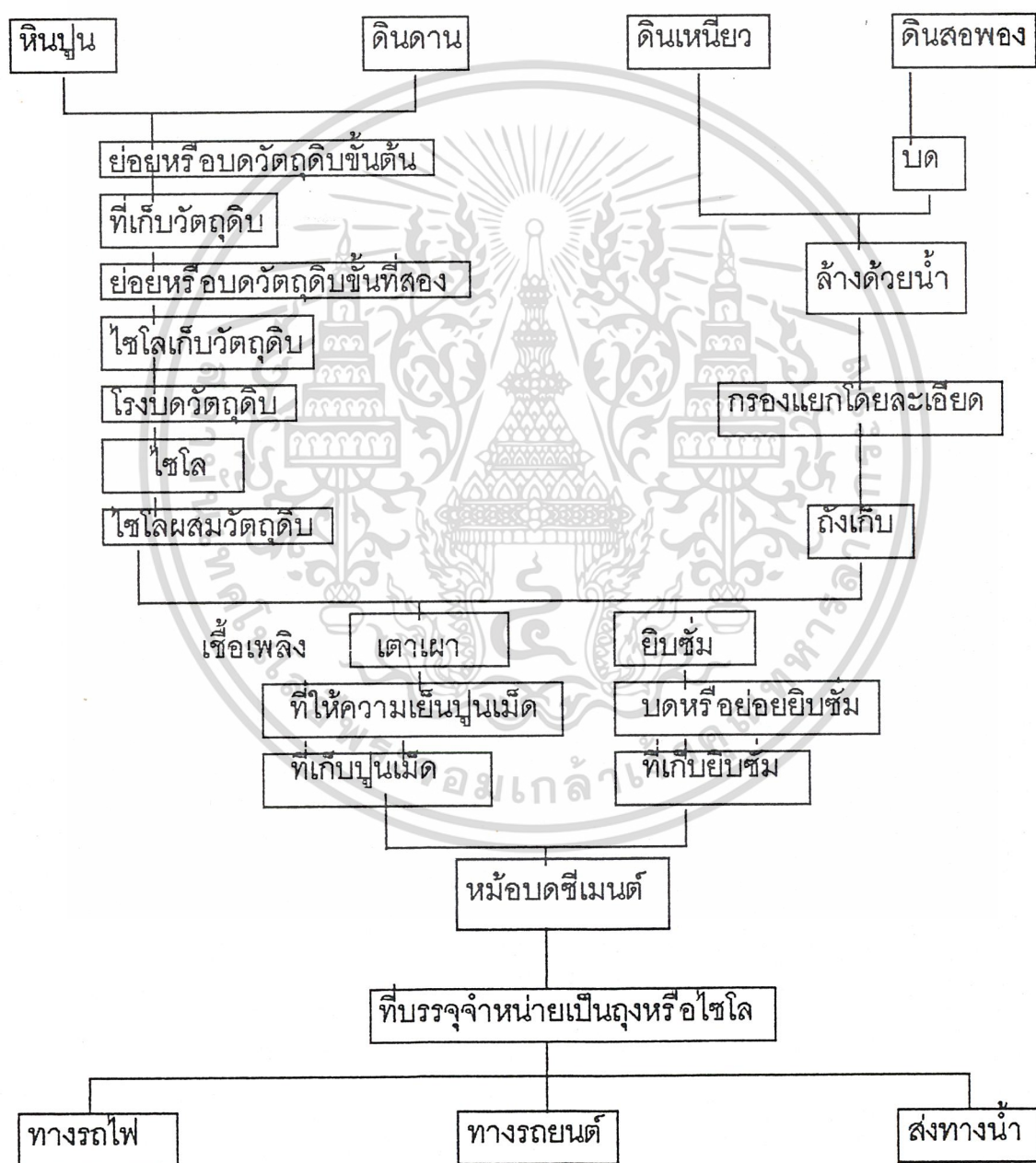
กรรมวิธีในการผลิต เป็นการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) หรือการผลิตแบบเปียก (Wet Process) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 กล่าวคือ วัตถุดิบก่อนการเผาอาจให้ผ่านกระบวนการแห้งหรือเปียก ในกระบวนการแห้งวัตถุดิบได้รับการบดและการผสมเปียก การเลือกกระบวนการผลิตจะต้องคำนึงถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบ น้ำที่จะจ่ายให้โรงงาน ราคาของเชื้อเพลิง แหล่งกำลังไฟฟ้า วิธีเก็บฝุ่น ตลอดจนความสม่ำเสมอของวัตถุดิบก่อนป้อนเข้าเตาเผา ถ้าวัตถุดิบที่มีอยู่เป็นหินซีเมนต์และหินปูนซึ่งแห้งตามธรรมชาติ หรือมีความชื้นอยู่น้อย ก็อาจทำให้แห้งก่อนโดยใช้ความร้อนที่ออกจากเตาเผา แล้วจึงนำไปบดและผสมกันในภาวะได้โดยมีราคาการผลิตต่ำ ซึ่งในลักษณะนี้กระบวนการแห้งเสียค่าใช้จ่ายน้อย อย่างไรก็ตามถ้าส่วนผสมส่วนหนึ่งของสารผสมอยู่ในสถานะเปียก ค่าใช้จ่ายในการทำวัตถุดิบแห้ง ในกระบวนการแห้งจะเพิ่มขึ้นและอาจสูงกว่าค่าใช้จ่ายในกระบวนการเปียก ในด้านการควบคุมส่วนประกอบของวัตถุดิบทางเคมี กระบวนการทั้งสองจะไม่แตกต่างกันนัก กระบวนการเปียกจะซับซ้อนน้อยกว่า และเหมาะกว่า แต่ในการปรับปรุงคุณภาพและการเพิ่มชนิดของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์จากวัตถุดิบที่มีอยู่ กระบวนการแบบแห้งสามารถควบคุมให้มีประสิทธิภาพดีกว่ากระบวนการเปียก

เมื่อนำวัตถุดิบมาบดละเอียดและผสมเข้าด้วยกันในอัตราที่เหมาะสม แล้วส่วนผสมนี้จะถูกป้อนเข้าทางด้านบนของเตาเผา (Kiln) เตาเผาเปรียบเสมือนหัวใจของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ เป็นเครื่องจักรที่ใหญ่และแพงที่สุด ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่มีการหยุดพัก เตาเผาส่วนใหญ่ในปัจจุบันนี้ใช้แบบเตาหมุน (Rotary Kiln) ซึ่งเป็นเหล็กกล้ารูปทรงกระบอกยาวประมาณ 50 -150 เมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-4 เมตร ภายในบุด้วยอิฐทนไฟ หมุนรอบตัวในแนวเฉียงอย่างช้า ๆ ประมาณ 1.3 รอบต่ออนาที อุณหภูมิที่ใช้เผาประมาณ 1400-1500° C วัตถุดิบที่ผสมและถูกเผาแล้วจะกลายเป็นปูนเม็ด (Clinker) ถูกส่งออกมาข้างนอกทางด้านล่างของเตาสี่และรูปร่างของปูนเม็ด จะบ่งบอกถึงการเผาว่าเป็นไปอย่างถูกต้องหรือไม่ ถ้าเผาได้ที่ปูนเม็ดจะมีสีดำปนเขียวเหมือนแก้วใส เมื่อเย็นตัวจะแวววาวเป็นจุด ๆ ก้อนใหญ่ส่วนมากจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25 มม.(1 นิ้ว) ปูนเม็ดที่ยังเผา

รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพกรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์

กรรมวิธีผลิตแบบแห้ง

กรรมวิธีผลิตแบบเปียก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไม่ได้ที่จะมีสีน้ำตาล หรือสีน้ำตาลเป็นหย่อม ๆ ไม่เป็นมันเหมือนที่เผาได้ที่แล้ว ปูนเม็ดที่เผาเกินพอจะมีสีน้ำตาลแข็งเป็นหย่อม ๆ การเผาเกินพอไม่เป็นการเสียหายแต่อย่างใด เพียงแต่สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและเพิ่มค่าใช้จ่ายในการบดปูนเม็ด ทั้งนี้เพราะปูนเม็ดที่เผาเกินพอมีความแข็งแรงมาก ปูนเม็ดที่ได้จากเตาเผาจะร้อนมาก ต้องได้รับการลดอุณหภูมิให้เหมาะสมก่อนนำไปบด การลดอุณหภูมิกระทำโดยเครื่องทำให้เย็น (Clinker Cooler) ซึ่งอาจจะเป็นแบบหมุน (Rotary Cooler) หรือแบบตะแกรง การทำให้ปูนเม็ดเย็นลงนั้นจะต้องมีการควบคุมอย่างดี เพราะมีผลต่อคุณภาพของปูนซีเมนต์ ถ้าปูนเม็ดถูกทำให้เย็นตัวเร็วจะบดง่าย และความแข็งแรงภายใน 7 วันดี ขึ้น แต่ถ้าปูนเม็ดถูกทำให้เย็นลงอย่างช้า ๆ ความแข็งแรงในระยะหลังจะสูงขึ้น ปูนเม็ดที่เย็นตัวแล้วจะถูกนำไปบดละเอียดในหม้อบดปูน (Cement Mill) ปูนเม็ดที่บดละเอียดแล้วส่วนมากจะผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 200 ได้หมด ปูนซีเมนต์ที่บดแล้วนี้จะมีบัพซึมผสมอยู่ด้วยประมาณ 5 % เพื่อทำให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวช้าลงเมื่อผสมกับน้ำ เพราะถ้าไม่มีบัพซึมแล้วปูนซีเมนต์นี้จะก่อตัวเร็วเกินไป จนไม่มีเวลารานานพอที่จะไปเทลงในแบบได้เมื่อได้ผสมกับน้ำปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากกว่า จะก่อตัวและให้ความแข็งแรงได้เร็วกว่า ส่วนปูนซีเมนต์ที่หยาบอาจทำให้เกิดการคายน้ำได้มากกว่าปูนซีเมนต์ที่ละเอียด ปูนซีเมนต์สำเร็จรูปที่ได้นี้จะถูกนำไปเก็บไว้ที่ถังทรงกระบอกใหญ่ มีผนังปกคลุมมิดชิดกันความชื้นเพื่อนำไปบรรจุใส่ถุงและจำหน่ายต่อไป ในประเทศไทยจะบรรจุในถุงกระดาษมีเนื้อปูนจริง 50 กิโลกรัม

### 2.1.2 สารประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

เมื่อเผาวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ ซึ่งได้แก่ สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน อลูมิเนียม และเหล็ก สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาทางเคมี และรวมตัวกันเป็นสารประกอบอยู่ในปูนเม็ดในรูปของผลึกละเอียดมาก สารประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง ที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หลังจากการเผาแล้วได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate) และเตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tricalcium Aluminoferrite) ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งได้ให้ชื่อย่อของสารประกอบเหล่านี้ตามอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ โดยใช้ชื่อย่อของออกไซด์ของธาตุใดด้วยตัวอักษรของธาตุนั้นเพียงตัวเดียว กล่าวคือ CaO ย่อเหลือตัว C; SiO<sub>2</sub> ย่อเหลือตัว S; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ย่อเหลือตัว A; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ย่อเหลือตัว F

ชื่อของสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรคัลเซียมซิลิเกต	3 Cao. SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
ไดคัลเซียมซิลิเกต	2 Cao. SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
ไตรคัลเซียมอลูมิเนต	3 CaO. Al <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> A
เตตราคัลเซียมอลูมิ โนเฟอร์ไรท์	4 CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

## ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

นอกจากนี้แล้วยังมีสารประกอบอื่น ๆ อีกที่ได้หลังจากการเผา เช่น MgO, TiO<sub>2</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O และ Na<sub>2</sub>O ซึ่งปะปนอยู่เป็นจำนวนน้อย เมื่อเทียบกับน้ำหนักของปูนซีเมนต์

จำนวนเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบเหล่านี้ที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับจำนวนของสารประกอบเหล่านี้ สารประกอบ C<sub>3</sub>S ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังแรงในระยะหลังสารประกอบ C<sub>3</sub>A ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงเร็ว สารประกอบ C<sub>2</sub>S ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงในระยะหลัง สารประกอบ C<sub>4</sub>AF ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงในระยะหลัง และยับยั้งเป็นหน่วงให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวและแข็งตัวตามต้องการ

### 2.1.3 อิทธิพลของสารประกอบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์

จำนวนของสารประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ ทำให้คุณสมบัติของปูนซีเมนต์เปลี่ยนแปลงไป เช่น ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงเร็วหรือช้า ระยะเวลาการก่อตัวและแข็งตัวอาจเร็วขึ้นหรือช้าลง ความร้อนที่ได้จากการมาปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์อาจสูงหรือต่ำ เป็นต้น

สารประกอบไตรคัลเซียมซิลิเกต (C<sub>3</sub>S) และไดคัลเซียมซิลิเกต (C<sub>2</sub>S) ซึ่งผลรวมกันเป็นปริมาณเท่ากับ 70-80 % ของปริมาณปูนซีเมนต์ทั้งหมด จะเป็นตัวควบคุมความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ กล่าวคือ ถ้ามี C<sub>3</sub>S ผสมอยู่มาก และมี C<sub>2</sub>S ผสมอยู่น้อย จะทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีความแข็งแรง หรือกำลังสูงในระยะแรก (high-early Strength) และให้ปริมาณความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้ามี  $C_3S$  ผสมอยู่มาก และมี  $C_2S$  อยู่น้อย จะได้ปูนซีเมนต์ที่มีความแข็งแรงหรือได้กำลังช้า และปริมาณความร้อนน้อยสารประกอบไตรแคลเซียมอลูมิเนต (CA) จะมีผลต่อการทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ตลอดจนความร้อนที่เกิดขึ้น ถ้าปูนซีเมนต์มี CA ผสมอยู่น้อย ความร้อนที่ได้จากการปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำก็จะน้อย

แต่ช่วยให้ได้คอนกรีตมีกำลังอัดประลัยสูงกว่า มีรอยแตกร้าว (Cracking) น้อยกว่า มีความคงทนต่อปฏิกิริยาของกรดและเกลือซัลเฟตดีกว่าปูนซีเมนต์ที่มี CA ผสมอยู่มาก

ถ้ามีปริมาณของปูนขาว(CaO)อยู่ในปูนซีเมนต์มาก จะทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีระยะเวลาการก่อตัวช้า (Slow- setting) แต่จะได้ปูนซีเมนต์ที่มีกำลังสูงในระยะแรก ถ้าหากมีปริมาณของปูนขาวนี้มากเกินไปจะทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีความไม่คงตัว (Unsoundness)

ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณของซิลิกา  $SiO_2$  (Silica) และอลูมินา  $Al_2O_3$  (Alumina) อยู่มากจะเป็นปูนซีเมนต์ที่มีกำลังสูง แต่ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณของซิลิกามากเพียงอย่างเดียว จะเป็นปูนซีเมนต์ที่มีระยะเวลาการก่อตัวช้า ซึ่งตรงกันข้ามกับปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณของอลูมินามาก ซึ่งทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเร็วขึ้น

ออกไซด์ของเหล็ก  $Fe_2O_3$  (Iron Oxide)ร่วมกับปูนขาวและซิลิกา จะมีประโยชน์ต่อปูนซีเมนต์ที่มีซิลิกาสูงคือ ทำให้ปริมาณของไตรแคลเซียมอลูมิเนตลดลง แต่ปูนเม็ดที่มี  $Fe_2O_3$  มากเกินไปจะแข็งทำให้บดยากขึ้น

ถ้ามีปริมาณของแมกนีเซีย (Magnesia) อยู่มากในส่วนของปูนซีเมนต์ จะทำให้เกิดความไม่คงตัว (Unsoundness)

#### 2.1.4 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ASTM)และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกรรมของประเทศไทย(ม.อ.ก.15) แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ต ออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ 5 ประเภทคือ

**ประเภทที่หนึ่ง** ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์ใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา แลกะสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรงหรือในที่ที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือที่ความร้อนที่เกิดจากการรวมตัว จะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตราย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายล้าง ทรายพญานาคสีเขียว และทรายเพชรเม็ดเดียว

**ประเภทที่สอง** ปูนซีเมนต์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำหรับใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ขอไปใช้ฟรีเพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงดินกันดินหนา ๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ตอม่อสะพาน เป็นต้น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตราพญานาคเจ็ดเศียร

**ประเภทที่สาม** ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High - early Strength Portland Cement) หรือที่เรียกว่าซูเปอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ให้กำลังสูงในระยะแรก มีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา ผลิตได้โดยการเปลี่ยนสัดส่วนและโดยการเติมสารอื่น โดยการบดให้ละเอียดยิ่งขึ้น หรือโดยการเผาให้ดีขึ้น มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้เร็ว หรือรีบแบบเร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้นและคานที่ต้องถอดแบบเร็ว เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง ตราสามเพชร

**ประเภทที่สี่** ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low - Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด ซึ่งปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีต หลา เช่น เขื่อน เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นขณะแข็งตัว

**ประเภทที่ห้า** ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate - Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ต้านทานซัลเฟตได้สูง สำหรับใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำหรือดินที่มีด่าง(Alkaline)สูง มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตราปลาฉลาม

ปูนซีเมนต์แต่ละประเภtdังกล่าวข้างต้น มีทั้งชนิดกระจายกักฟองอากาศหรือไม่กระจายกักฟองอากาศ ปูนซีเมนต์ชนิดกระจายกักฟองอากาศจะมีสารสำหรับกระจายกักฟองอากาศผสมอยู่ด้วย ซึ่งทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นในเนื้อคอนกรีตมาก ทำให้ทนความเย็นได้ นอกจากนี้ยังทำให้ใช้น้ำผสมน้อยลง เพราะมีฟองอากาศอยู่ด้วยช่วยให้แห้ง เป็นผลให้กำลังคอนกรีตดีตามไปด้วย สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกันให้ข้อกำหนดสำหรับปูนซีเมนต์ชนิดกระจายกักฟองอากาศ 3 ประเภทคือ ประเภท IA, IIA และ IIIA ซึ่งตรงกับประเภทที่หนึ่ง สอง และสามตามลำดับ

ส่วนประกอบ	ประเภท					
		หนึ่ง	สอง	สาม	สี่	ห้า
ไตรคัลเซียมซิลิเกต : $C_3S$		49	46	56	30	43
ไดคัลเซียมซิลิเกต : $C_2S$		25	29	15	46	36
ไตรคัลเซียมอลูมิเนต : $C_3A$		12	6	12	5	4
เตตราคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ : $C_4AF$		8	12	8	13	12

ตารางที่ 2.3 ปริมาณร้อยละของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่าง ๆ

#### 2.1.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทอื่น

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กากเตาถลุง (Portland - blastfurnance Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่สร้างขึ้นโดยการบดเม็ดตะกั่วเตาถลุง (Blastfurnace slag) กับปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาเข้าด้วยกันจนเป็นผงละเอียด และมียิบซั่มผสมอยู่ด้วยจำนวนหนึ่ง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้ความแข็งแรงหรือกำลังในระยะแรกเท่ากับ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา(ประเภทหนึ่ง) แต่ในระยะหลังอาจจะสูงกว่าเล็กน้อย เหมาะสำหรับใช้กับงานก่อสร้างทั่วไปประเภทเดียวกันกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา หากแต่ราคาถูกกว่า

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland Pozzolanic Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่สร้างขึ้นจากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ธรรมดากับสารจำพวกปอซโซลานิก (Pozzolanic) ปอซโซลาน (Pozzolan) ที่ใช้อาจได้มาจากธรรมชาติหรือเป็นวัสดุทำเทียม ประกอบด้วยซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของปอซโซลานที่ใส่อยู่ระหว่าง 15-50 % โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์สำเร็จรูป ดังนั้นราคาจึงถูกกว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานทำให้คอนกรีตที่มีการขยายตัวน้อย แต่มีความทึบน้ำสูงให้ความร้อนในการรวมตัวกับน้ำต่ำเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา จึงเหมาะสำหรับการก่อสร้างคอนกรีตหนา มีอัตราการเกิดความแข็งแรงช้า เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้า ๆ แต่ความต้านทานแรงอัดจะเท่ากับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา นอกจากนี้ยังมีคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนของสารประกอบพวกซัลเฟตได้ดีอีกด้วย จึงเหมาะสำหรับงานคอนกรีตในทะเล

ปูนซีเมนต์อลูมินาสูง (High Alumina Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตจากการหลอมส่วนผสมของหินปูนหรือซอล์กับสารที่มีอลูมินามาก เช่น บอกไซต์ (Bauxite) จนกลายเป็นปูนเม็ดแล้วบดให้ละเอียด ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังเร็ว แต่ให้ความร้อนมาก คอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีความแข็งแรงภายในเวลา 24 ชั่วโมง จนถึงประมาณ 2 เท่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของสารประกอบพวกซัลเฟตอีกด้วย จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นคอนกรีตในน้ำทะเลและในที่ต้องการความแข็งแรงในเวลานั้น

ปูนซีเมนต์ซัลเฟตสูง (Super-sulphated Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดส่วนผสมของเม็ดตะกั่วแดง คัลเซียมซัลเฟต และปูนซีเมนต์หรือปูนเม็ดเข้าด้วยกัน มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเลและสารพวกซัลเฟตได้เป็นอย่างดี และยังทนทานต่อกรดและน้ำมัน นอกจากนี้ยังให้ปริมาณที่ได้จากการทำปฏิกิริยากับน้ำต่ำอีกด้วย

ปูนซีเมนต์ขยายตัว (Expanding Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดส่วนผสมของปูนเม็ด ยิบซั่ม และเม็ดตะกั่วแดงให้เข้ากันทั่วถึง แตกต่างจากปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ ตรงที่เมื่อก่อตัวและแข็งตัวมันจะขยายตัวออกก่อน เป็นการลดรอยแตกร้าวอันเนื่องมาจากการหดตัวของคอนกรีต

ปูนซีเมนต์งานก่อ (Masonry Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ทำขึ้นจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดากับสารอื่น ๆ เช่น ยิบซั่ม ฝุ่นปูนขาว ดินสอพอง ดิน ทาลค์ (Talc) เป็นต้น เพื่อให้ปูนก่อที่มีคุณสมบัติปั้นง่ายและมีความแข็งแรงเหมาะสำหรับงานก่อหิน ก่ออิฐ

ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดากับทรายประมาณ 25-30 % ปริมาณเนื้อซีเมนต์จึงมากขึ้นและมีราคาถูกลง มีลักษณะแข็งตัวช้า ไม่ยี้ดหรือหดตัวมาก เหมาะกับงานก่ออิฐถือปูน ทำถนน เทพื้น ตอม่อ หล่อภาชนะคอนกรีต หล่อท่อ กระเบื้องมุงหลังคา งานอาคาร 2 - 3 ชั้น ตึกแถว หรืองานที่ไม่ต้องการกำลังมาก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเสือ ตรางูเห่า และตรานกอินทรี

#### 2.1.6 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ผลิตเสร็จแล้วจะต้องมีคุณภาพสม่ำเสมอ และเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดคุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.4 และ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.4 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางเคมี

	ประเภท				
	หนึ่ง	สอง	สาม	สี่	ห้า
1.ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO <sub>2</sub> ) ต่ำสุดร้อยละ		21.0			
2.อลูมินัมออกไซด์ (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) สูงสุด ร้อยละ		6.0			
3.เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) สูงสุด ร้อยละ		6.0			
4. แมกเนเซียมออกไซด์ (MgO) สูงสุด ร้อยละ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
5. ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO <sub>3</sub> ) สูงสุด ร้อยละ					
5.1 เมื่อมี 3 CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ร้อยละ 8 หรือน้อยกว่า	2.5	2.5	3.0	2.3	2.3
5.2 เมื่อมี 3 CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> มากกว่าร้อยละ 8	3.0		4.0		
6. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on igation) สูงสุด ร้อยละ	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
7. กากที่ไม่ละลายในด่าง (Insoluble residue) สูงสุด ร้อยละ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
8. ไตรคัลเซียมซิลิเกต (3 Cao. SiO <sub>2</sub> ) สูงสุด ร้อยละ				35.0	
9. ไดคัลเซียมซิลิเกต (2 CaO. SiO <sub>2</sub> ) สูงสุด ร้อยละ				40.0	
10. ไตรคัลเซียมอลูมิเนต (3 CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) สูงสุด ร้อยละ		8.0	15.0	7.0	5.7
11.ผลบวกของไตรคัลเซียมซิลิเกต และ ไตรคัลเซียมอลูมิเนต สูงสุด ร้อยละ					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

	ประเภท				
	หนึ่ง	สอง	สาม	สี่	ห้า
12. เทตราคัลเซียมอลูมิโนเฟอไรท์ บวกสอง เท่า ไตรคัลเซียมอลูมิเนต [[4CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +2(3CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )] หรือสารละลายแข็ง [(4CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 2 CaO.Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ] แล้วแต่กรณี สูงสุด ร้อยละ		58.0			20.0

## ตารางที่ 2.5 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางฟิสิกส์

	ประเภท				
	หนึ่ง	สอง	สาม	สี่	ห้า
1.ความละเอียด(fitmess) พื้นผิวจำเพาะ(specific surface) ชม <sup>2</sup> /กรัม (ให้เลือกวิธีทดสอบได้)					
1.1 ทดสอบด้วยเทอร์บิดิเมเตอร์ (turbidimeter test, Wagner) ค่าเฉลี่ยต่ำสุด ชม <sup>2</sup> /กรัม	1600	1600		1600	1600
ค่าต่ำสุดสำหรับตัวอย่างใดตัวอย่าง หนึ่ง ชม <sup>2</sup> /กรัม	1500	1500		1500	1500
1.2 ทดสอบด้วยแอร์เพอมีอะบิลิตี (air permeability test, Blaine) ค่าเฉลี่ยต่ำสุด ชม <sup>2</sup> /กรัม	2800	2800		2800	2800
ค่าต่ำสุดสำหรับตัวอย่างใดตัวอย่าง หนึ่ง ชม <sup>2</sup> /กรัม	2600	2600		2600	2600

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

	ประเภท				
	หนึ่ง	สอง	สาม	สี่	ห้า
2.ความอยู่ตัว (soundness) การขยายตัวโดยวิธีออโตคลेฟ (autoclave expansion) สูงสุด ร้อยละ	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
3.ระยะเวลาก่อตัว (time of setting) (ให้เลือกทดสอบได้)					
3.1 ทดสอบแบบกิลโมร์(Gillmore test) การก่อตัวระยะต้น (initial set) ไม่น้อยกว่า-นาที	60	60	60	60	60
การก่อตัวระยะปลาย (final set) ไม่น้อยกว่า-ชั่วโมง	10	10	10	10	10
3.2 ทดสอบไวแคต(Vicat test) การเริ่มก่อตัว ไม่น้อยกว่า-นาที	45	45	45	45	45
4. ปริมาณอากาศในมอร์ตาร์ (air content of mortar)เมื่อเตรียมและทดสอบตามวิธีมาตรฐานโดยปริมาณสูงสุดไม่มากกว่าร้อยละ	12	12	12	12	12
5. แรงอัด (compressive strength)แรงอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์ (mortar cube)ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 1 ส่วนและทรายมาตรฐานที่ร่อนได้ตามขนาด(graded standard sand) 2.75 ส่วนโดยน้ำหนักเตรียมและทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ต้องเท่ากับหรือมากกว่าค่าที่กำหนด ตามเกณฑ์อายุข้างล่างนี้					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

	ประเภท				
	หนึ่ง	สอง	สาม	สี่	ห้า
1 วันในอากาศขึ้น กก./ชม <sup>2</sup>			120		
1 วันในอากาศขึ้น 6 วันในน้ำ กก./ชม <sup>2</sup>	150	130		55	105
1 วันในอากาศขึ้น 27 วันในน้ำ กก./ชม <sup>2</sup>	245	245		140	210
6. ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (Heat of Hydration)					
7 วัน สูงสุด คาลอรีต่อกรัม		70		60	
28 วัน สูงสุด คาลอรีต่อกรัม		80		70	
7. การก่อตัวผิดปกติ (false set) ระยะจมนสุดท้าย (final penetration) ต่ำสุดร้อยละ	50	50	50	50	50
8. การขยายตัวเนื่องจากซัลเฟต (sulphate expansion) 14 วัน สูงสุดร้อยละ					0.045

## 2.1.7 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน

เมื่อผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ผลผลิตที่สำคัญได้แก่ คัลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate, CSH) ประมาณ 50 - 70 % คัลเซียมอลูมินาไฮเดรต (Calcium Aluminate Hydrate, CAH) ประมาณ 10 % และคัลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, CH) ประมาณ 20-25% ผลึกของคัลเซียมไฮดรอกไซด์ จะขยายภายในช่องว่างที่มีอยู่ การเกิดช่องว่างที่มีเนื้อที่จำกัดทำให้คัลเซียมไฮดรอกไซด์ มีรูปร่างต่าง ๆ ตามช่องว่าง คัลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นผลึกที่ไม่แข็งแรง เป็นตัวถูกทำลายได้ง่าย ดังนั้นการเพิ่มปริมาณสารปอซโซลานสามารถ ติมการทำปฏิกิริยากันและลดปริมาณคัลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้คุณสมบัติหลายด้านของคอนกรีตดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 สารลดน้ำพิเศษ

สารลดน้ำพิเศษ หรือ (Superplasticizer) ได้มีการค้นพบครั้งแรกในปี 1983 โดย W. R Grace และได้มีการพัฒนาเรื่อย ๆ จนกระทั่งปี 1964 ได้มีการนำมาใช้ในเชิงธุรกิจ โดยเริ่มแรกในประเทศเยอรมันและญี่ปุ่น ในปี 1972 เริ่มใช้ในประเทศอังกฤษ และในปี 1976 เริ่มใช้ในอเมริกา สารลดน้ำพิเศษมีพฤติกรรมคล้ายกับสารลดน้ำธรรมดา คือ ช่วยลดแรงระหว่างอนุภาคเม็ดซีเมนต์ ในเพชรสุด ต่างจากสารลดน้ำทั่ว ๆ ไปคือ จะไม่มีผลต่อแรงดึงผิว (Surface Tension) ของน้ำ ดังนั้นจึงทำให้ใช้สารเคมีลดน้ำพิเศษได้ในปริมาณสูง โดยไม่ทำให้เกิดฟองอากาศมาก (ACI Commitee, 1989) สารลดน้ำพิเศษที่นิยมใช้กันอยู่มี 2 ชนิดคือ

### 1. Sulphonate Napthalene Formaldehyde Condensates

ผลิตจากกรรมวิธีทางเคมี โดยใช้ Napthalene ( $C_{10}H_8$ ) ผ่านขบวนการซัลโฟเนชัน (Sulphonation) ด้วยกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) จะได้สารแนพทาลีนกับกรดซัลฟูริก ( $SO_3H$ ) และนำสารที่ได้ทำปฏิกิริยากับฟอร์มมาดีไฮด์ (Formaldehyde,  $CH_2O$ ) ได้สารประกอบชนิดใหม่ แล้วนำไปทำการแปรสภาพโดยใช้วิธีการโพลิเมอไรเซชัน (Polymerization) แต่เนื่องจากสารประกอบชนิดนี้มีสภาพเป็นกรด ดังนั้นกลุ่มกรดซัลฟูริกจึงถูกทำลายให้เป็นกลาง % (Neutralization) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ได้สารประกอบทางเคมีของเกลือ Sulphonate Napthalene Formaldehyde Condensates

### 2. Sulphonated Melamine Formaldehyde Condensates

เป็นสารเคมีที่ได้จากกรรมวิธีทางเคมีโดยใช้เมลามีน (Melamine,  $C_3H_6N_6$ ) ทำปฏิกิริยากับฟอร์มมาดีไฮด์ ได้สารประกอบไตรเมทิลออลเมลามีน (Trimethylolmelamine) แล้วนำไปทำปฏิกิริยาต่อกับโซเดียมไบซัลไฟต์ (Sodium Bisulphite,  $NaHSO_3$ ) ได้สารชนิดใหม่แล้วจึงนำไปแปรสภาพโดยวิธีโพลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ได้เป็นสารประกอบของเกลือ Sulphonated Melamine Formaldehyde Condensates พฤติกรรมของสารลดน้ำพิเศษ เกิดจากการกระตุ้นที่ผิวทำให้ประจุไฟฟ้าไม่สมดุล (Unbalance Charge) สารลดน้ำพิเศษที่เติมลงไปก็จะหนีขึ้นมาอยู่บนผิวน้ำ โดยประจุลบจะถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของเม็ดซีเมนต์ ทำให้เกิดประจุลบอยู่รอบ ๆ เม็ดซีเมนต์ ยังผลให้เม็ดซีเมนต์ไม่รวมตัวกันเนื่องจากมีประจุเหมือนกัน และเพิ่มพื้นที่ผิวของซีเมนต์ ทำให้ปฏิกิริยามีมากขึ้น และเกิดแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดซีเมนต์กับมวลรวมมากขึ้น เป็นผลให้คอนกรีตมีกำลังมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สละประโยชน์ของสารลดน้ำพิเศษคืออีกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ใช้ในการผลิตคอนกรีตไหล (Flowing Concrete) ที่มีค่าการยุบตัวสูงถึง 200 มม. หรือมากกว่านี้

2. ใช้ในการผลิตคอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete) ซึ่งทำให้ลดปริมาณน้ำได้ถึง 30% ในขณะที่ยังรักษาความสามารถทำงานได้เหมือนเดิม

3. ใช้เพื่อลดปริมาณปูนซีเมนต์ ได้อย่างน้อยที่สุด 10-20% ในขณะที่ยังรักษาความสามารถทำงานได้และกำลังของคอนกรีตยังคงเท่าเดิม

รูปที่ 2.3 แสดงประจุไฟฟ้าที่ล้อมรอบเม็ดซีเมนต์เมื่อผสมสารลดน้ำพิเศษ (Heinz, 1983)

## 2.3 คุณสมบัติของมอร์ตาร์และคอนกรีตที่ผสมสารลดน้ำพิเศษ

### 2.3.1 ความต้องการน้ำและความสามารถทำงานได้

สารลดน้ำพิเศษจะช่วยให้คอนกรีตมีความสามารถทำงานได้สูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงเดิม นอกจากนี้สารลดน้ำพิเศษยังสามารถทำให้คอนกรีตมีความสามารถทำงานได้สูง โดยไม่ทำให้เกิดการสูญเสียการเกาะตัว (Cohesion) มากเกินไป และยังพบว่าเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงเดิม (Rixom, 1976) สารลดน้ำพิเศษจะช่วยให้คอนกรีตมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลงเมื่อความสามารถทำงานได้คงเดิม และเมื่อเพิ่มปริมาณสารลดน้ำพิเศษขึ้น เมื่อความสามารถทำงานได้คงเดิม ดังแสดงในรูปที่ 3 การใส่สารลดน้ำพิเศษในปริมาณเกินไปจะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง เพราะปริมาณน้ำส่วนเกินมากขึ้น และเกิดการสูญเสียการยึดเกาะของมวลรวมและซีเมนต์เฟสที่ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าปริมาณสารลดน้ำพิเศษที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1-3%

### 2.3.2 การคายน้ำ

โดยทั่วไปเมื่อใส่สารลดน้ำพิเศษเพื่อลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์แล้ว การคายน้ำจะลดลง ยกเว้นคอนกรีตที่มีความสามารถทำงานได้สูงมาก การลดการคายน้ำทำได้โดยปรับส่วนผสม โดยให้อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมหยาบสูงขึ้นหรือใส่วัสดุละเอียด (ACI Committee, 1989) ในคอนกรีตที่พร่องส่วนละเอียด (มวลละเอียดหรือซีเมนต์) สารลดน้ำพิเศษสามารถลดการคายน้ำ (Bleeding) และการแยกแยะ (Segregation) ได้ และการใส่สารลดน้ำพิเศษ 1.25% ทำให้อัตราการคายน้ำและความสามารถการคายน้ำของมอร์ตาร์ลดลง และการคายน้ำของคอนกรีตที่ผสมสารลดน้ำพิเศษ 2% วัดค่าการคายน้ำได้เท่ากับ 0

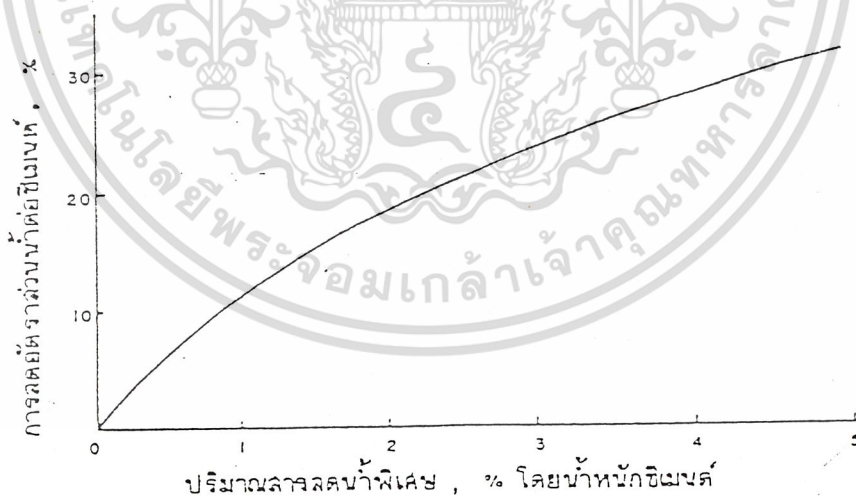
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยกรมการช่างเทคนิคแห่งชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิเศษ 1.25% ทำให้อัตราการคายน้ำและความสามารถในการคายน้ำของมอร์ตาร์ลดลง และการคายน้ำของคอนกรีตที่ผสมสารลดน้ำพิเศษ 2% วัดค่าการคายน้ำได้เท่ากับ 0

### 2.3.3 ระยะเวลาการก่อตัว

การใส่สารลดน้ำพิเศษลงไปจะไม่ทำให้เวลาการก่อตัวเปลี่ยนไป (Rixom, 1978 และ Raymond, 1983) พบว่าการใส่สารลดน้ำพิเศษ 1.25% จะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวระยะต้นและระยะปลายเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของระยะเวลาการก่อตัวอยู่ในช่วงที่กำหนดให้ตามมาตรฐาน ASTM 494-86 Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete) และสารลดน้ำพิเศษจะไม่ค่อยมีผลกระทบต่อระยะเวลาการก่อตัวที่เปลี่ยนไป เอกสิทธิ์ (2533) ให้เหตุผลว่าปฏิกิริยาไฮเดรชันยังคงเหมือนเดิมเมื่อผสมสารลดน้ำพิเศษจึงไม่ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเปลี่ยนไป



รูป 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำพิเศษกับการลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ( Rixom, 1978 )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 กำลังรับแรงอัด

การใส่สารลดน้ำพิเศษโดยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม จะทำให้กำลังกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น แต่ถ้าใส่สารลดน้ำพิเศษแล้วลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ด้วยจะทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสูงขึ้นอีก ( ACI Committee, 1980 ) ปริมาณสารลดน้ำพิเศษสำหรับการลดน้ำมากที่สุด ไม่จำเป็นเสมอไปว่าจะให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14 ( Stuart และคณะ, 1980 ) และทำให้กำลังรับแรงของมอร์ตาร์ที่อายุ 3, 7, 28, 90 สูงกว่ากำลังในแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ไม่ได้ใส่สารลดน้ำพิเศษถึง 58%, 29%, 24%, 25% ตามลำดับ

### 2.3.5 กำลังรับแรงดึง

กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำพิเศษ โดยที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม จะประมาณเท่าเดิม ส่วนกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำพิเศษสำหรับลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ จะสูงขึ้น แต่ไม่เป็นสัดส่วนกับการเพิ่มกำลังรับแรงอัด (ACI Comittee, 1989) และเมื่อใส่สารลดน้ำพิเศษ 1.25% จะทำให้กำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์สูงขึ้นประมาณ 8% โดยเฉลี่ยส่วนผสมคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำพิเศษโดยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่

### 2.3.6 ความทนทาน

ความต้านทานการแข็ง การละลาย และการกัดเซาะของน้ำและดินจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณน้ำลดลง แต่การลดน้ำจะทำให้คอนกรีตมีความทึบน้ำขึ้นมาก และกำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นมากด้วย ความต้านทานการแข็งและละลายของคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำพิเศษ จะเหมือนกับคอนกรีตทั่วไปที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากัน คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มากกว่า 0.4 จะทำให้น้ำซึมผ่านได้น้อยมาก และสามารถต้านทานการละลายได้ดีขึ้น (ACI Comittee, 1989) และเมื่อใส่สารลดน้ำพิเศษ 1.25% การสูญเสียน้ำหนักของมอร์ตาร์จะมากขึ้น และกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ลดลงมากขึ้น

### 2.3.7 การขยายตัว

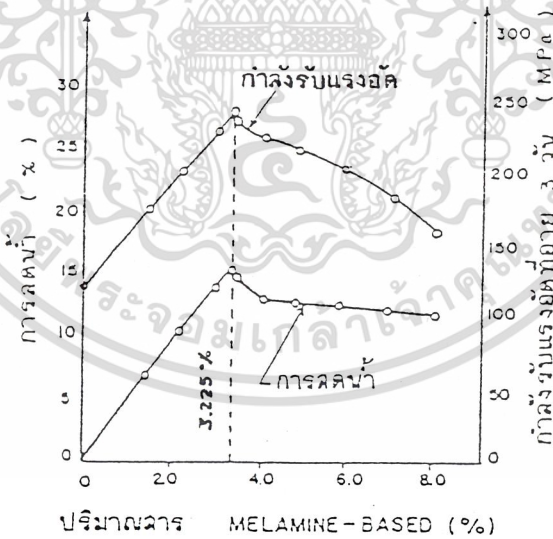
การบวมคอนกรีตในน้ำจะเป็นผลทำให้เกิดการขยายตัว ( Swelling ) เนื่องจากการดูดน้ำของซีเมนต์เจล ( Cement Gel ) สำหรับคอนกรีตที่ทึบน้ำ น้ำจะเข้าสู่เพสต์ได้น้อยลง

เป็นผลให้เกิดการขยายตัวลดลง การขยายตัวของคอนกรีตน้ำหนักปกติ ( Normal Weight )  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Concrete) จะมีค่าเพียง 10-20% ของการหดตัว (Neville, 1987) และเมื่อใส่สารลดน้ำพิเศษ 1.25% การขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์จะลดลง

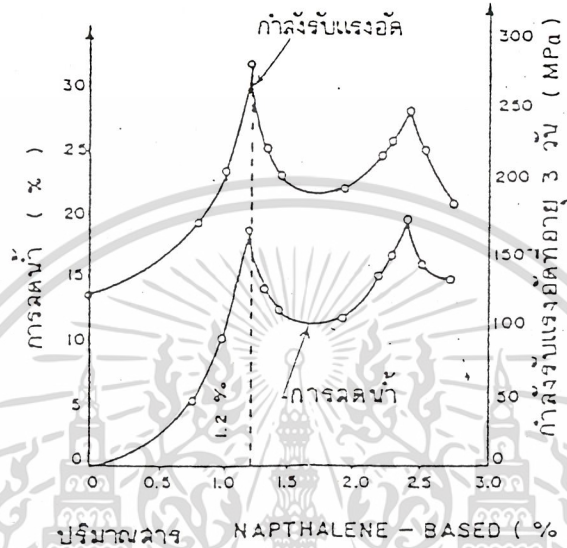
### 2.3.8 การหดตัว

การหดตัวเมื่อตากแห้งของคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำพิเศษ โดยให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงเดิม การหดตัวจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าใส่สารลดน้ำพิเศษ แล้วลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลง โดยให้ปริมาณซีเมนต์คงเดิม จะพบว่าการหดตัวเมื่อตากแห้งของคอนกรีตจะลดลง (ACI Comittee, 1989) และเมื่อใส่สารลดน้ำพิเศษ 1.25% การหดตัวเมื่อตากแห้งและการสูญเสียน้ำหนักจะกว่าเมื่อไม่ใส่สารลดน้ำพิเศษ



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดน้ำ และกำลังรับแรงอัด กับปริมาณ SULPHONATED MELAMINE FORMALDEHYDE CONCENSATE (STUART และคณะ , 1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



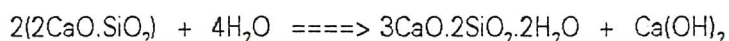
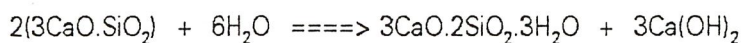
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดน้ำ และกำลังรับแรงอัด กับปริมาณ SULPHONATED NAPHTHALENE FORMALDEHYDE CONDENSATE (STUART และคณะ , 1980)

### 2.4 วัสดุปอชโซลาน

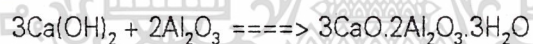
วัสดุปอชโซลานได้แก่ วัสดุที่มีส่วนประกอบเคมีคือ ซิลิกา (SiO<sub>2</sub>) หรือ ซิลิกาและ อลูมินา (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) เป็นสารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม ซึ่งโดยตัวของมันเองมีคุณสมบัติในการยึดประสานเล็กน้อยหรือไม่มีเลย อยู่ในสภาพที่เป็นเม็ดละเอียดและสามารถทำปฏิกิริยากับคัลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)<sub>2</sub>) ที่อุณหภูมิปกติได้ แล้วเกิดเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติยึดประสาน ตัวอย่างได้แก่ ไมโครซิลิกา ซีเมนต์กลบ ซีเมนต์ลอย วัสดุปอชโซลานเมื่อใช้ในคอนกรีตจะทำปฏิกิริยากับคัลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปฏิกิริยาปอชโซลานคล้ายกับปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่า ดังนั้นสามารถใช้วัสดุปอชโซลานเพื่อลดความร่อนของปฏิกิริยาและเพิ่มกำลังคอนกรีตที่อายุมากได้

เอกสารไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาทางเคมีของสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามารถเขียนได้ง่ายๆ ดังนี้ (Neville , 1973)



และเมื่อผสมสารปอซโซลาน เช่น ไมโครซิลิกา ซีเถ้าแกลบ หรือซีเถ้าลอย จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มขึ้นอีก โดยคัลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระสามารถทำปฏิกิริยากับซิลิกาและอลูมินา แล้วก่อตัวเป็น คัลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ( $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) และ คัลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ( $3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) ดังสมการ (Mindess และ Young , 1981)



ไมโครซิลิกา จัดว่าเป็นวัสดุปอซโซลานเช่นเดียวกับซีเถ้าแกลบ และซีเถ้าลอย ซึ่งไมโครซิลิกามีชื่ออีกอย่างหนึ่งว่าซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) เป็นผลผลิตจากการผลิตเฟอร์โรซิลิคอน (Ferro Silicon) ในขบวนการผลิต เมื่อวัตถุดิบถูกเผาจะเกิดการหลอมตัวเป็นของเหลว และเกิดก๊าซลอยตัวขึ้น ก๊าซนี้จะถูกทำให้เย็นตัวโดยระบบ Cooling System และตกสู่ถังเก็บ ก๊าซที่ถูกทำให้เย็นตัวนี้ คือ ไมโครซิลิกา

การนำไมโครซิลิกามาใช้ในงานคอนกรีตเริ่มมาจากกลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย ซึ่งได้ทำการทดลองตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1950-1955 โดยทดสอบที่ Norwegian Institute of Technology ( เมือง Trondheim ประเทศนอร์เวย์ ) และได้เริ่มใช้กันอย่างแพร่หลายในกลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1975

นอกจากกลุ่มประเทศสแกนดิเนเวียแล้ว ประเทศแคนาดาได้นำไมโครซิลิกามาทดสอบและเริ่มใช้ในคอนกรีตผสมเสร็จในปี ค.ศ. 1981 หลังจากนั้นเป็นต้นมา ในประเทศต่างๆ ได้มีการทดสอบและวิจัยเกี่ยวกับไมโครซิลิกามาอย่างต่อเนื่อง และความรู้ในเรื่องนี้ได้ขยายตัวไปอย่างรวดเร็วซึ่งส่วนประกอบของไมโครซิลิกาแสดงไว้ในตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆได้มีการทดสอบและวิจัยเกี่ยวกับไมโครซิลิกาอย่างต่อเนื่อง และความรู้ในเรื่องนี้ได้ขยายตัวไปอย่างรวดเร็วซึ่งส่วนประกอบของไมโครซิลิกาแสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และไมโครซิลิกา

ส่วนประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี (%)	
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ไมโครซิลิกา
CaO	60-67	0.35-2.6
SiO <sub>2</sub>	17-25	93-98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8	0.2-2.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-0.6	0.3-2.0
MgO	0.1-0.5	0.2-0.4
SO <sub>2</sub>	1-3	0.1-0.3
Na <sub>2</sub> O	0.5-1.3	0.1-0.5
K <sub>2</sub> O	0.5-1.3	0.1-0.5
พื้นที่ผิว(ซม <sup>2</sup> /กรัม)	3000	200000

ไมโครซิลิกามีขนาดประมาณ 0.1 ไมครอน (Micron) เล็กกว่าเม็ดปูนซีเมนต์ประมาณ 100 เท่า เนื่องจากไมโครซิลิกามีขนาดเล็กมากๆ จึงทำให้คอนกรีตที่ผสมไมโครซิลิกาซึ่งไมโครซิลิกาจะไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์และจะทำปฏิกิริยากับซิลิเกตไฮดรอกไซด์ ทำให้ได้ซิลิเกตไฮดรอกไซด์ และ CSH จะเข้าไปแทรกซึมไปอุดช่องว่างของคอนกรีต ซึ่งจะส่งผลให้คอนกรีตมีความแข็งแรงและมีความทนทานสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## คอนกรีตสมัยใหม่สำหรับงานก่อสร้างในประเทศไทย

### และคอนกรีตชนิดพิเศษ

อุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทยได้เจริญก้าวหน้าไปอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงทศวรรษนี้ได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพสูงที่ใช้กันในด้านต่างประเทศ มีการนำเครื่องมือ เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ทันสมัยมาใช้ นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงและพัฒนาวัสดุก่อสร้างใหม่ๆ ให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสม ทั้งนี้มีเป้าหมายที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. เพื่อให้การก่อสร้างแล้วเสร็จภายในเวลาที่กำหนด
2. เพื่อลดต้นทุน อันได้แก่ ค่าวัสดุ ค่าแรงงาน และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ให้ต่ำที่สุด
3. เพื่อให้ได้สิ่งก่อสร้างที่มีคุณภาพและความทนทาน

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างพื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างมากสำหรับงานก่อสร้าง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท และเพื่อตอบสนองความต้องการของการก่อสร้าง โดยในปัจจุบันมีคอนกรีตชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมกับการก่อสร้างแต่ละประเภท เช่น

- คอนกรีตกำลังอัดสูง ( High Strength Concrete )
- คอนกรีตกำลังอัดสูงมาก ( Very High Strength Concrete )
- คอนกรีตแข็งตัวเร็ว ( Fast Setting Concrete )
- คอนกรีตสำหรับงานที่ต้องถอดไม้แบบเร็ว ( High Early Strength Concrete )
- คอนกรีตสำหรับคอนกรีตปั๊ม ( Pumping Concrete )
- คอนกรีตกันซึม ( Water Proofing Concrete )
- คอนกรีตที่มีความเหลวมาก ( Flowing Concrete )
- คอนกรีตใต้น้ำ ( Underwater Concrete )
- คอนกรีตเบา ( Lightweight Concrete )
- โฟมคอนกรีต ( Foam Concrete )
- HPC ( High Performance Concrete )

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ จะเน้นเฉพาะคอนกรีตบางประเภท คือ คอนกรีต กำลังอัดสูงและสูงมาก ( High and Very High Strength Concrete ) , คอนกรีตที่มีความเหลวมาก ( Flowing Concrete ) , HPC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 คอนกรีตกำลังอัดสูงและสูงมาก

#### (High and Very High Strength Concrete)

ในประเทศไทย ได้มีการใช้คอนกรีตกำลังอัดสูงมาอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากเนื้อของคอนกรีตที่ใช้ในระยะแรกแห้ง มีค่ายุบตัวน้อยมากหรือไม่มีค่ายุบตัวเลย ( No Slump Concrete ) จึงทำให้ไม่สามารถจัดส่งไปเทในโครงสร้าง ณ หน่วยงานก่อสร้างได้ ดังนั้นเท่าที่ผ่านมา คอนกรีตกำลังอัดสูงจึงถูกจำกัดการใช้งานเฉพาะในโรงงานผลิตเสาเข็ม คานสะพาน พื้นสำเร็จรูปเท่านั้น

จนกระทั่งในปัจจุบัน จากการศึกษา ค้นคว้า และปรับปรุงส่วนผสมต่างๆ ทำให้คอนกรีตกำลังอัดสูงมีความก้าวหน้าขึ้นอีกขั้น ซึ่งนอกจากจะมีกำลังอัดเพิ่มสูงขึ้น แล้วเนื้อคอนกรีตยังมีความเหลวมากขึ้นอีกด้วย กล่าวคือมีค่ายุบตัวสูงมากกว่า 15 ซม. ทำให้สามารถลำเลียงโดยรถผสมคอนกรีตไปใช้ในหน่วยงานก่อสร้างทั่วไปได้ รวมทั้งสามารถลำเลียงคอนกรีตเข้าสู่แบบหล่อด้วยคอนกรีตปั๊มได้อย่างสะดวก อันเป็นผลทำให้คอนกรีตชนิดนี้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการก่อสร้างอาคารสูงในประเทศไทย

#### 3.1.1 คอนกรีตกำลังอัดสูงคืออะไร

คำนิยามของคอนกรีตกำลังอัดสูงและสูงมาก ในแต่ละประเทศนั้นจะมีความแตกต่างกัน สำหรับในประเทศไทยเราสามารถแบ่งชั้นกำลังอัดของคอนกรีต ดังต่อไปนี้

- คอนกรีตกำลังอัดต่ำ กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์น้อยกว่า 240 ksc.
- คอนกรีตกำลังอัดปานกลาง กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 240-400 ksc
- คอนกรีตกำลังอัดสูง กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 400-500 ksc.
- คอนกรีตกำลังอัดสูงมาก กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์มากกว่า 500 ksc

#### 3.1.2 สัดส่วนผสมของคอนกรีตกำลังอัดสูง และสูงมาก

คอนกรีตกำลังอัดสูง และสูงมาก มีสัดส่วนการผสมที่สำคัญดังต่อไปนี้

- 1.) ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปริมาณไม่เกิน 550 กก.

/ ลบ.ม.

- 2.) ทราย เลือกทรายที่มีความสะอาด และมีความหยาบมากกว่าปกติ โดยมีค่า

Fineness Modulus ( F.M. ) อยู่ในช่วง 3.0 - 3.2 เพื่อลดน้ำในส่วนผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) หิน ถูกกำหนดให้มีขนาดเล็กกว่าปรกติ เพื่อลดการแตกร้าวในเนื้อหิน ( Microcrack ) โดยกำหนดให้ใช้หินขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 3/4 นิ้ว หรือ 20 มม. ในคอนกรีตกำลังอัดสูง และไม่เกิน 3/8 นิ้ว หรือ 10 มม. ในคอนกรีตกำลังอัดสูงมาก

4.) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ คอนกรีตกำลังอัดสูง และสูงมากจะมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ประมาณ 0.30 โดยประมาณ

#### 5.) น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทต่างๆ

5.1) น้ำยาลดน้ำและยืดเวลาการแข็งตัว เพื่อลดปริมาณน้ำในการผสมคอนกรีตให้ใช้น้อยที่สุด ซึ่งจะมีผลโดยตรงกับการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต

5.2) น้ำยาลดน้ำเป็นจำนวนมาก ( Superplasticizer ) เพื่อลดน้ำในส่วนผสมลงอีกประมาณ 15 - 30% โดยที่ยังสามารถคงค่ายุบตัวของเนื้อคอนกรีตสดไว้ในระดับที่สูงกว่า 15 ซม.

#### 6.) วัสดุผสมอื่นๆ

6.1) Pulverized Fuel Ash ( PFA ) เพื่อปรับปรุงคุณภาพในการไหลเข้าแบบ ( Workability ) โดยจะใช้ประมาณ 15% ของปริมาณปูนซีเมนต์ และยังมีผลช่วยพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตในระยะยาวอีกด้วย

6.3) Microsilica หรือ Silica Fume นิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตกำลังอัดสูง เพราะ Microsilica มีส่วนประกอบของ  $\text{SiO}_2$  ที่จะทำปฏิกิริยากับ  $\text{Ca(OH)}_2$  ทำให้เกิด Calcium Silicate Hydrate ( CSH ) ซึ่งเป็นตัวการทำให้ส่วนผสมของเนื้อคอนกรีตจับตัวกัน รวมทั้ง Microsilica มีขนาดเล็กมาก จะมีผลทำให้เกิดตัวอุดประสานช่องว่างในเนื้อคอนกรีต ( Micro Filler Effect ) ซึ่งทำให้เนื้อคอนกรีตมีความแน่นมากขึ้น อันมีผลโดยตรงกับกำลังอัดที่สูงขึ้นของคอนกรีต

### 3.1.3 ประโยชน์ของการใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง

ด้วยประสิทธิภาพและความเหมาะสมในด้านต่างๆ ของคอนกรีตกำลังอัดสูง ทำให้ผู้ออกแบบ ผู้รับเหมาก่อสร้าง และเจ้าของโครงการได้ประโยชน์ในแง่มุมต่างๆ อีกหลายด้าน อาทิ

#### ด้านการออกแบบ ( Design Aspects )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ช่วยลดขนาดชิ้นส่วนโครงสร้าง วิศวกรผู้ออกแบบสามารถออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ ให้มีขนาดเล็กลง เช่น เสาที่มีขนาดเล็กลงแต่สามารถรับน้ำหนักได้เท่าเดิม หรือ การออกแบบช่วงคาน ( Span ) ให้มีความยาวมากขึ้น

2. ช่วยเพิ่มเนื้อที่ในการใช้สอย เนื่องจากการลดลงของขนาดชิ้นส่วนโครงสร้าง จึงมีผลทำให้มีพื้นที่ใช้สอยในอาคารมากขึ้น

3. ช่วยลดน้ำหนักโดยรวมของอาคาร เพราะโครงสร้างต่างๆ มีขนาดเล็กลง มีผลทำให้ประหยัดฐานรากของอาคารลงด้วย

4. ช่วยเพิ่มค่า Stiffness เนื่องจากค่า Modulus of Elasticity (  $E_c$  ) จะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับค่ากำลังอัด จึงทำให้ Deformation และการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง ( Sideway ) ลดน้อยลง

5. Small Deformation การที่ค่า Elastic Deformation และ Creep ลดลงทำให้มีผลคือ Prestress Loss มีค่าลดลงตามไปด้วย

6. ช่วยให้คอนกรีตมีความทนทานสูงขึ้น เนื่องจากคอนกรีตมีเนื้อที่แน่นมาก จึงทำให้น้ำและอากาศซึมผ่านเนื้อคอนกรีตได้น้อยลง ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความทนทานของคอนกรีต

#### ด้านการก่อสร้าง ( Construction Aspects )

1. ช่วยลดระยะเวลาในการก่อสร้าง เนื่องจากกำลังอัดของคอนกรีตที่สูงขึ้นในระยะเวลาอันรวดเร็ว ทำให้สามารถถอดแบบหล่อได้เร็วขึ้น ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายเรื่องแบบหล่อคอนกรีต

2. ช่วยลดแรงงานในการก่อสร้าง เพราะขนาดของโครงสร้างที่เล็กลงทำให้ปริมาณของคอนกรีตที่ใช้ลดลงตาม แรงงานในการทำแบบและการเทคอนกรีตตลอดจนกระทั่งการติดตั้งเหล็กเสริม จึงสามารถลดลงได้ตามขนาดงานที่ลดลง

#### ด้านงบประมาณ ( Economic Aspects )

1. ช่วยลดระยะเวลาโดยรวมในการก่อสร้าง ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง

2. ช่วยลดปริมาณวัสดุที่นำมาใช้ทำให้ต้นทุนโดยรวมลดลง

3. ช่วยลดต้นทุนทางด้านแรงงาน

### 3.2 คอนกรีตเหลวมาก ( Flowing Concrete )

ปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่ได้รับเหมาต้องประสบคือ “ ปัญหาการเทคอนกรีต ” คอนกรีตปกติมีค่ายุบตัวน้อยหรือเป็นคอนกรีตที่ค่อนข้างแข็ง การเทและการจี้เขย่าคอนกรีตเข้าแบบทำได้ยาก รวมทั้งเมื่อถอดไม้แบบออก คอนกรีตมักจะเป็นโพรงพรุนอย่างมาก

คอนกรีตเหลวมาก คือ คอนกรีตสูตรใหม่ที่ได้ออกวิจัย และพัฒนาขึ้นมา เพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับงานก่อสร้างสมัยใหม่ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีเหล็กเสริมในปริมาณมาก หรือเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ คอนกรีตชนิดนี้ถูกออกแบบให้มีค่ายุบตัวสูงกว่า 15 ซม. จึงสามารถไหลและแผ่กระจายแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างเหล็กเสริมที่หนาแน่นได้ดี ทำให้การเทและการจี้เขย่าคอนกรีตเข้าแบบทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ แม้ว่าคอนกรีตจะเหลวมาก แต่เนื้อคอนกรีตยังคงลักษณะการยึดเกาะกันของส่วนผสมได้เป็นอย่างดี ทำให้ไม่เกิดการแยกตัวของส่วนผสม

#### 3.2.1 การนำคอนกรีตเหลวมากไปใช้งาน

ด้วยคุณสมบัติเฉพาะตัวที่เหนือกว่าคอนกรีตทั่วไปทำให้คอนกรีตเหลวมากสนองตอบต่อข้อจำกัดของงานบางประเภทได้เป็นอย่างดี

**งานโครงสร้างขนาดใหญ่** ได้แก่ พื้นโกดัง พื้นชั้นดาดฟ้า พื้นชั้นใต้ดิน และส่วนฐานราก ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีเนื้อที่กว้าง ต้องใช้คอนกรีตจำนวนมาก “ คอนกรีตเหลวมาก ” สามารถนำไปใช้กับงานประเภทดังกล่าวได้อย่างสะดวก เพราะคอนกรีตไหลลื่นดีและเทเข้าแบบได้ง่าย ช่วยลดเวลาการทำงาน ทั้งเวลาการเทและเวลาการจี้เขย่า

**งานโครงสร้างที่บางหรือมีเหล็กเสริมหนาแน่น** ได้แก่ ผนังกำแพง ปล่องลิฟท์ หรือ เสา คานและฐานรากแผ่นขนาดใหญ่ คอนกรีตนี้จะไหลผ่านโครงสร้างที่มีเหล็กเสริมกันอยู่หนาแน่น โดยไม่ทำให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างเหล่านั้น

#### 3.2.2 คุณสมบัติของคอนกรีตเหลวมาก

คอนกรีตเหลวมากมีประโยชน์อย่างมาก สำหรับงานก่อสร้างในปัจจุบัน กล่าวคือ

1.) รวดเร็วกว่า เนื่องจากคอนกรีตนี้เหลวมาก จึงไหลเข้าแบบได้ง่าย การจี้เซย่าคอนกรีตทำเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้สามารถลดเวลาการทำงาน ลดจำนวนแรงงาน และลดจำนวนเครื่องจี้เซย่าคอนกรีต นอกจากนี้ยังสามารถลบลีงคอนกรีตผ่านคอนกรีตปั๊ม หรือเทลงแบบโดยตรงได้อย่างสะดวก

2.) แข็งแกร่งกว่า คอนกรีตเหลวมากสามารถอัดแน่นในแบบหล่ออย่างมีประสิทธิภาพ โฟรงอากาศในเนื้อคอนกรีตจึงลดลง ผลคือคอนกรีตจะมีความแข็งแรงและทนทานมากขึ้น

3.) พิเศษกว่า

- ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง เนื่องจากคอนกรีตนี้เหลวด้วยน้ำยา Superplasticizer จึงสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงได้
- ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำดีขึ้น เพราะคอนกรีตมีเนื้อแน่นมาก
- การหดตัว ( Shrinkage ) ลดลงเพราะไม่มีการเติมน้ำเพื่อเพิ่มค่ายุบตัว ดังนั้นการหดตัวของคอนกรีตเนื่องจากการระเหยของน้ำจึงลดลง

### 3.3 High Performance Concrete

High Performance Concrete ( HPC ) คือ คอนกรีตที่มีคุณสมบัติด้านการไหลเข้าแบบได้อย่างสมบูรณ์ กล่าวคือ คอนกรีตจะไหลเข้าไปในทุกซอกทุกมุมของแบบหล่อคอนกรีต ไม่ว่าลักษณะของแบบหล่อคอนกรีตจะมีรูปร่างอย่างไร และเหล็กเสริมมากเท่าใด โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องจี้เซย่าคอนกรีต

#### 3.3.1 คุณสมบัติ

HPC จะต้องมีคุณสมบัติที่ดีครบถ้วนทั้งที่อยู่ในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว คือ

คอนกรีตสด จะต้องมีความข้นเหลวพอที่จะไหลเข้าแบบทุกๆ ส่วนได้ง่าย ไม่มีการแยกตัว เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัว จะต้องมีความสมบัติในด้าน การต้านทานความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน และการหดตัว อันมีผลโดยตรงต่อความทนทานของคอนกรีต

คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะต้องได้กำลังอัดตามที่คำนวณไว้และคอนกรีตนั้นจะต้องเป็นคอนกรีตที่มีเนื้อแน่น สามารถทนทานต่อสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การออกแบบ

ในการออกแบบส่วนผสมของ HPC นี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้ความรู้ด้านคอนกรีตเทคโนโลยีอย่างมาก ตั้งแต่การเลือกวัสดุดิบและสัดส่วนผสม เพื่อที่จะให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตตามที่ต้องการทั้งคอนกรีตสดและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

การที่จะออกแบบให้คอนกรีตสดมีความเหลวมากแต่ไม่มีการแยกตัวนั้น เป็นการออกแบบที่ยากมาก จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใส่สารผสมเพิ่มประเภทต่างๆ เช่น น้ำยา Superplasticizer ซึ่งจะทำให้คอนกรีตมีความเหลวมาก ไหลเข้าแบบได้อย่างดี รวมทั้งใช้ Thickening Agent ซึ่งช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตในด้านการเกาะยึดตัวของส่วนผสม ไม่ให้เกิดการแยกตัวในขณะที่คอนกรีตเข้าแบบ

ส่วนคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจะต้องเป็นคอนกรีตที่มีเนื้อแน่นมากที่สุด เพื่อจะได้ทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี ซึ่งทำได้โดยการลดค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ให้ต่ำมาก นั่นคือจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์จำนวนมากในส่วนผสม และใช้ปริมาณน้ำจํานวนน้อย แต่เมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์จำนวนมาก ผลที่ตามมาก็คือ คอนกรีตจะมีการหดตัวอย่างมาก นอกจากนี้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันก็จะสูงมากขึ้นด้วย ซึ่งทั้งสองประการนี้จะทำให้โครงสร้างของคอนกรีตแตกร้าวได้ แนวทางแก้ไขก็คือใช้ PFA และ GGBS ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตด้านความทนทานเป็นอย่างมาก เพราะจะช่วยให้คอนกรีตมีเนื้อที่แน่นมาก ลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน และลดการหดตัวลงได้อย่างมาก

### 3.3.3 การใช้งาน

สำหรับ HPC เหมาะอย่างยิ่งสำหรับงานก่อสร้างที่แบบหล่อคอนกรีตมีความซับซ้อนยากต่อการใช้เครื่องจักรเขย่าคอนกรีตเข้าไปทำงานในแบบ เช่น แบบหล่อคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ หรือมุมของแบบที่คอนกรีตอาจไหลเข้าไปไม่ถึง เนื่องจากมีเหล็กเสริมอยู่อย่างหนาแน่น และยังเหมาะสมอย่างยิ่งกับโครงสร้างเสาและคานของอาคารสูงที่ปกติจะมีเหล็กเสริมอยู่อย่างหนาแน่นมาก แต่ในขณะนี้ HPC ยังเป็นเพียงคอนกรีตที่อยู่ในขั้นทดลองใช้งานเท่านั้น โดยมีประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้บุกเบิกเรื่องนี้ และคาดว่าจะนำคอนกรีตชนิดนี้ออกใช้งานอย่างจริงจังในอนาคตอันใกล้

## บทที่ 4

### การเตรียมวัสดุวิจัย และการหาปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต

#### 4.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

4.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งผลิตขึ้นโดยมีคุณสมบัติตามกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15-2514/2517 ประเภทที่ 1 และมาตรฐานอเมริกัน ASTM C 150-71 type 1 ซึ่งในการวิจัยนี้ ใช้ปูนตราช้างของเครือซีเมนต์ไทย

4.1.2 สารประกอบ ไมโครซิลิกา ซึ่งมีขายทั่วไปตามท้องตลาดในประเทศไทย และไมโครซิลิกาที่นำมาทดลองได้มาจาก บริษัท ชิการ์ (ประเทศไทย) จำกัด

4.1.3 สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) ซึ่งมีขายทั่วไปตามท้องตลาดในประเทศไทย และสารลดน้ำพิเศษนี้ได้มาจาก บริษัท ชิการ์ (ประเทศไทย) จำกัด

4.1.4 ททราย ททรายที่ใช้เป็นทรายแม่น้ำที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป มีลักษณะเป็นทรายหยาบ เม็ดอนุภาคมีเหลี่ยม เม็ดอนุภาคมีเหลี่ยมมุม มีขนาดต่าง ๆ กันตั้งแต่หลายมิลลิเมตรจนถึงฝุ่นทรายก่อนนำไปใช้จะผึ่งในร่มให้แห้งสนิทก่อน

4.1.5 หิน หินที่ใช้เป็นหินปูนขนาดเบอร์ 1 (เบอร์เล็ก) ที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป

#### 4.2 การหาปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการหาปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตโดยรวมก่อน ส่วนตัวอย่างการหาปฏิภาคส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบจริงนั้นจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

การคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมสำหรับงานคอนกรีตทั่วไปซึ่งหล่อกับที่ อาจจะดำเนินเป็นขั้น ๆ ตามวิธีการซึ่งเสนอโดย สถาบันคอนกรีตของอเมริกา (ACI 211.1-70) ดังต่อไปนี้ซึ่งให้ผลค่อนข้างแน่นอนไม่เปลี่ยนแปลงและถูกต้องทั้งนี้จะต้องทราบถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตเสียก่อน เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก ไมดูลัสความละเอียด และเปอร์เซ็นต์การดูดซึม เป็นต้น อีกทั้งวัสดุผสมต้องมีขนาดคล้อยอยู่ในพิสัยที่กำหนดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาและการวิเคราะห์คอนกรีตกำลังสูงและคอนกรีตไหลพบว่า ในการออกแบบคอนกรีตที่มีทั้งกำลังสูงและความเหลวที่มากายต่อการเทนั้น จะต้องถูกกำหนดโดยว่า อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ จะต้องไม่เกิน 0.45 และ ไม่ต่ำกว่า 0.20 และ ในคอนกรีตประเภทนี้ จะต้องมึปริมาณน้ำอยู่ในเนื้อคอนกรีตไม่เกิน 160 กก./ลบ.ม. ดังนั้นในการออกแบบจะต้องยึด เอาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ กับปริมาณน้ำเป็นตัวกำหนด

#### 4.2.1 ค่ายุบตัวที่เหมาะสมกับประเภทของงาน

ค่ายุบตัวของคอนกรีตสดที่อยู่ในขอบเขตของคอนกรีตไหล ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 15-25 ซม. ซึ่งสามารถทำให้การทำงานในโครงสร้างที่ยุงยากและซับซ้อนได้

#### 4.2.2 เลือกขนาดโตสุดของวัสดุผสม

ขนาดโตสุดของวัสดุผสม ไม่ควรเกินกว่า  $1/5$  ของส่วนแคบที่สุดของแบบหรือ  $1/3$  ของความหนาของแผ่นพื้น หรือ  $2/4$  ของขนาดความห่างของเหล็กเสริมที่น้อยที่สุด

#### 4.2.3 ปริมาณน้ำที่ผสม

ในทางปฏิบัติน้ำที่ใช้จะต้องมีปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับซีเมนต์ ดังนั้นจึงต้องมีการใส่สารลดน้ำพิเศษ เข้าไปซึ่งจะทำให้ น้ำที่ใส่นั้นมีค่าน้อยลงไปอีก 20-30 %

#### 4.2.4 อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะที่คอนกรีตนั้นถูกนำออกไปใช้งานและกับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ต้องการ ซึ่งดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น คอนกรีตที่มีกำลังสูงนั้นจะต้องมีอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.22-0.32

#### 4.2.5 คำนวนปริมาณซีเมนต์ที่จะต้องใช้

เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักแล้ว ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้ในคอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรย่อมหาได้ซึ่งเท่ากับปริมาณน้ำ หารด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อย่างไรก็ตามหากกำหนดปริมาณซีเมนต์ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตมาให้ก็ให้เลือกใช้ค่าที่มากที่สุดจากที่คำนวณได้หรือที่กำหนดให้ และในส่วนผสมที่ต้องมีการใช้สารประกอบไมโครซิลิกา จะต้องลดปริมาณซีเมนต์ลงเท่ากับปริมาณของไมโครซิลิกา ที่ใส่ลงไป ในคอนกรีตซึ่งมีค่า 10% ของปริมาณซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.6 คำนวนวัสดุผสมละเอียด(ทราย)

เนื่องจากการที่จะต้องทำให้คอนกรีตเข้าเป็นเนื้อเดียวกันในขณะที่เป็นคอนกรีตสดฉะนั้นจึงจะต้องกำหนดอัตราส่วนระหว่าง ปริมาตรวัสดุผสมละเอียดทั้งหมด กับ ปริมาตรวัสดุผสมละเอียด + ปริมาตรวัสดุผสมหยาบ ซึ่งเรียกค่านี้ว่า ค่า S/A ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4-0.5 ซึ่งในการทดลองนี้จะกำหนดให้ค่า S/A มีค่า 0.43 ซึ่งปริมาณของวัสดุผสมละเอียดคิดเป็นน้ำหนักมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัสดุผสมละเอียดคูณด้วยหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมละเอียดนั้น

#### 4.2.7 ปริมาณวัสดุผสมหยาบ(หิน)

เมื่อได้ค่าต่าง ๆ ของส่วนผสมจนถึง 4.2.6 แล้ว ปริมาณของวัสดุผสมหยาบจะหาได้ดังนี้

ปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุผสมหยาบ = ปริมาตรคอนกรีต - ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสมต่าง ๆ (ยกเว้นหิน)

โดยที่ ปริมาตรเนื้อแท้ (ซึ่งเป็นปริมาตรที่ไม่มีช่องว่างในเนื้อ) ของวัสดุ คำนวนได้จาก ความถ่วงจำเพาะและน้ำหนักของวัสดุ กล่าวคือ

$$\text{ปริมาตรเนื้อแท้} = \frac{\text{น้ำหนักของวัสดุ}}{\text{ความถ่วงจำเพาะ} * \text{หน่วยน้ำหนักน้ำ}}$$

#### 4.2.8 ปรับอัตราส่วนผสมเนื่องจากความชื้นของวัสดุผสม

ตามปกติ วัสดุผสมที่ใช้งานจริงจะมีความชื้นสูงกว่าในสภาวะอิมิตัวและผิวแห้ง ฉะนั้นจึงต้องแก้ส่วนผสมให้เข้ากับสภาพจริง โดยเพิ่มน้ำหนักของวัสดุผสมขึ้นเท่ากับน้ำหนักน้ำที่ติดมา และลดน้ำในส่วนผสมออกในจำนวนเท่ากัน ในกรณีที่วัสดุผสมแห้งกว่าสภาวะอิมิตัว และผิวแห้งจะต้องแก้ส่วนผสมเช่นเดียวกันในทางตรงกันข้าม

#### หมายเหตุ

ขั้นตอนต่างๆของวิธีการหาปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตนี้เป็นขั้นตอน ในการหาปฏิภาคผสมสำหรับคอนกรีตล้วนตามมาตรฐาน ของสถาบันคอนกรีตของสหรัฐอเมริกา

( ACI )

### 4.3 ตัวอย่างการหาปริมาณส่วนผสมคอนกรีต ( Mix Design )

#### ปูนซีเมนต์

-ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ 3.125

#### หิน

-วัสดุผสมหยาบขนาดโตสุด 20 มิลลิเมตร

-ความถ่วงจำเพาะ 2.658

-ค่าความชื้น 1.10 %

-หน่วยน้ำหนักแห้ง (ความหนาแน่น) 1569.015 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

-การดูดซึมน้ำ 0.3838 %

#### ทราย

-ความถ่วงจำเพาะ 2.580

-ค่าความชื้น 1.21 %

-ค่าโมดูลัสความละเอียด 2.60

-การดูดซึมน้ำ 2.167 %

#### ตัวอย่างการคำนวณ

-ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ 160 กก./ลบ.ม.

-อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ 0.30

-ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ =  $\frac{160}{0.30}$

0.30

= 533.33 กก./ลบ.ม.

-จำนวนสารไมโครซิลิกาที่ต้องใช้จริง 10 % ของปริมาณซีเมนต์

=  $533.33 * 0.10$

= 53.33 กก./ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{-ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้จริง} &= 533.33 - 53.33 \\ &= 480 \text{ กก./ลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{-จำนวนสารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) ที่ต้องใช้จริง 3 \% ของ} \\ \text{ปริมาณซีเมนต์} &= 533.33 * 0.03 \\ &= 15.99 \text{ litre/ลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\text{-จาก S/A} = 0.43$$

-ปริมาตรวัสดุละเอียดที่ต้องการ

$$\begin{aligned} &= ( \text{ปริมาตรคอนกรีต 1 ลบ.ม.} - \text{ปริมาตรซีเมนต์} - \\ &\quad \text{ปริมาตรน้ำ} - \text{ปริมาตรสารไมโครซิลิกา} ) * 0.45 \\ &= (1000 - (480/3.125) - 160 - 53.33/3.15) * 0.43 \\ &= 287.8 / 1000 \text{ ลบ.ม.} \end{aligned}$$

-ปริมาณโดยน้ำหนักของวัสดุผสมละเอียดที่ใช้จริง

$$\begin{aligned} &= 287.8 * 2.580 \\ &= 742.55 \text{ กก./ลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{-ปริมาตรวัสดุผสมหยาบที่ต้องการ} &= \text{ปริมาตรของคอนกรีตที่หักวัสดุ} \\ &\quad \text{ผสมละเอียดและวัสดุผสมหยาบ} \\ &\quad \text{ออก} * 0.57 \\ &= 382.65 / 1000 \text{ ลบ.ม.} \end{aligned}$$

-ปริมาณโดยน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบที่ใช้จริง

$$\begin{aligned} &= 382.65 * 2.658 \\ &= 1014.07 \text{ กก./ลบ.ม.} \end{aligned}$$

-การผสมที่ W/C = 0.30

มีตัวอย่างทดสอบ  $3 \times 5 = 15$  ตัวอย่างทดสอบ

(ทดสอบ กำลังอัด ที่ 5 ระยะเวลาการบ่ม ที่ 3 ตัวอย่างต่อหนึ่งชุด)

1 แท่งตัวอย่างทดสอบ มีปริมาตร = 0.005301 ลบ.ม.

15 แท่งตัวอย่างทดสอบ มีปริมาตร =  $15 \times 0.005301$

= 0.08 ลบ.ม.

การผสมเพื่อปริมาณคอนกรีต 15 % =  $0.08 \times 1.15$

= 0.09 ลบ.ม.

ดังนั้น ใช้ ปูนซีเมนต์ =  $0.09 \times 480$

= 43.2 กก.

สารประกอบไมโครซิลิกา =  $0.09 \times 53.33$

= 4.8 กก.

สารลดน้ำพิเศษ =  $0.09 \times 15.99$

= 1.4341 litre

ทราย =  $0.09 \times 742.55$

= 67 กก.

หิน =  $0.09 \times 1014.07$

= 91.5 กก.

น้ำ =  $0.09 \times 160$

= 14.5 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5 การทดสอบวิจัย

### 5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวิจัย

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ประมาณ 20 ถุง
2. ไมโครซิลิกา 50 กก.
3. Superplasticizer 20 ลิตร
4. หินที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป เบอร์ 1
5. ทรายแม่น้ำที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป
6. น้ำประปา
7. กำมะถันผงและหม้อต้มสำหรับหล่อห้วยทำแท่งคอนกรีต
8. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์
9. อุปกรณ์การทดสอบ Slump
10. อุปกรณ์การทดสอบ Flow Rate
11. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm .  
สูง 30 cm.
12. เครื่องเหล็ก คีม และค้อน
13. พลั่วตักคอนกรีต
14. เหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm. สำหรับกระทุ้ง  
คอนกรีต
15. เครื่องหล่อหมวก (Capped) หัวทำของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง
16. เครื่องทดสอบคอนกรีต (Universal Testing Machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ปริมาณที่ใช้ในการทดสอบวิจัย

### 5.2.1 High Strength Concrete

ตารางที่ 5.1 ปริมาณวัสดุผสมของ High Strength Concrete

ชุดตัวอย่าง	W/C	Water (kg)	Cement (kg)	Micro silica (kg)	Super plasticizer (litre)	Sand (kg)	Gravel (kg)
1	0.22	14.5	58.95	6.55	1.9638	60.5	82.5
2	0.23	14.5	56.25	6.25	1.8783	61.5	84.0
3	0.24	14.5	54.00	6.00	1.8000	62.5	85.5
4	0.25	14.5	51.75	5.75	1.7280	63.5	86.5
5	0.26	14.5	49.95	5.55	1.6614	64.0	87.5
6	0.27	14.5	48.15	5.35	1.6092	64.5	88.5
7	0.28	14.5	46.35	5.15	1.5453	65.5	89.5
8	0.29	14.5	44.55	4.95	1.4895	66.5	90.5
9	0.30	14.5	43.20	4.80	1.4341	67.0	91.5
10	0.31	14.5	41.85	4.65	1.3932	67.5	92.0
11	0.32	14.5	40.50	4.50	1.3500	68	92.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2.2 Flowing Concrete

ตารางที่ 5.2 ปริมาณวัสดุผสมของ Flowing Concrete

ชุดตัวอย่าง	W/C	Water (kg)	Cement (kg)	Micro silica (kg)	Super plasticizer (kg)	Sand (kg)	Gravel (kg)
1	0.22	14.5	65.5	-	1.9638	60.5	82.5
2	0.23	14.5	62.5	-	1.8783	61.5	84.0
3	0.24	14.5	60.0	-	1.8000	62.5	85.5
4	0.25	14.5	57.5	-	1.7280	63.5	86.5
5	0.26	14.5	55.5	-	1.6614	64.0	87.5
6	0.27	14.5	53.5	-	1.6092	64.5	88.5
7	0.28	14.5	51.5	-	1.5453	65.5	89.5
8	0.29	14.5	49.5	-	1.4895	66.5	90.5
9	0.30	14.5	48.0	-	1.4341	67.0	91.5
10	0.31	14.5	46.5	-	1.3935	67.5	92.0
11	0.32	14.5	45.0	-	1.3500	68	92.5

ปริมาณวัสดุต่าง ๆ นี้คำนวณหาจากวิธี Mixed Design ดังบทที่ 3

รวมปริมาณ	ปูนซีเมนต์	ที่ใช้ทั้งหมด	1130.5 kg
รวมปริมาณ	น้ำ	ที่ใช้ทั้งหมด	319 kg
รวมปริมาณ	ทราย	ที่ใช้ทั้งหมด	1422 kg
รวมปริมาณ	หิน	ที่ใช้ทั้งหมด	1941 kg
รวมปริมาณ	Superplasticizer	ที่ใช้ทั้งหมด	35.7 litre
รวมปริมาณ	Microsilica	ที่ใช้ทั้งหมด	59.5 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 วิธีการทดสอบวิจัย

#### 5.3.1 การเตรียมวัสดุผสมและแบบหล่อ

1. ตรวจสอบวัสดุผสมทั้งหมดที่ใช้ตามปริมาณที่ได้คำนวณไว้แล้ว ( วัสดุผสม , ซีเมนต์ , ไมโครซิลิกา , Superplasticizer , หิน , ทราย และน้ำ)
2. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันที่ด้านผิวในแบบที่คอนกรีตจะสัมผัสให้ทั่ว
3. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุดขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

#### 5.3.2 การเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีต

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตรงกลางที่เทออกจากเครื่องผสมใหม่ๆ
2. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบหล่อและใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้นเมื่อคอนกรีตเต็มแบบหล่อแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ
3. ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉยๆ ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปปัมโดยแช่ในถังบ่มจนถึงอายุการที่ต้องการทดสอบ (ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุด มี 3 ตัวอย่าง)

#### 5.3.3 การทดสอบค่าการยุบตัว

1. นำอุปกรณ์ทดสอบ Slump มาจุ่มน้ำให้เปียก
2. วางแผ่นเหล็กลงกับพื้นราบนำโคนขึ้นวางใช้เท้าเหยียบปลายทั้ง 2 ข้าง
3. ใช้ช้อนตัก ตักคอนกรีตใส่ลงในโคนโดยแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นให้มีปริมาณเท่าๆกัน ชั้นที่ 1 ใส่คอนกรีตในโคนสูงประมาณ 6-7 ซม. ต่ำด้วยเหล็กต๋า 25 ที่ ในการต๋าต่องต๋าให้ทั่วพื้นที่ ใส่คอนกรีตชั้นที่ 2 จนได้ส่วนสูงประมาณ 15 ซม. ต่ำให้ทะลุถึงคอนกรีตชั้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กน้อย ใส่คอนกรีตชั้นที่ 3 จนเต็ม ทำให้ทะลุถึงคอนกรีตชั้นที่ 2 เล็กน้อย ปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบรวมทั้งทำความสะอาดบริเวณโคนและแผ่นเหล็กกรอง

4. ดึงโคนขึ้นตรงๆ โดยที่ไม่หมุน
5. วางโคนลงข้างๆ คอนกรีตแล้ววัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต

#### 5.3.4 การทดสอบการไหลตัว

1. ทำอุปกรณ์ Flow Rate ทั้งหมดให้เปียก
2. วางโคนลงกลางโต๊ะเขย่าให้ตรงรอยขีด ใช้เท้าเหยียบปลายทั้ง 2 ข้าง
3. ตักคอนกรีตใส่โคน 2 ชั้น แต่ละชั้นกระทุ้งด้วยเหล็ก 25 ที
4. เมื่อตักชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบทำความสะอาดโต๊ะเขย่า
5. ยกโคนขึ้นตรงๆ โดยไม่มีการหมุน
6. ทิ้งให้คอนกรีตยุบตัว ประมาณ 5 นาที
7. วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่ออก โดยวัด 2 แนวที่ตั้งฉากกัน
8. ค่าการไหลตัวของคอนกรีต คือ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางทั้ง 2 ค่าที่วัดได้

#### 5.3.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

1. ทำการ Capped แท่งคอนกรีตตัวอย่างทดสอบ ทั้งสองด้าน
2. นำแท่งตัวอย่าง วางกึ่งกลางของแท่นทดสอบ โดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด
3. เปิดเครื่องทดสอบโดยในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมอ อัตราที่ใช้คือ 1.4-3.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
4. กดก่อนตัวอย่างจนแตก บันทึกค่านี้
5. นำค่าน้ำหนัก และพื้นที่หน้าตัดที่ได้มาหาค่ากำลังอัดประลัย

$$\text{กำลังอัดประลัยของคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักกดประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่าง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้

$$\text{พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่าง} = \frac{\pi D^2}{4}$$

โดยที่  $D$  คือเส้นผ่าศูนย์กลาง เฉลี่ยจากการวัด 2 ทิศทางตั้งฉากกันที่กึ่งกลาง  
ความสูงของแท่งตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### ผลการทดสอบวิจัยและการวิเคราะห์ผล

ในการทดสอบวิจัยนี้สามารถบันทึกผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านการรับกำลังอัดของคอนกรีตที่ทำการทดสอบคือ High Strength Concrete และ Flowin Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ช่วง 0.22-0.32 เป็นการทดสอบที่หลังเวลาการบ่มที่ 1 วัน, 3 วัน, 7 วัน, 14 วัน, และ 28 วัน พร้อมทั้งผลการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต และ ผลการทดสอบค่าการไหลตัวของคอนกรีต รวมตัวอย่างที่ทำการทดสอบวิจัยทั้งหมด 330 ตัวอย่าง

#### 6.1 ผลการทดสอบการรับกำลังอัด

##### 6.1.1 ผลการทดสอบที่อายุ 1 วัน

###### -High Strength Concrete

ที่ W/C เท่ากับ 0.22 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	412.95 ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.23 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	403.07 ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.24 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	403.85 ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.25 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	420.67 ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.26 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	397.94 ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.27 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	363.45 ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.28 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	370.15 ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.29 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	363.26 ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.30 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	351.72 ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.31 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	358.07 ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.32 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	358.86 ksc

###### -Flowing Concrete

ที่ W/C เท่ากับ 0.22 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	344.08 ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.23 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	341.20 ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.24 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	354.38 ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.25 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	333.59 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ W/C เท่ากับ 0.26 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 326.30 ksc ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ W/C เท่ากับ 0.27 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	321.41	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.28 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	302.18	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.29 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	307.70	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.30 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	297.10	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.31 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	289.84	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.32 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	280.95	ksc

### 6.1.2 ผลการทดสอบที่อายุ 3 วัน

#### -High Strength Concrete

ที่ W/C เท่ากับ 0.22 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	474.27	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.23 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	468.64	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.24 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	490.92	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.25 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	471.54	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.26 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	459.56	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.27 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	437.78	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.28 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	430.76	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.29 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	441.60	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.30 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	404.48	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.31 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	424.36	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.32 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	439.09	ksc

#### -Flowing Concrete

ที่ W/C เท่ากับ 0.22 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	438.94	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.23 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	452.08	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.24 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	444.93	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.25 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	439.30	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.26 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	409.33	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.27 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	412.61	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.28 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	385.93	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.29 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	381.75	ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอน และให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ W/C เท่ากับ 0.30 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 361.53 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.31 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 357.18 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.32 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 352.15 ksc

### 6.1.3 ผลการทดสอบที่อายุ 7 วัน

#### -High Strength Concrete

- ที่ W/C เท่ากับ 0.22 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 531.89 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.23 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 549.88 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.24 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 542.77 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.25 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 527.01 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.26 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 538.37 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.27 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 518.34 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.28 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 516.72 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.29 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 512.72 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.30 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 504.63 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.31 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 597.55 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.32 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 592.90 ksc

#### -Flowing Concrete

- ที่ W/C เท่ากับ 0.22 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 510.07 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.23 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 520.05 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.24 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 500.76 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.25 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 523.84 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.26 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 482.99 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.27 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 489.96 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.28 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 479.19 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.29 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 462.40 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.30 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 453.42 ksc  
 ที่ W/C เท่ากับ 0.31 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 448.91 ksc

เอกสารนี้เป็นที่ W/C เท่ากับ 0.32 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ 440.78 ksc ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 6.1.4 ผลการทดสอบที่อายุ 14 วัน

##### -High Strength Concrete

ที่ W/C เท่ากับ 0.22 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	654.49	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.23 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	658.43	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.24 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	608.31	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.25 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	631.82	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.26 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	626.43	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.27 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	604.54	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.28 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	616.56	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.29 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	562.20	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.30 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	598.57	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.31 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	574.52	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.32 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	583.54	ksc

##### -Flowing Concrete

ที่ W/C เท่ากับ 0.22 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	564.11	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.23 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	572.06	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.24 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	559.55	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.25 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	576.02	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.26 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	552.97	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.27 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	554.90	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.28 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	553.76	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.29 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	531.20	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.30 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	500.62	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.31 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	512.28	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.32 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	506.96	ksc

#### 6.1.5 ผลการทดสอบที่อายุ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ High Strength Concrete เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ W/C เท่ากับ 0.22 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	812.20	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.23 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	774.60	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.24 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	749.33	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.25 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	721.46	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.26 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	741.75	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.27 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	730.59	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.28 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	740.04	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.29 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	699.45	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.30 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	672.89	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.31 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	649.87	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.32 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	632.68	ksc

-Flowing Concrete

ที่ W/C เท่ากับ 0.22 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	623.50	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.23 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	606.14	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.24 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	595.49	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.25 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	599.57	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.26 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	590.42	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.27 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	581.74	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.28 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	574.06	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.29 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	576.23	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.30 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	569.52	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.31 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	556.08	ksc
ที่ W/C เท่ากับ 0.32 สามารถรับกำลังอัดได้เท่ากับ	551.51	ksc

## 6.2 ผลการทดสอบค่าความยุบตัว

-High Strength Concrete

ที่ W/C เท่ากับ 0.22 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	22.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.23 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	20.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.24 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	21.0	cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ W/C เท่ากับ 0.25 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	22.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.26 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	22.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.27 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	20.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.28 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	23.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.29 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	21.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.30 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	19.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.31 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	16.5	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.32 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	15.0	cm.

-Flowing Concrete

ที่ W/C เท่ากับ 0.22 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	25.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.23 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	23.5	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.24 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	24.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.25 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	23.5	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.26 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	21.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.27 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	21.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.28 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	20.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.29 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	19.5	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.30 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	18.5	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.31 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	19.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.32 มีค่าความยุบตัวเท่ากับ	18.0	cm.

### 6.3 การทดสอบค่าการไหลตัว

-High Strength Concrete

ที่ W/C เท่ากับ 0.22 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	55.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.23 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	50.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.24 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	52.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.25 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	52.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.26 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	55.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.27 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	52.0	cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ W/C เท่ากับ 0.28 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	55.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.29 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	52.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.30 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	45.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.31 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	40.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.32 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	35.0	cm.

-Flowing Concrete

ที่ W/C เท่ากับ 0.22 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	60.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.23 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	57.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.24 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	55.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.25 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	51.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.26 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	50.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.27 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	54.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.28 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	48.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.29 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	45.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.30 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	42.5	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.31 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	42.0	cm.
ที่ W/C เท่ากับ 0.32 มีค่าการไหลตัวเท่ากับ	39.0	cm.

โดยที่ผลการทดสอบต่างๆที่ได้จะนำมาเสนอในรูปแบบของตารางข้อมูลดังนี้คือ

-ตารางที่ 6.1 - 6.22 เป็นตารางแสดงผลการทดสอบกำลังการรับแรงอัด ค่าความยุบตัว และค่าการไหลตัวของตัวอย่างทดสอบ โดยที่ตารางแต่ละตารางจะแสดงผลการทดสอบของแต่ละอัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ การรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบจะทำการทดสอบที่ระยะเวลาหลังการบ่มที่ 1 วัน, 3 วัน, 7 วัน, 14 วัน, และ 28 วัน

-ตารางที่ 6.23 - 6.24 เป็นตารางแสดงการสรุปค่ากำลังการรับแรงอัดของ High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่เวลาการทดสอบ 1 วัน, 3 วัน, 7 วัน, 14 วัน, และ 28 วัน

-ตารางที่ 6.25 เป็นตารางแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความยุบตัวและค่าความไหลของ High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่แต่ละอัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 6.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบวิจัย

6.4.1 สารไมโครซิลิกาที่ผสมลงไป High Strength Concrete ทำให้มีการรับกำลังอัดของแท่งคอนกรีตที่ทดสอบสูงกว่า Flowing Concrete ที่ไม่มีสารไมโครซิลิกาผสมอยู่ แต่ High Strength Concrete จะมีความหนืดมากกว่าทำให้ ค่าการยุบตัวสูญเสียไปมาก ส่วน Flowing Concrete จะมีการทำงานในขณะที่เป็นคอนกรีตสดที่ดีกว่า

6.4.2 จากการเปรียบเทียบ High Strength Concret และ Flowing Concrete ในลักษณะของกำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ นั้นจะเห็นได้ว่า High Strength Concrete นั้นจะมีกำลังรับแรงอัดมากกว่า Flowing Concrete และมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดได้สูงกว่าด้วย ซึ่งจะแสดงในรูปแบบของกราฟและแผนภูมิแห่งดังนี้

-รูปที่ 6.1 - 6.11 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ

-รูปที่ 6.12 - 6.22 แผนภูมิแห่งแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ

6.4.3 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของ High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ จะมีค่าลดลง ตามปริมาณซีเมนต์ที่ผสมในเนื้อคอนกรีต ซึ่งจะแสดงในรูปแบบของกราฟและแผนภูมิแห่งดังนี้

-รูปที่ 6.23 แสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของ High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ

-รูปที่ 6.24 แผนภูมิแห่งแสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของ High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ

6.4.4 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ จะมีค่าลดลง ตามปริมาณซีเมนต์ที่ผสมในเนื้อคอนกรีต ซึ่งจะแสดงในรูปแบบของกราฟและแผนภูมิแห่งดังนี้

-รูปที่ 6.25 แสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-รูปที่ 6.26 แผนภูมิแท่งแสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ

6.4.5 การเปรียบเทียบค่าต่างๆ ที่ได้ทำการทดสอบวิจัยจากการทดสอบนี้สามารถที่จะเปรียบเทียบค่าต่างๆ ที่มีในผลทดสอบวิจัยนี้ ซึ่งสามารถแสดงได้ในรูปกราฟต่างๆ ดังนี้

-รูปที่ 6.27 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างราคากับค่าการยุบตัวและค่าการไหลตัวของ High Strength Concrete

-รูปที่ 6.28 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างราคากับค่ากำลังการรับแรงอัดของ High Strength Concrete

-รูปที่ 6.29 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างราคากับค่าการยุบตัวและค่าการไหลตัวของ Flowing Concrete

-รูปที่ 6.30 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างราคากับค่ากำลังการรับแรงอัดของ Flowing Concrete

-รูปที่ 6.31 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณซีเมนต์กับค่ากำลังการรับแรงอัดของ High Strength Concrete

-รูปที่ 6.32 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณซีเมนต์กับค่ากำลังการรับแรงอัดของ Flowing Concrete

-รูปที่ 6.33 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสารไมโครซิลิกากับค่าการยุบตัว

-รูปที่ 6.34 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสาร ไมโครซิลิกากับค่าอัตราการไหลตัว

-รูปที่ 6.35 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสารไมโครซิลิกากับค่ากำลังการรับแรงอัด

-รูปที่ 6.36 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Superplasticizer กับค่าการยุบตัว

-รูปที่ 6.37 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Superplasticizer กับค่ากำลังการรับแรงอัด

-รูปที่ 6.38 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Superplasticizer กับค่าอัตราการไหลตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.22

Slump = 25.0 cm. Flow rate = 60.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง ของแท่ง ตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับ แรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลัง ประลัย (kg.)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐานSD.	สัมประสิทธิ์ของ ความแปรปรวน
1	1	12729	12760	0.24		30.0	15.00	176.71		61500	348.03			
2	1	12899	12932	0.26	0.24	30.1	14.95	176.64	176.31	63000	368.90	344.08	13.99	4.07
3	1	12762	12781	0.22		30.1	14.87	173.67		66500	326.33			
1	3	12742	12786	0.36		30.0	15.05	177.89		70500	396.31			
2	3	12831	12871	0.31	0.30	30.2	14.90	174.37	176.16	84500	484.60	438.94	36.11	8.23
3	3	12727	12765	0.23		29.8	14.85	173.20		76500	435.91			
1	7	12879	12936	0.44		29.5	14.77	171.33		81000	472.77			
2	7	12981	13039	0.46	0.45	30.0	14.83	172.73	172.68	84500	489.20	501.07	29.19	6.83
3	7	12946	13006	0.47		30.0	14.87	173.67		94000	541.26			
1	14	12762	12840	0.61		30.1	14.90	174.37		98000	562.02			
2	14	12843	12918	0.58	0.59	30.1	14.88	173.90	174.60	97000	557.79	564.11	6.19	1.10
3	14	12849	12926	0.59		30.2	14.96	176.54		100500	572.52			
1	28	12881	12976	0.73		30.3	14.90	174.37		116000	669.62			
2	28	12780	12877	0.76	0.76	30.1	14.86	173.43	173.59	110000	634.26	623.60	34.64	6.66
3	28	12729	12827	0.77		30.1	14.84	172.96		99760	576.73			

ตารางที่ 6.2

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.23

Slump = 23.5 cm. Flow rate = 57.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง ของแท่ง ตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับ แรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลัง ประลัย (kg.)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน SD.	สัมประสิทธิ์ของ ความแปรปรวน
1	1	12666	12699	0.27		30.1	14.88	173.90		61600	363.66			
2	1	12706	12738	0.25	0.25	30.0	14.96	176.77	176.01	67600	384.02	341.20	41.01	12.02
3	1	12793	12824	0.24		29.9	15.07	178.37		61000	286.92			
1	3	12914	12969	0.36		30.2	14.92	174.83		77000	440.43			
2	3	12836	12878	0.33	0.34	30.0	14.98	176.24	174.13	76000	426.66	462.08	27.67	6.12
3	3	12811	12866	0.36		30.1	14.77	171.34		84000	490.26			
1	7	12773	12832	0.46		30.1	14.82	172.60		88000	510.16			
2	7	12662	12713	0.48	0.47	29.8	14.89	174.13	174.68	89500	513.98	520.06	11.40	2.19
3	7	12848	12908	0.47		30.1	15.03	177.42		96100	536.02			
1	14	12908	12988	0.62		30.0	14.82	172.60		97100	562.90			
2	14	12876	12964	0.61	0.61	30.1	14.76	170.83	171.79	99600	583.04	572.06	8.32	1.46
3	14	12716	12791	0.60		30.1	14.80	172.03		98100	570.26			
1	28	12672	12770	0.77		30.0	14.89	174.13		98750	566.91			
2	28	12784	12887	0.81	0.77	29.8	14.77	171.34	172.68	110000	642.00	606.14	30.76	6.07
3	28	12791	12883	0.72		29.9	14.81	172.27		106000	609.61			

ตารางที่ 6.3

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.24

Slump = 24.0 cm. Flow rate = 55.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง ของแท่ง ตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับ แรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลัง ประลัย (kg.)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐานSD.	สัมประ สิทธิ์ของ ความ แปรปรวน
1	1	12718	12748	0.24		30.1	14.96	176.64		60000	341.80			
2	1	12792	12826	0.26	0.25	30.1	15.06	177.89	176.00	63000	354.16	364.38	10.37	2.93
3	1	12686	12718	0.26		30.2	14.78	171.67		63000	367.20			
1	3	12841	12884	0.34		30.0	14.88	173.90		81500	468.66			
2	3	12776	12816	0.32	0.32	30.1	14.75	170.87	173.06	69600	407.33	444.93	26.89	6.04
3	3	12809	12849	0.31		30.0	14.90	174.37		80000	458.79			
1	7	12911	12973	0.48		29.9	14.72	170.18		90000	528.86			
2	7	12886	12946	0.47	0.48	30.0	14.65	168.66	171.43	81500	483.51	500.76	20.03	4.00
3	7	12734	12796	0.48		30.2	14.95	176.54		86000	489.92			
1	14	12816	12894	0.62		30.1	16.00	176.71		100500	568.73			
2	14	12909	12990	0.63	0.62	30.1	16.05	177.89	176.16	97500	548.09	559.56	8.58	1.53
3	14	12773	12861	0.61		29.9	14.76	170.87		96000	561.83			
1	28	12718	12816	0.76		30.0	14.88	169.26		100500	593.76			
2	28	12844	12943	0.77	0.77	29.9	14.72	170.18	171.27	100500	590.56	595.49	4.90	0.82
3	28	12923	13023	0.77		29.9	14.90	174.37		105000	602.17			

ตารางที่ 6.4

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.25

Slump = 23.5 cm. Flow rate = 51.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่างก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนักตัวอย่างหลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงของแท่งตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับแรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลังประลัย (kg.)	ความเค้นประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานSD.	สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน
1	1	12806	12837	0.26		30.1	14.94	176.30		63000	302.34			
2	1	12888	12918	0.23	0.26	30.1	14.72	170.18	171.50	66000	387.82	333.69	38.60	11.64
3	1	12747	12781	0.27		30.0	14.67	169.02		62500	310.61			
1	3	12681	12724	0.34		30.0	15.02	177.19		75000	423.27			
2	3	12796	12837	0.33	0.33	30.1	14.84	172.96	173.14	73600	424.96	439.30	21.60	4.89
3	3	12760	12801	0.32		30.0	14.68	169.26		79600	469.69			
1	7	12966	13019	0.49		30.1	15.00	176.71		97600	551.76			
2	7	12872	12934	0.48	0.48	29.9	14.76	171.10	173.67	91600	534.77	623.84	28.33	5.41
3	7	12811	12870	0.46		30.0	14.86	173.20		84000	484.99			
1	14	12693	12766	0.57		30.2	14.69	169.49		97600	576.26			
2	14	12771	12848	0.60	0.68	30.0	14.90	174.37	173.60	100600	576.36	676.02	0.64	0.09
3	14	12906	12980	0.58		30.0	15.01	176.96		102000	576.43			
1	28	12786	12888	0.80		30.1	14.76	170.87		106000	614.60			
2	28	12809	12906	0.76	0.77	30.1	14.82	172.50	171.80	103600	600.00	699.67	12.37	2.06
3	28	12746	12842	0.76		29.9	14.80	172.03		100600	584.20			

ตารางที่ 6.5

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.26

Slump = 21.0 cm.

Flow rate = 50.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง ของแท่ง ตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับ แรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลัง ประลัย (kg.)	ความเค้น ประลัย (kec)	Average (kec)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน SD.	สัมประ สัมของ ลิทซ์ของ ความ แปรปรวน
1	1	12769	12800	0.24		30.2	15.07	178.37		66000	370.02			
2	1	12897	12929	0.25	0.25	29.9	14.82	172.50	176.02	61000	295.66	326.3	31.74	9.73
3	1	12713	12747	0.27		30.1	15.02	177.19		55500	313.22			
1	3	12694	12639	0.36		29.9	14.79	171.80		70800	412.11			
2	3	12839	12882	0.34	0.34	30.0	14.88	173.90	174.37	74250	426.97	409.33	15.66	3.83
3	3	12793	12836	0.34		29.9	15.03	177.42		69000	388.91			
1	7	12726	12788	0.50		30.1	14.96	175.77		79500	452.29			
2	7	12782	12844	0.49	0.48	30.1	14.76	170.87	172.97	84900	496.87	482.99	21.74	4.50
3	7	12844	12903	0.46		30.1	14.81	172.27		86100	499.80			
1	14	12953	13033	0.62		29.9	14.88	173.90		99000	569.29			
2	14	12890	12964	0.61	0.61	30.1	14.92	174.83	173.12	96750	553.39	552.97	13.50	2.44
3	14	12809	12885	0.59		29.8	14.74	170.64		91500	536.22			
1	28	12919	13020	0.78		29.8	14.68	169.26		99750	589.33			
2	28	12828	12926	0.76	0.77	29.8	14.75	170.87	170.64	102000	596.94	590.42	4.94	0.84
3	28	12706	12803	0.77		29.9	14.79	171.80		100600	584.98			

ตารางที่ 6.6

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.27

Slump = 21.0 cm.

Flow rate = 54.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่างก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนักตัวอย่างหลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงของแท่งตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับแรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลังประลัย (kg.)	ความเค้นประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานSD.	สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ความแปรปรวน
1	1	12933	12966	0.26		30.0	14.93	176.07		64900	313.69			
2	1	12816	12850	0.27	0.26	30.2	14.76	170.87	171.81	62500	307.26	321.41	16.76	4.90
3	1	12853	12877	0.26		30.0	14.69	169.49		68200	343.38			
1	3	12808	12862	0.34		29.9	14.73	170.41		71400	418.99			
2	3	12792	12834	0.33	0.33	30.1	14.94	176.30	174.30	73500	419.28	412.61	9.22	2.24
3	3	12911	12964	0.33		30.2	16.02	177.19		70800	399.67			
1	7	12886	12948	0.48		30.1	14.76	170.87		87000	609.16			
2	7	12951	13016	0.60	0.49	29.9	14.92	174.83	172.04	86400	494.19	489.96	17.66	3.61
3	7	12862	12925	0.49		29.8	14.73	170.41		79500	466.52			
1	14	12847	12925	0.61		29.9	14.74	170.64		94200	552.04			
2	14	12789	12869	0.63	0.63	30.0	14.66	168.66	170.67	93750	556.18	564.90	2.03	0.37
3	14	12906	12987	0.64		29.9	14.82	172.51		96000	556.49			
1	28	12783	12881	0.77		29.7	14.66	168.66		97800	580.21			
2	28	12851	12954	0.80	0.80	29.8	14.73	170.41	169.49	100600	589.76	581.74	6.01	1.03
3	28	12892	12998	0.82		29.8	14.69	169.49		97500	576.26			

ตารางที่ 6.7

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.28

Slump = 21.0 cm. Flow rate = 48.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง ของแท่ง ตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับ แรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลัง ประลัย (kg.)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน SD.	สัมประสิทธิ์ของ ความแปรปรวน
1	1	12811	12847	0.28		30.1	14.92	174.83		61000	291.71			
2	1	12784	12818	0.27	0.27	30.2	14.85	173.20	175.07	64000	311.78	302.18	8.22	2.72
3	1	12860	12893	0.26		30.2	15.02	177.19		63700	303.06			
1	3	12992	13038	0.35		30.0	14.89	174.13		72000	413.48			
2	3	12947	12992	0.35	0.35	30.0	14.91	174.60	173.20	67000	326.46	386.93	42.09	10.91
3	3	13101	13145	0.34		29.8	14.76	170.87		71400	417.86			
1	7	12766	12816	0.48		29.9	14.92	174.83		84600	483.90			
2	7	12874	12936	0.48	0.49	30.1	14.96	176.77	174.06	83100	472.78	479.19	4.70	0.98
3	7	12696	12769	0.50		30.1	14.78	171.56		82600	480.88			
1	14	12940	13022	0.63		30.0	14.89	174.13		90000	516.85			
2	14	12916	12995	0.62	0.63	29.9	14.76	170.87	172.58	93000	544.27	653.76	12.07	2.26
3	14	12874	12957	0.65		29.9	14.83	172.73		93300	540.16			
1	28	12851	12956	0.82		29.8	14.74	170.64		99760	584.56			
2	28	12892	12993	0.78	0.80	29.8	14.89	169.49	169.56	98700	582.34	674.06	13.31	2.32
3	28	12908	13011	0.80		29.7	14.65	168.56		93600	555.29			

ตารางที่ 6.8

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.29

Slump = 19.5 cm. Flow rate = 45.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง ของแท่ง ตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับ แรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลัง ประลัย (kg.)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ฐานSD.	สัมประ สิทธิ์ของ ความ แปรปรวน
1	1	12866	12900	0.26		30.1	14.86	173.43		64000	311.36			
2	1	12894	12931	0.29	0.28	30.2	16.05	177.89	176.64	53250	299.34	307.70	5.93	1.93
3	1	12910	12946	0.28		30.1	16.08	178.61		56800	312.41			
1	3	12906	12962	0.36		29.7	14.92	174.83		64500	368.93			
2	3	12971	13014	0.33	0.36	30.2	14.74	170.64	173.67	66400	383.26	381.76	9.91	2.60
3	3	12843	12888	0.36		30.9	14.95	176.54		69000	393.07			
1	7	12776	12838	0.49		29.8	14.88	173.90		78600	451.98			
2	7	12906	12971	0.51	0.49	29.8	14.71	169.96	171.96	80700	474.86	462.40	9.46	2.04
3	7	12831	12890	0.46		30.0	14.80	172.03		79200	460.38			
1	14	12876	12967	0.64		29.9	14.91	174.60		93000	532.66			
2	14	12777	12868	0.63	0.64	29.7	14.84	172.96	172.81	92400	534.23	531.20	3.23	0.61
3	14	12923	13007	0.66		30.0	14.75	170.87		90000	526.72			
1	28	12849	12962	0.80		29.8	14.74	170.64		99000	580.17			
2	28	12969	13061	0.79	0.80	29.7	14.65	168.56	169.72	96000	569.53	576.23	4.76	0.83
3	28	12867	12970	0.80		30.0	14.71	169.96		98400	578.99			

ตารางที่ 6.9

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.30

Slump = 18.5 cm. Flow rate = 42.5 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง ของแท่ง ตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับ แรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลัง ประลัย (kg.)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน SD.	สัมประ สัตถ์ของ ความ แปรปรวน
1	1	12649	12686	0.29		30.3	15.02	177.19		52600	296.29			
2	1	12907	12941	0.26	0.27	30.1	14.95	176.64	176.39	60700	288.82	297.10	7.11	2.39
3	1	12791	12826	0.27		30.0	14.86	173.43		53100	306.18			
1	3	12813	12858	0.36		29.8	14.89	174.13		59100	339.40			
2	3	12806	12860	0.34	0.35	30.1	14.84	172.96	175.16	66000	381.91	361.53	17.40	4.81
3	3	12744	12791	0.37		30.2	15.07	178.37		64800	363.29			
1	7	12967	13019	0.48		29.9	14.78	171.67		78000	454.62			
2	7	12884	12947	0.49	0.49	30.0	14.86	173.43	171.80	78900	454.94	453.42	1.93	0.43
3	7	12702	12767	0.51		30.0	14.73	170.41		76800	450.70			
1	14	12962	13044	0.63		29.8	14.94	176.30		88500	504.86			
2	14	12867	12941	0.65	0.65	29.7	14.71	169.95	171.27	84760	498.68	600.62	2.99	0.60
3	14	12878	12963	0.66		29.8	14.65	168.66		84000	498.34			
1	28	12911	13016	0.81		29.7	14.68	169.26		96400	563.63			
2	28	12850	12968	0.84	0.82	29.8	14.61	167.64	169.26	96100	567.29	669.62	6.93	1.04
3	28	12868	12972	0.81		29.6	14.75	170.87		98700	577.63			

ตารางที่ 6.10

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.31

Slump = 19.0 cm. Flow rate = 42.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาป่ม (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนป่ม (g.)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังป่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง ของแท่ง ตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับ แรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลัง ประลัย (kg.)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐานSD.	สัมประ สิทธิ์ของ ความ แปรปรวน
1	1	12808	12846	0.30		30.0	14.93	176.07		61000	291.31			
2	1	12771	12806	0.27	0.29	30.0	14.89	174.13	176.93	49600	284.27	289.84	4.09	1.41
3	1	12880	12917	0.29		30.1	16.08	178.60		52600	293.96			
1	3	12667	12710	0.34		29.9	14.71	169.96		63900	376.99			
2	3	12819	12866	0.37	0.36	30.0	14.82	172.50	171.96	61600	366.62	367.18	16.09	4.23
3	3	12904	12947	0.33		30.0	14.86	173.43		68800	339.04			
1	7	12776	12839	0.60		29.8	14.76	170.87		76000	438.93			
2	7	12762	12826	0.49	0.49	29.9	14.81	172.27	170.88	76600	444.07	448.91	10.69	2.38
3	7	12968	13029	0.47		30.1	14.69	169.49		78600	463.74			
1	14	12636	12714	0.63		29.7	14.72	170.18		87000	611.22			
2	14	12847	12932	0.66	0.66	29.9	14.86	173.20	170.72	87900	607.51	612.28	4.39	0.86
3	14	12930	13014	0.65		29.7	14.66	168.79		87460	618.10			
1	28	12871	12976	0.82		29.8	14.66	168.66		92400	648.17			
2	28	12809	12916	0.84	0.83	29.9	14.68	169.26	170.03	96000	667.17	666.08	8.08	1.46
3	28	12716	12819	0.82		30.0	14.81	172.27		96260	662.91			

ตารางที่ 6.11

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.32

Slump = 18.0 cm. Flow rate = 39.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่างก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนักตัวอย่างหลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงของแท่งตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับแรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลังประลัย (kg.)	ความเค้นประลัย (ksc)	Average (kec)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานSD.	สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน
1	1	12840	12879	0.30		29.9	14.94	176.30		48000	273.82			
2	1	13102	13139	0.28	0.29	30.2	14.81	172.27	174.76	48600	282.11	280.95	5.41	1.92
3	1	12964	12991	0.29		30.1	15.00	176.71		50700	286.91			
1	3	12971	13017	0.36		30.1	14.85	173.20		62100	358.55			
2	3	12966	13014	0.38	0.37	30.0	14.76	171.10	171.65	59250	346.29	352.15	5.02	1.43
3	3	12878	12926	0.37		30.0	14.74	170.64		60000	351.62			
1	7	12893	12969	0.51		30.2	14.82	172.50		76900	440.00			
2	7	12962	13026	0.49	0.49	29.8	14.86	173.20	172.03	77100	446.15	440.78	3.30	0.75
3	7	12996	13067	0.48		30.1	14.73	170.41		74600	437.18			
1	14	13020	13106	0.66		30.0	14.76	170.87		87300	510.91			
2	14	12864	12936	0.64	0.65	30.0	14.91	174.60	171.34	87000	498.28	506.96	6.15	1.21
3	14	12991	13076	0.65		29.8	14.65	168.56		86250	511.69			
1	28	12896	13004	0.86		29.9	14.72	170.18		93900	561.77			
2	28	12867	12962	0.82	0.83	29.6	14.66	168.56	170.26	92700	549.96	561.51	1.18	0.21
3	28	12830	12936	0.83		29.8	14.80	172.03		96100	562.81			

ตารางที่ 6.12

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.22

Microsilica (MS) = 10 % ของปริมาณซีเมนต์

Slump = 22.0 cm. Flow rate = 55.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่างก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนักตัวอย่างหลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงของแท่งตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับแรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลังประลัย (kg.)	ความเค้นประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานSD.	สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน
1	1	12790	12916	0.97		30.6	14.82	172.60		74500	431.88			
2	1	12736	12856	0.94	0.91	30.3	14.93	175.06	173.97	72600	414.14	412.96	15.96	3.87
3	1	13046	13153	0.82		30.4	14.90	174.37		68600	392.84			
1	3	12734	12860	0.98		29.8	14.79	171.80		79500	462.24			
2	3	12733	12900	1.03	1.06	30.2	14.77	171.33	170.80	82600	481.63	474.27	8.26	1.74
3	3	12634	12780	1.14		30.1	14.68	169.26		81000	478.66			
1	7	12864	12940	0.66		30.2	14.86	173.20		92300	532.90			
2	7	12633	12839	1.66	1.07	30.1	14.94	176.30	174.29	96600	560.50	631.89	15.61	2.94
3	7	12726	12860	0.97		30.3	14.90	174.37		89600	512.28			
1	14	12876	13036	1.22		30.3	14.97	176.00		120000	681.82			
2	14	12626	12830	1.59	1.26	30.6	14.76	170.87	172.58	111600	662.64	654.49	21.66	3.29
3	14	12666	12790	0.97		31.0	14.76	170.87		107600	629.13			
1	28	12789	13090	2.29		30.3	14.87	173.66		142000	817.68			
2	28	12762	12993	1.77	1.69	30.2	14.91	174.60	173.04	134600	770.33	812.20	32.19	3.96
3	28	12624	12666	1.03		30.2	14.76	170.87		146000	848.60			

ตารางที่ 6.13

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.23

Microsilica (MS) = 10 % ของปริมาณซีเมนต์

Slump = 20.0 cm. Flow rate = 50.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่างก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนักตัวอย่างหลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงของแท่งตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับแรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลังประลัย (kg.)	ความเค้นประลัย (kec)	Average (ksc)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานSD.	สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน
1	1	12482	12603	0.96		30.1	14.65	168.56		71500	424.18			
2	1	12628	12740	0.88	0.89	30.1	14.79	171.80	170.62	65250	379.80	403.07	18.18	4.51
3	1	12580	12685	0.83		30.3	14.75	171.50		69500	406.24			
1	3	12631	12725	0.74		30.0	14.90	174.37		84050	482.02			
2	3	12716	12838	0.96	0.94	30.2	14.93	175.06	173.43	78500	448.41	468.64	14.55	3.11
3	3	12551	12693	1.12		30.2	14.75	170.87		81250	475.50			
1	7	12617	12724	0.84		30.4	14.87	173.66		95500	649.92			
2	7	12581	12736	1.22	1.03	30.1	14.87	173.66	172.88	99250	671.52	649.88	17.67	3.22
3	7	12542	12674	1.04		30.2	14.77	171.33		90500	528.22			
1	14	12701	12863	1.26		30.1	14.94	175.30		119500	681.68			
2	14	12638	12802	1.28	1.18	30.0	14.90	174.37	174.05	102250	586.39	658.43	51.97	7.89
3	14	12632	12762	1.02		30.5	14.82	172.50		122000	707.24			
1	28	12609	12832	1.77		30.5	14.91	174.87		137250	784.86			
2	28	12796	13024	1.76	1.64	30.2	14.94	175.30	173.14	125300	714.77	774.60	45.04	5.82
3	28	12585	12766	1.42		30.1	14.68	169.26		139500	824.17			

ตารางที่ 6.14

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.24

Microsilica (MS) = 10 % ของปริมาณซีเมนต์

Slump = 21.0 cm. Flow rate = 52.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่างก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนักตัวอย่างหลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงของแท่งตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับแรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลังประลัย (kg.)	ความเค้นประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานSD.	สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน
1	1	12850	12934	0.65		30.5	14.97	176.01		72500	411.90			
2	1	12609	12734	0.98	0.82	30.0	14.85	173.20	174.14	68250	394.06	403.85	18.18	4.51
3	1	12867	12966	0.84		30.6	14.85	173.20		70250	405.60			
1	3	12748	12873	0.97		30.2	14.90	174.37		85250	488.90			
2	3	12809	12923	0.88	0.96	30.4	14.90	174.37	174.68	89500	513.27	490.92	14.55	3.11
3	3	12771	12904	1.03		30.1	14.94	175.30		82500	470.60			
1	7	12676	12820	1.12		30.5	14.75	171.50		89250	520.40			
2	7	12703	12836	1.04	1.06	30.0	14.92	174.83	172.55	96500	551.96	542.77	17.68	3.22
3	7	12571	12702	1.03		30.1	14.77	171.33		95250	555.96			
1	14	12647	12803	1.22		30.2	14.84	172.96		99950	575.17			
2	14	12600	12794	1.52	1.25	30.2	14.88	173.90	172.79	102500	589.42	608.31	51.97	7.89
3	14	12705	12836	1.02		30.5	14.75	171.50		113250	660.34			
1	28	12480	12675	1.54		30.0	17.75	171.50		126250	730.32			
2	28	12485	12694	1.65	1.59	30.0	14.75	171.50	172.77	136550	790.37	749.33	45.04	5.82
3	28	12816	13024	1.60		30.5	14.94	175.30		127500	727.32			

ตารางที่ 6.15

**Compressive Strength**

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.25

Microsilica (MS) = 10 % ของปริมาณซีเมนต์

Slump = 22.0 cm. Flow rate = 52.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่างก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนักตัวอย่างหลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงของแท่งตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับแรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลังประลัย (kg.)	ความเค้นประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานSD.	สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน
1	1	12580	12692	0.88		30.2	14.68	169.31		69500	410.49			
2	1	12643	12748	0.82	0.83	30.5	14.75	170.10	170.27	72160	424.16	420.67	7.38	1.83
3	1	12826	12930	0.81		30.0	14.88	171.40		73260	427.36			
1	3	12717	12825	0.84		30.1	14.95	175.38		81500	464.70			
2	3	12437	12658	0.96	0.93	30.1	14.75	171.10	172.61	84450	496.47	471.64	17.48	3.66
3	3	12266	12387	0.99		19.8	14.84	172.56		78250	463.46			
1	7	12698	12830	1.03		30.3	14.98	173.31		94500	545.26			
2	7	12662	12700	1.09	1.03	30.2	14.88	172.30	172.34	89550	519.73	627.01	16.90	2.93
3	7	12676	12800	0.97		30.0	14.88	171.40		88450	516.04			
1	14	12446	12600	1.22		31.0	14.93	175.24		117550	670.79			
2	14	12346	12600	1.23	1.19	30.5	14.68	169.31	171.29	99850	589.74	631.82	37.59	6.09
3	14	12310	12450	1.12		30.5	14.68	169.31		107500	634.93			
1	28	12663	12862	1.56		30.0	14.94	175.30		125250	714.48			
2	28	12346	12539	1.54	1.37	30.0	14.75	170.10	173.54	116000	681.95	721.40	29.04	3.88
3	28	12702	12835	1.04		30.2	14.92	176.18		134500	767.78			

ตารางที่ 6.16

**Compressive Strength**

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.26

Microsilica (MS) = 10 % ของปริมาณซีเมนต์

Slump = 22.0 cm. Flow rate = 55.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่างก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนักตัวอย่างหลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงของแท่งตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับแรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลังประลัย (kg.)	ความเค้นประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานSD.	สัมประสิทธิ์ของลิทซ์ของความแปรปรวน
1	1	12848	12967	0.92		30.2	14.94	175.30		68500	390.76			
2	1	12720	12824	0.81	0.83	30.0	14.88	173.30	172.62	67250	388.06	397.94	12.14	3.05
3	1	12606	12705	0.78		29.8	14.68	169.26		70250	416.04			
1	3	12606	12736	1.03		30.1	14.75	170.87		76650	448.00			
2	3	12793	12899	0.82	0.93	30.0	14.94	175.30	173.09	82500	470.62	459.56	9.24	2.01
3	3	12682	12802	0.94		30.3	14.84	173.12		79650	460.08			
1	7	12625	12764	1.09		30.0	14.77	171.33		89760	523.84			
2	7	12665	12798	1.12	1.07	30.2	14.84	172.96	173.27	94650	547.23	638.37	10.36	1.92
3	7	12842	12974	1.02		30.0	14.95	175.53		95600	544.06			
1	14	12500	12644	1.14		30.1	14.77	171.83		99500	579.06			
2	14	12527	12698	1.35	1.23	30.3	14.75	171.50	172.21	107650	627.70	626.43	38.17	6.10
3	14	12579	12734	1.22		30.5	14.88	173.30		116550	672.53			
1	28	12722	12937	1.66		30.0	14.95	175.53		126350	714.12			
2	28	12697	12888	1.48	1.64	30.2	14.91	174.60	173.87	128950	738.54	741.75	23.98	3.23
3	28	12496	12725	1.80		30.1	14.75	171.50		132500	772.59			

ตารางที่ 6.17

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.27

Microsilica (MS) = 10 % ของปริมาณซีเมนต์

Slump = 20.0 cm. Flow rate = 52.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง ของแท่ง ตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับ แรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลัง ประลัย (kg.)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน SD.	สัมประสิทธิ์ของ ความ แปรปรวน
1	1	12922	13029	0.82		30.1	16.02	177.18		62500	362.74			
2	1	12916	13014	0.76	0.76	30.2	14.96	176.38	174.48	68460	390.29	363.45	19.10	5.26
3	1	12730	12823	0.72		30.1	14.75	170.87		69350	347.34			
1	3	12756	12878	0.96		30.5	14.77	171.33		73550	429.28			
2	3	12891	12998	0.82	0.89	30.5	14.90	174.36	173.66	79650	456.24	437.78	13.06	2.98
3	3	12835	12954	0.92		30.0	14.94	176.30		76000	427.83			
1	7	12693	12837	1.12		30.2	14.88	172.30		92500	536.85			
2	7	12732	12866	1.04	1.06	30.1	14.84	172.96	173.52	87650	506.76	618.34	13.23	2.55
3	7	12872	13002	1.00		30.5	14.94	176.30		89660	511.40			
1	14	12662	12675	0.97		30.1	14.75	170.87		99600	582.31			
2	14	12508	12666	1.25	1.18	30.0	14.75	170.87	172.11	102500	599.87	604.64	20.33	3.36
3	14	12728	12898	1.32		30.2	14.91	174.60		110250	631.44			
1	28	12727	12923	1.62		29.8	14.94	176.30		136250	766.84			
2	28	12546	12737	1.60	1.42	30.2	14.77	171.33	174.60	120760	704.78	730.69	20.85	2.85
3	28	12827	12989	1.26		30.0	16.02	177.18		129660	731.17			

ตารางที่ 6.18

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.28

Microsilica (MS) = 10 % ของปริมาณซีเมนต์

Slump = 23.0 cm. Flow rate = 55.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่างก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนักตัวอย่างหลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงของแท่งตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับแรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลังประลัย (kg.)	ความเค้นประลัย (kec)	Average (kec)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานSD.	สัมประสิทธิ์ของความปลอดภัยของความแปรปรวน
1	1	12766	12889	0.96		30.0	14.75	170.87		69850	360.26			
2	1	12812	12934	0.94	0.93	30.0	14.94	175.30	174.45	64500	367.94	370.15	17.21	4.65
3	1	12996	13110	0.88		30.3	15.02	177.18		69500	392.26			
1	3	12906	13030	0.96		30.1	14.93	174.89		73500	420.26			
2	3	13044	13180	1.03	1.04	30.5	15.00	176.71	175.24	79000	447.06	430.76	11.68	2.71
3	3	12664	12810	1.14		30.1	14.89	174.13		74000	424.97			
1	7	12979	13143	1.25		30.0	14.80	172.03		86650	503.69			
2	7	12636	12770	1.06	1.15	29.8	14.85	173.20	172.81	84500	487.87	516.72	30.31	5.87
3	7	12816	12964	1.14		30.4	14.85	173.20		96750	568.60			
1	14	12660	12820	1.25		30.5	14.81	172.30		117650	682.82			
2	14	12796	12970	1.34	1.28	30.0	14.94	174.89	172.26	102500	586.08	616.56	46.90	7.61
3	14	12640	12700	1.26		29.0	14.70	169.60		98500	580.78			
1	28	12482	12675	1.52		30.1	14.81	172.26		125000	725.64			
2	28	12484	12672	1.48	1.41	30.2	14.75	170.87	172.26	124500	728.62	740.04	18.30	2.47
3	28	12886	13047	1.24		30.1	14.87	173.66		133000	765.86			

ตารางที่ 6.19

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.29

Microsilica (MS) = 10 % ของปริมาณซีเมนต์

Slump = 21.0 cm. Flow rate = 52.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง ของแท่ง ตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับ แรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลัง ประลัย (kg.)	ความเค้น ประลัย (kec)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐานSD.	สัมประ สิทธิ์ของ ความ แปรปรวน
1	1	12620	12724	0.82		30.1	14.75	170.87		69500	348.21			
2	1	12976	13092	0.89	0.89	30.3	15.02	177.18	174.48	68250	385.20	363.26	15.87	4.37
3	1	12889	13014	0.96		30.0	14.94	176.38		62500	356.37			
1	3	12989	13124	1.03		30.5	15.00	176.71		75950	429.80			
2	3	12626	12769	1.12	1.05	30.2	14.77	171.33	173.44	79250	462.64	441.60	14.91	3.38
3	3	12774	12904	1.01		30.2	14.88	172.30		74250	432.38			
1	7	12778	12936	1.22		30.1	14.91	174.60		96350	551.83			
2	7	12714	12848	1.04	1.13	30.5	14.77	171.33	173.43	84000	490.28	612.72	27.76	6.41
3	7	12766	12904	1.15		30.0	14.90	174.37		86500	496.07			
1	14	12556	12724	1.32		30.2	14.75	170.87		100250	586.70			
2	14	12605	12766	1.26	1.26	30.0	14.77	171.33	171.50	99500	580.76	662.2	30.64	6.43
3	14	12640	12794	1.20		30.5	14.88	172.30		89450	519.15			
1	28	12891	13095	1.56		29.8	15.02	177.18		135000	761.93			
2	28	12903	13129	1.72	1.55	30.2	15.00	176.71	176.42	116250	662.19	699.46	46.08	6.59
3	28	12831	13010	1.38		30.0	14.95	176.38		120000	684.22			

ตารางที่ 6.20

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.30

Microsilica (MS) = 10 % ของปริมาณซีเมนต์

Slump = 19.0 cm. Flow rate = 45.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนปม (g.)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังปม (g.)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง ของแท่ง ตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับ แรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลัง ประลัย (kg.)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ฐานSD.	สัมประ สิทธิ์ของ ความ แปรปรวน
1	1	12803	12926	0.96		30.1	14.92	174.83		62600	357.49			
2	1	12586	12662	0.60	0.76	30.0	14.68	169.26	173.75	61250	361.87	351.72	11.39	3.24
3	1	13115	13214	0.76		30.5	16.02	177.18		69600	335.81			
1	3	12646	12769	0.96		30.6	14.76	170.87		66450	383.03			
2	3	12623	12748	0.98	1.02	29.8	14.76	170.87	172.36	70260	411.13	404.48	15.53	3.84
3	3	12869	13015	1.12		30.0	14.94	175.30		73600	419.28			
1	7	12660	12792	1.03		30.2	14.77	171.33		86450	604.58			
2	7	12698	12842	1.12	1.06	30.3	14.85	173.20	171.80	84360	487.00	604.63	14.42	2.86
3	7	12613	12747	1.06		30.0	14.76	170.87		89260	622.32			
1	14	12839	13001	1.26		30.2	16.00	176.71		99650	663.36			
2	14	12860	13014	1.18	1.26	30.5	14.97	176.00	174.68	109600	622.16	698.57	25.38	4.24
3	14	12666	12828	1.34		30.3	14.77	171.33		104650	610.22			
1	28	12533	12726	1.62		29.8	14.85	173.20		114660	661.37			
2	28	12549	12739	1.49	1.69	30.3	14.76	170.87	173.69	120000	702.28	672.89	20.94	3.11
3	28	12720	12948	1.76		30.0	16.00	176.71		116760	666.03			

ตารางที่ 6.21

Compressive Strength

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.31

Microsilica (MS) = 10 % ของปริมาณซีเมนต์

Slump = 16.5 cm. Flow rate = 40.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง ของแท่ง ตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับ แรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลัง ประลัย (kg.)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐานSD.	สัมประสิทธิ์ของ ความ แปรปรวน
1	1	12876	12988	0.86		30.0	16.00	176.71		63250	367.93			
2	1	12838	12964	0.97	0.86	29.8	16.02	177.18	176.39	64250	362.62	358.07	3.65	1.02
3	1	13026	13124	0.75		31.0	14.94	176.30		62000	363.68			
1	3	12770	12903	1.03		30.5	14.88	172.30		73460	426.29			
2	3	12851	12976	0.96	0.98	30.2	14.97	176.00	173.05	70500	400.56	424.36	18.70	4.41
3	3	12634	12768	0.97		30.3	14.76	170.87		76250	446.24			
1	7	12666	12799	1.04		30.5	14.88	172.30		89250	517.99			
2	7	12873	13019	1.12	1.08	30.2	15.02	177.18	175.16	84350	476.08	497.65	17.12	3.44
3	7	12868	13008	1.08		30.2	14.97	176.00		87750	498.58			
1	14	12557	12729	1.35		30.1	14.75	170.87		102500	599.87			
2	14	12870	13016	1.12	1.24	30.7	14.95	175.54	174.37	100250	571.09	574.62	19.45	3.39
3	14	12892	13065	1.25		30.0	15.00	176.71		97650	562.60			
1	28	12726	12928	1.65		30.8	14.91	174.60		116000	668.64			
2	28	12696	12802	1.62	1.61	30.6	14.77	171.33	171.13	102600	598.26	649.87	39.06	6.01
3	28	12676	12676	1.66		30.2	14.68	169.26		117250	692.72			

ตารางที่ 6.22

**Compressive Strength**

อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (W/C) = 0.32

Microsilica (MS) = 10 % ของปริมาณซีเมนต์

Slump = 15.0 cm. Flow rate = 35.0 cm.

ตัวอย่าง	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g.)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g.)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง ของแท่ง ตัวอย่าง (cm.)	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง (cm.)	พื้นที่รับ แรง (cm.*cm.)	Average (cm.*cm.)	กำลัง ประลัย (kg.)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐานSD.	สัมประ สิทธิ์ของ ความ แปรปรวน
1	1	12729	12834	0.82		30.2	14.88	172.30		63500	362.73			
2	1	12666	12763	0.86	0.88	30.5	14.76	170.87	173.29	59850	350.26	358.86	6.09	1.70
3	1	12784	13111	0.97		30.5	16.00	176.71		64260	363.59			
1	3	12764	12887	1.03		30.0	14.84	173.12		74650	431.20			
2	3	12576	12698	0.96	1.01	29.8	14.76	170.87	171.77	79650	465.55	439.09	19.21	4.37
3	3	12639	12769	1.02		30.6	14.77	171.33		72060	420.53			
1	7	12923	13069	1.12		30.2	16.02	177.18		89500	505.13			
2	7	12964	13116	1.16	1.12	30.3	16.00	176.71	176.63	87460	494.88	492.9	10.88	2.21
3	7	12906	13048	1.09		30.6	14.97	176.00		84250	478.69			
1	14	12543	12702	1.26		30.3	14.68	169.26		97650	576.92			
2	14	12648	12798	1.19	1.24	30.7	14.76	170.87	170.02	99950	584.96	583.64	4.93	0.84
3	14	12661	12726	1.29		30.0	14.71	169.94		100060	588.74			
1	28	12652	12848	1.63		29.8	14.85	173.20		112500	649.53			
2	28	12801	12976	1.36	1.43	30.6	14.99	176.47	173.51	107500	609.16	632.68	17.14	2.71
3	28	12643	12826	1.42		30.2	14.76	170.87		109250	639.37			

ตารางที่ 6.23

ตารางค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสม

Flowing Concrete อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ (W/C)	ค่าความเค้นอัด (ksc)				
	อายุ 1 วัน	อายุ 3 วัน	อายุ 7 วัน	อายุ 14 วัน	อายุ 28 วัน
0.22	344.08	438.94	501.07	564.11	623.50
0.23	341.20	452.08	520.05	572.06	606.14
0.24	354.38	444.93	500.76	559.55	595.49
0.25	333.59	439.30	523.84	576.02	599.57
0.26	326.30	409.33	482.99	552.97	590.42
0.27	321.41	412.61	489.96	554.9	581.74
0.28	302.18	385.93	479.19	553.76	574.06
0.29	307.70	381.75	462.40	531.20	576.23
0.30	297.10	361.53	453.42	500.62	569.52
0.31	289.84	357.18	448.91	512.28	556.08
0.32	280.95	352.15	440.78	506.96	551.51

หมายเหตุ : ตารางสรุปมาจากตารางที่ 6.1-6.11

ตารางที่ 6.24

ตารางค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสม

High Strength Concrete อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ (W/C)	ค่าความเค้นอัด (ksc)				
	อายุ 1 วัน	อายุ 3 วัน	อายุ 7 วัน	อายุ14วัน	อายุ28วัน
0.22	412.95	474.27	531.89	654.49	812.20
0.23	403.07	468.64	549.88	658.43	774.6
0.24	403.85	490.92	542.77	608.31	749.33
0.25	420.67	471.54	527.01	631.82	721.40
0.26	397.94	459.56	538.37	626.43	741.75
0.27	363.45	437.78	518.34	604.54	730.59
0.28	370.15	430.76	516.72	616.56	740.04
0.29	363.26	441.60	512.72	562.20	699.45
0.30	351.72	404.48	504.63	598.57	672.89
0.31	358.07	424.36	497.55	574.52	649.87
0.32	358.86	439.09	492.90	583.54	632.68

หมายเหตุ : ตารางสรุปมาจากตารางที่ 6.12-6.22

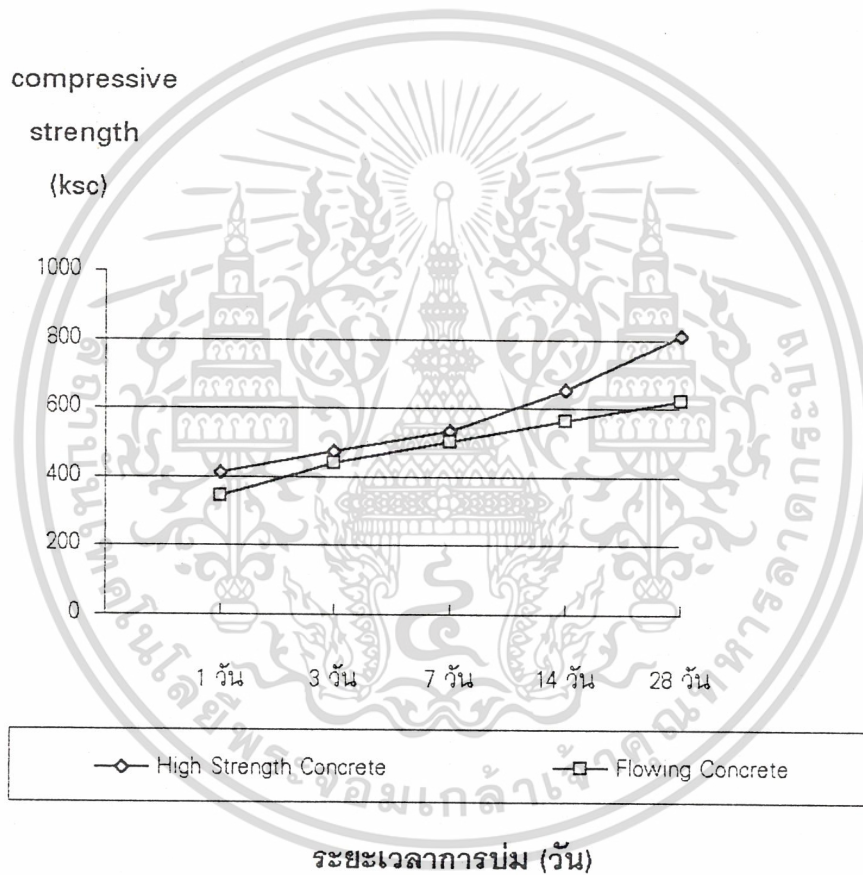
ตารางที่ 6.25

ตารางการเปรียบเทียบค่า Slump และ Flow Rate

อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ (W/C)	High Strength Concrete		Flowing Concrete	
	Slump	Flow Rate	Slump	Flow Rate
0.22	22.0	55.0	25.0	60.0
0.23	20.0	50.0	23.5	57.0
0.24	21.0	52.0	24.0	55.0
0.25	22.0	52.0	23.5	51.0
0.26	22.0	55.0	21.0	50.0
0.27	20.0	52.0	21.0	54.0
0.28	23.0	55.0	20.0	48.0
0.29	21.0	52.0	19.5	45.0
0.30	18.0	45.0	18.5	42.5
0.31	16.5	40.0	19.0	42.0
0.32	15.0	35.0	18.0	39.0

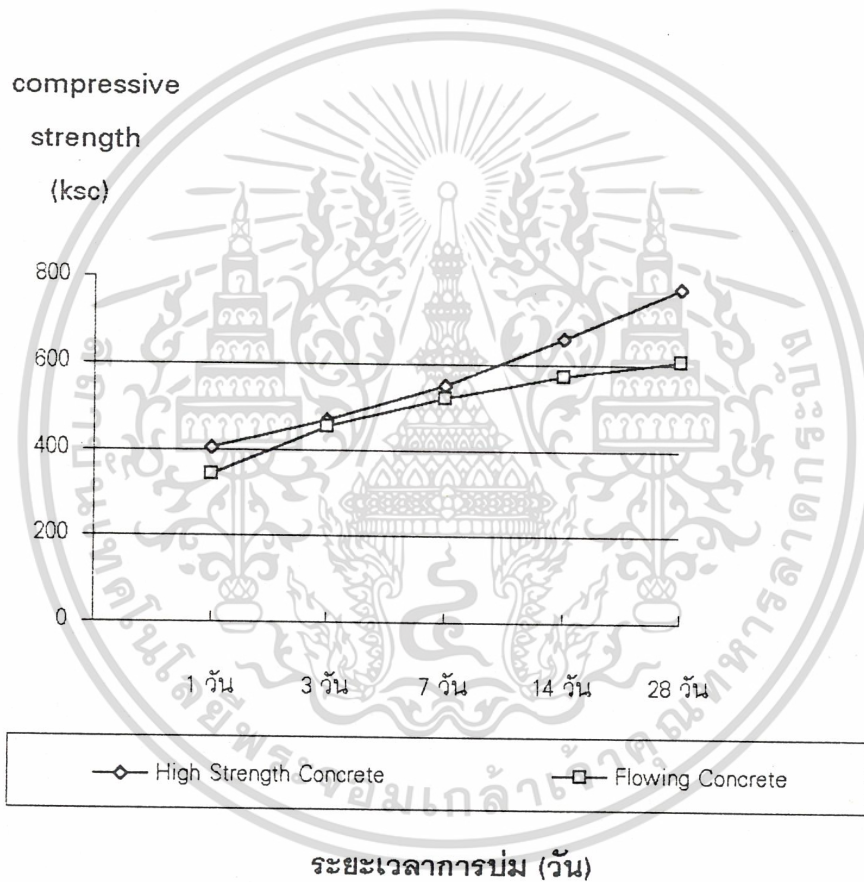
หมายเหตุ : ตารางสรุปมาจากตารางที่ 6.1-6.22

รูปที่ 6.1 รูปกราฟแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.22



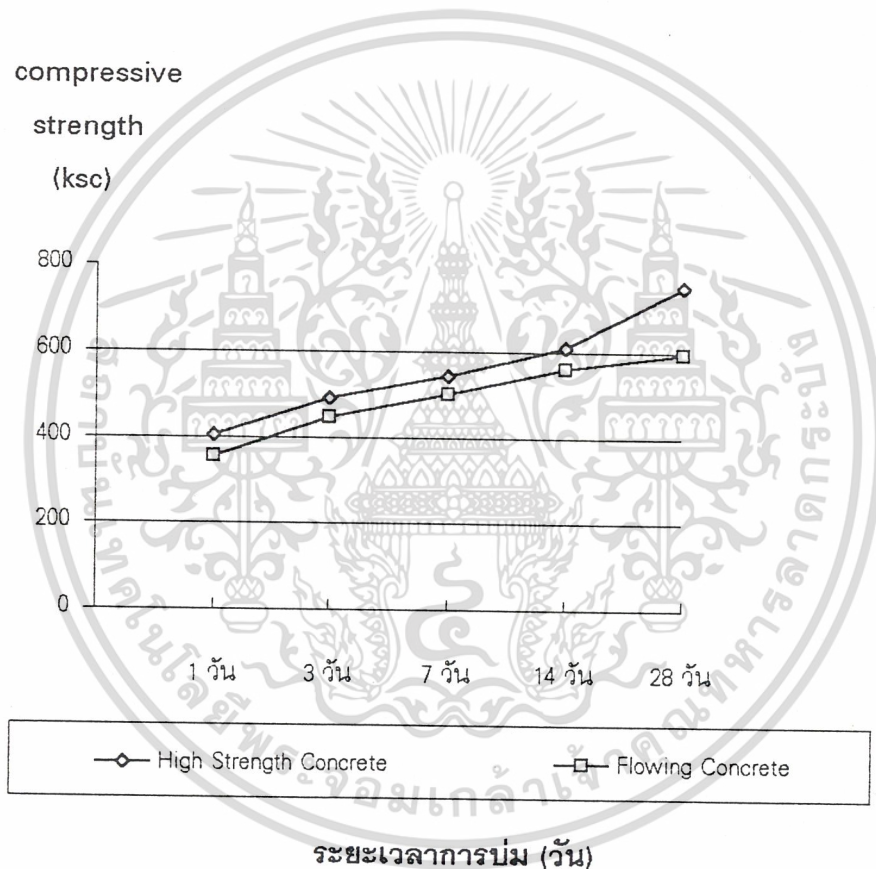
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.2 รูปกราฟแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.23



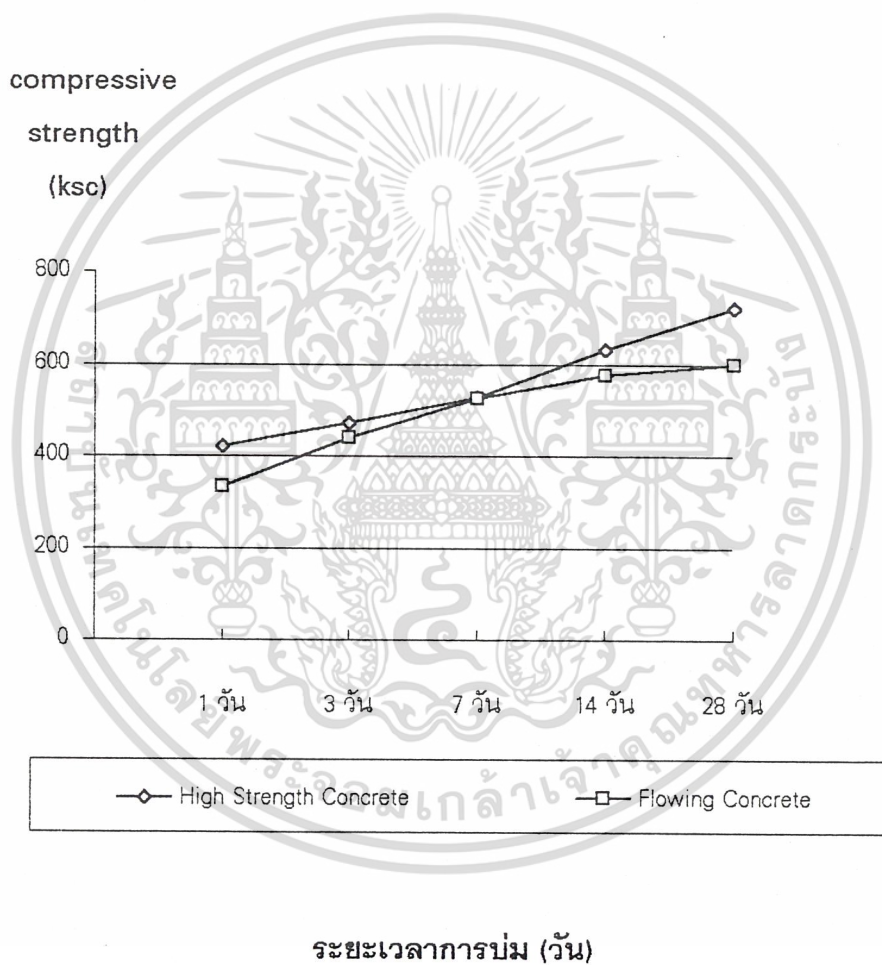
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.3 รูปกราฟแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.24



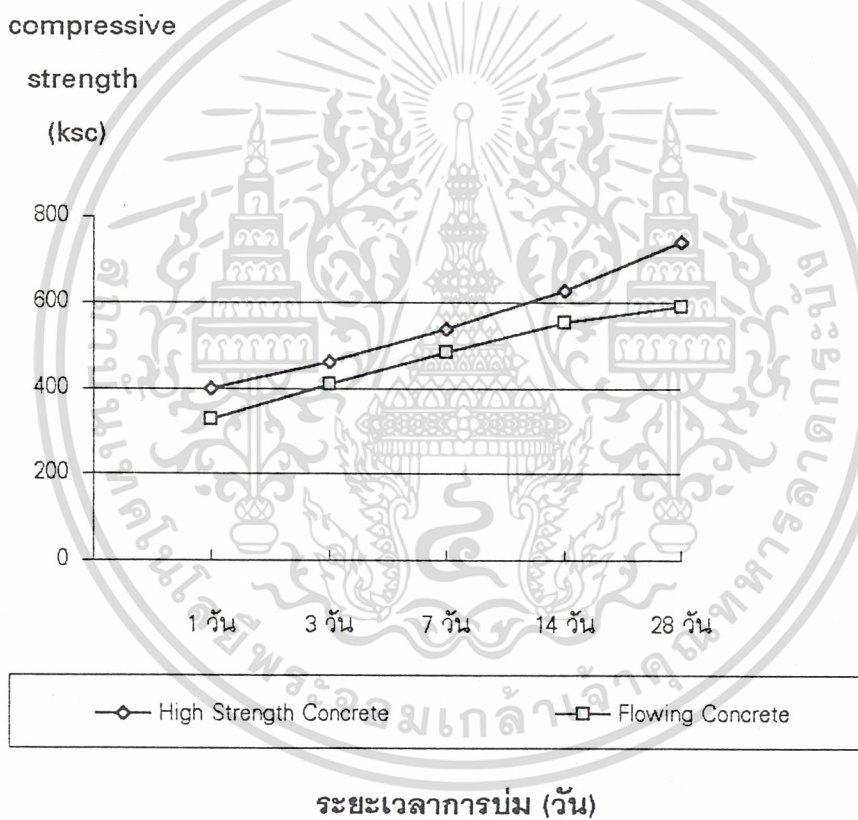
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.4 รูปกราฟแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.25



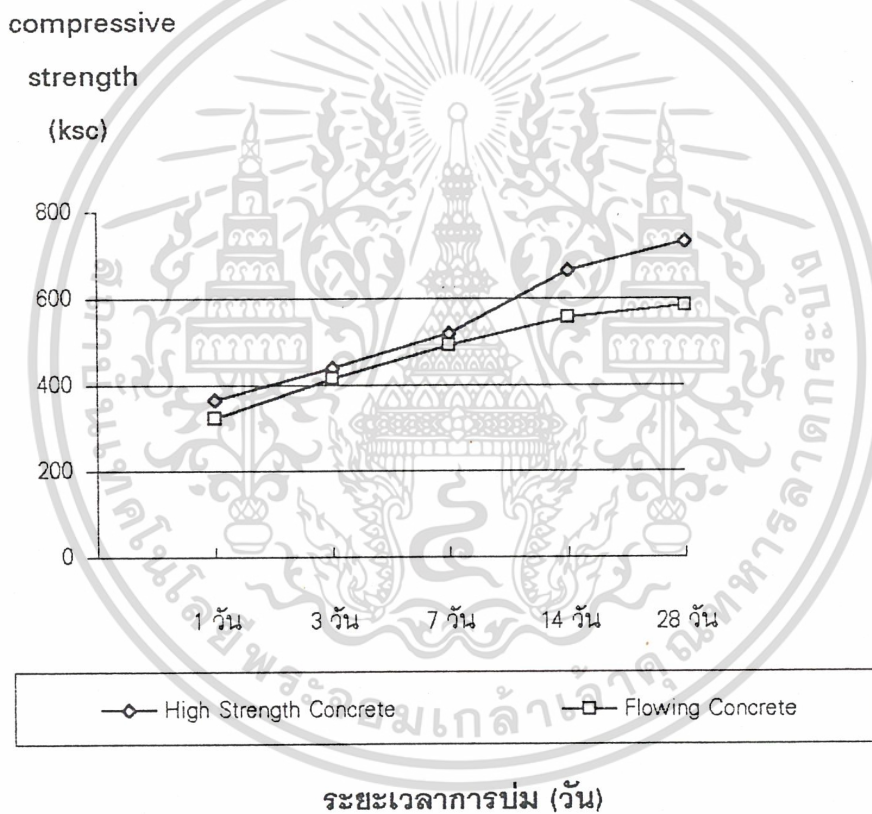
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.5 รูปกราฟแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.26



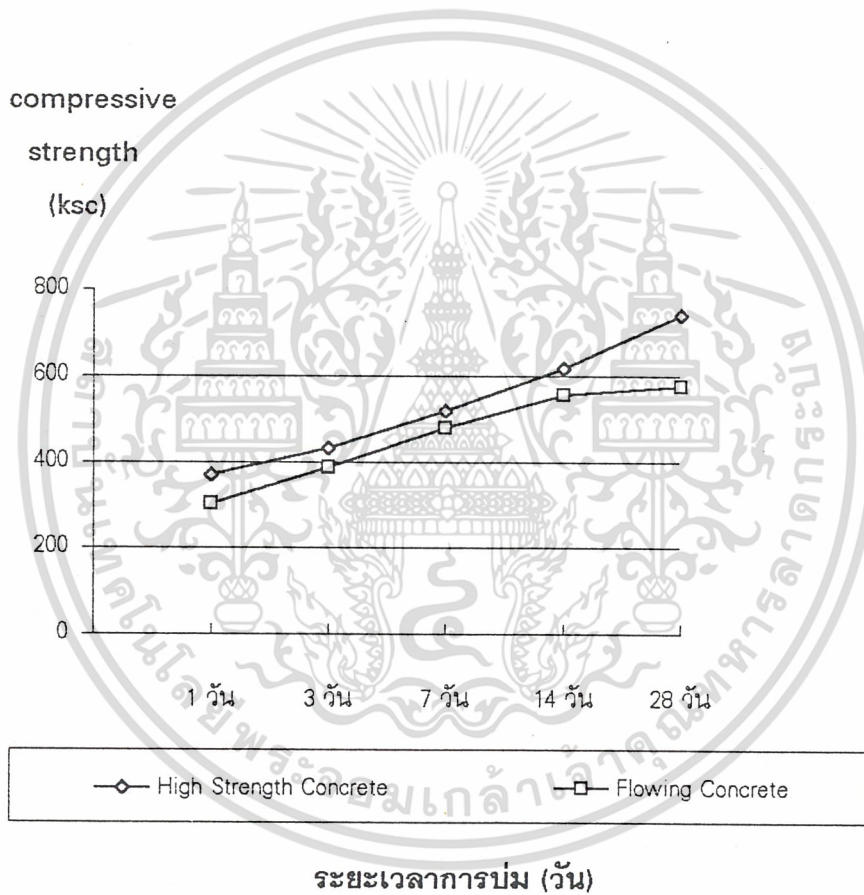
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.6 รูปกราฟแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.27



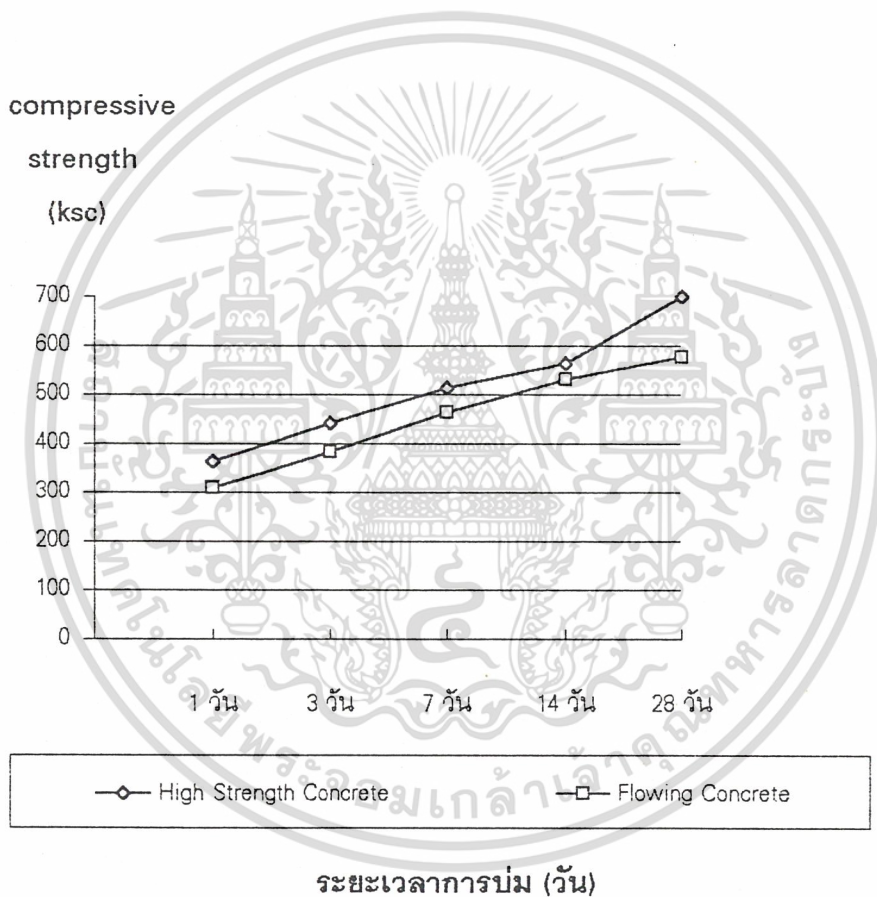
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.7 รูปกราฟแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.28



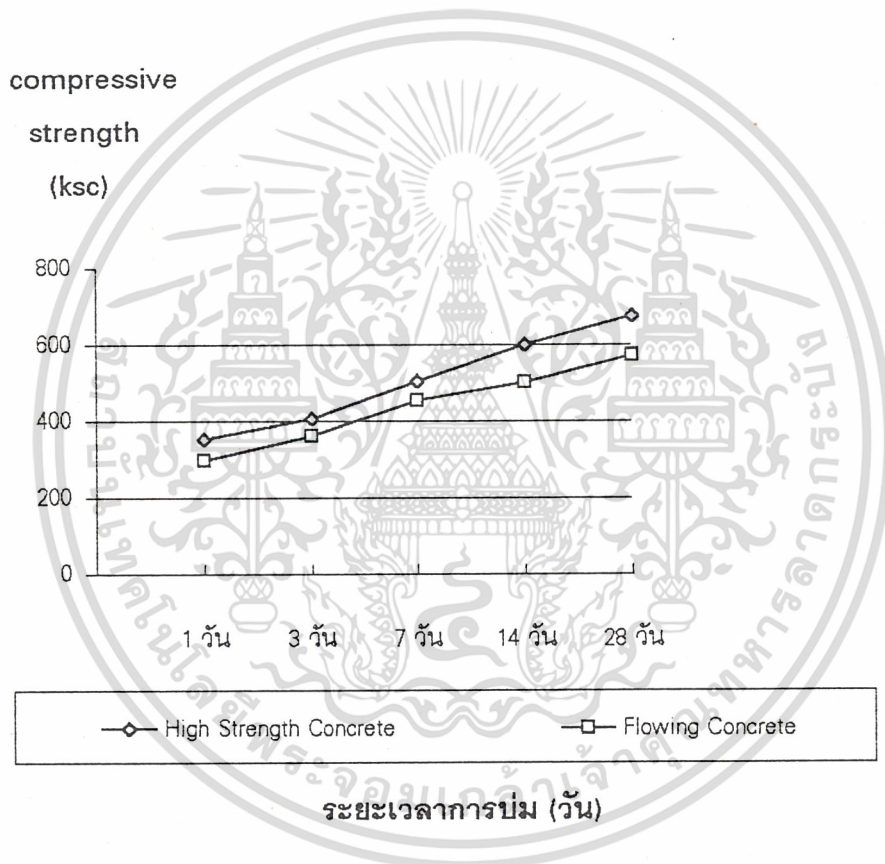
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.8 รูปกราฟแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.29



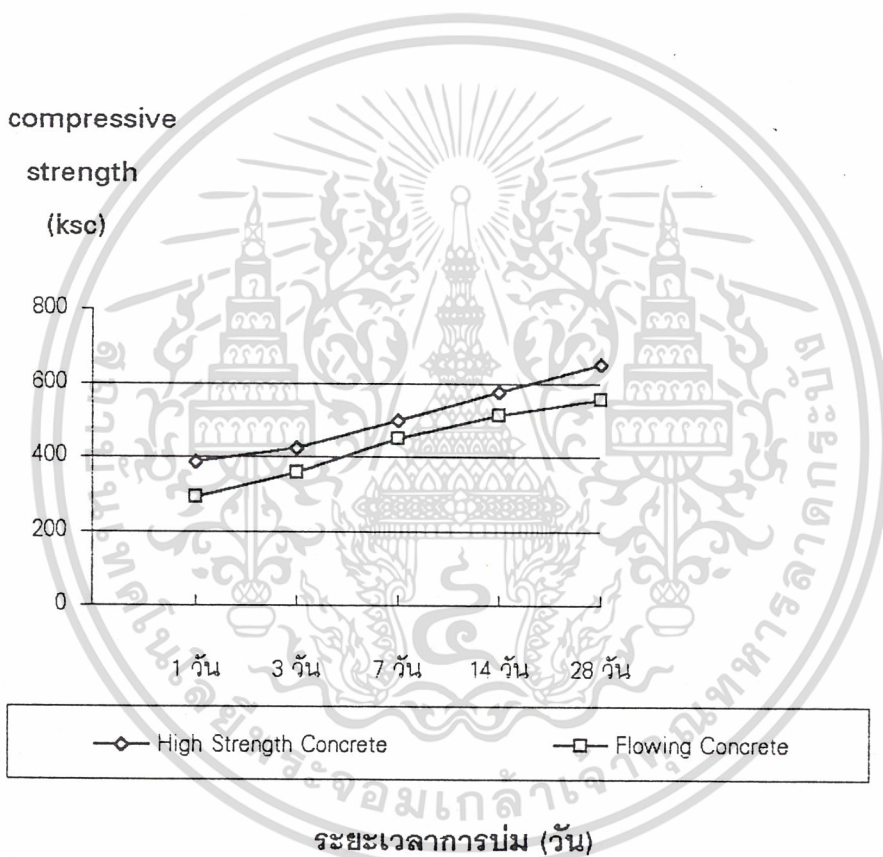
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.9 รูปกราฟแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.30



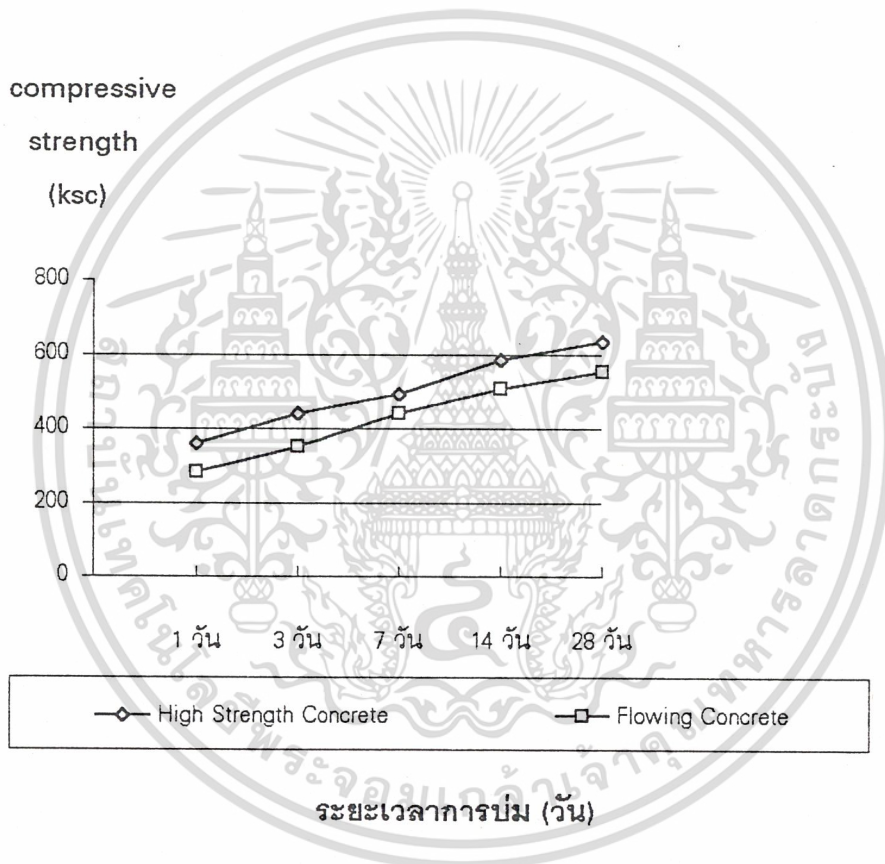
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.10 รูปกราฟแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.31



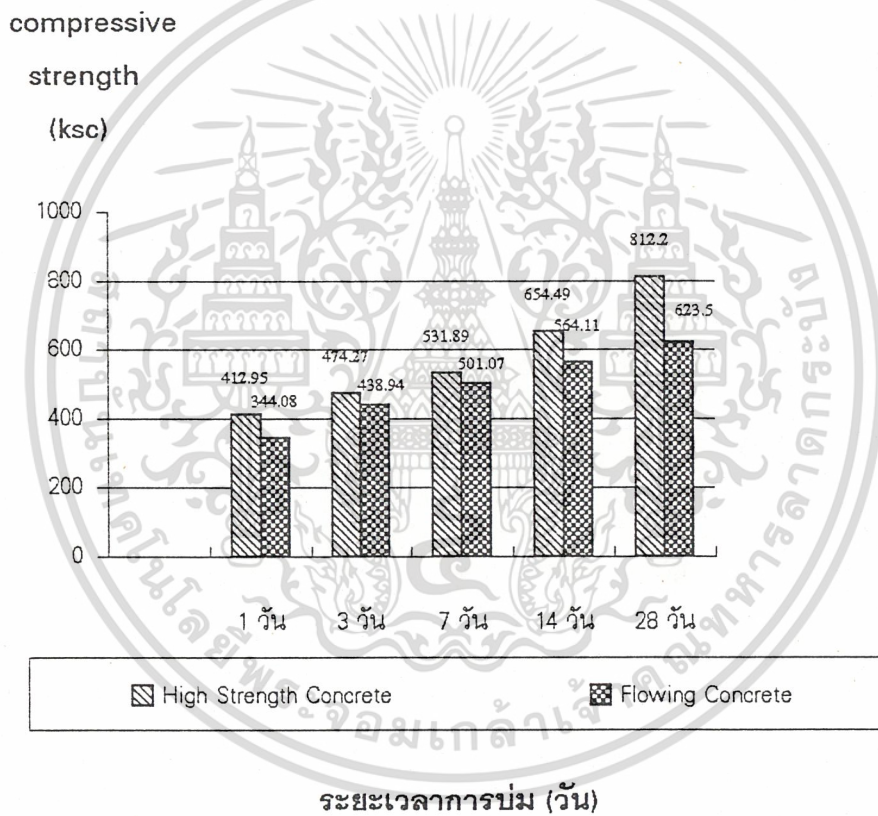
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.11 รูปกราฟแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.32



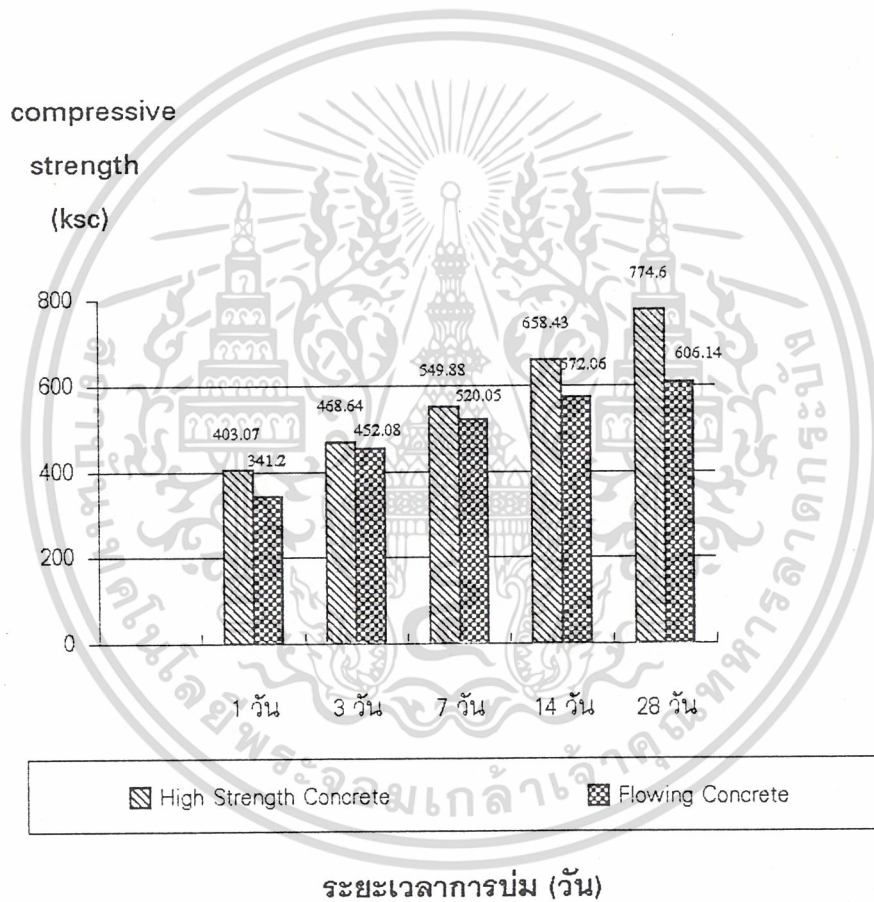
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.12 รูปแผนภูมิแท่งแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.22



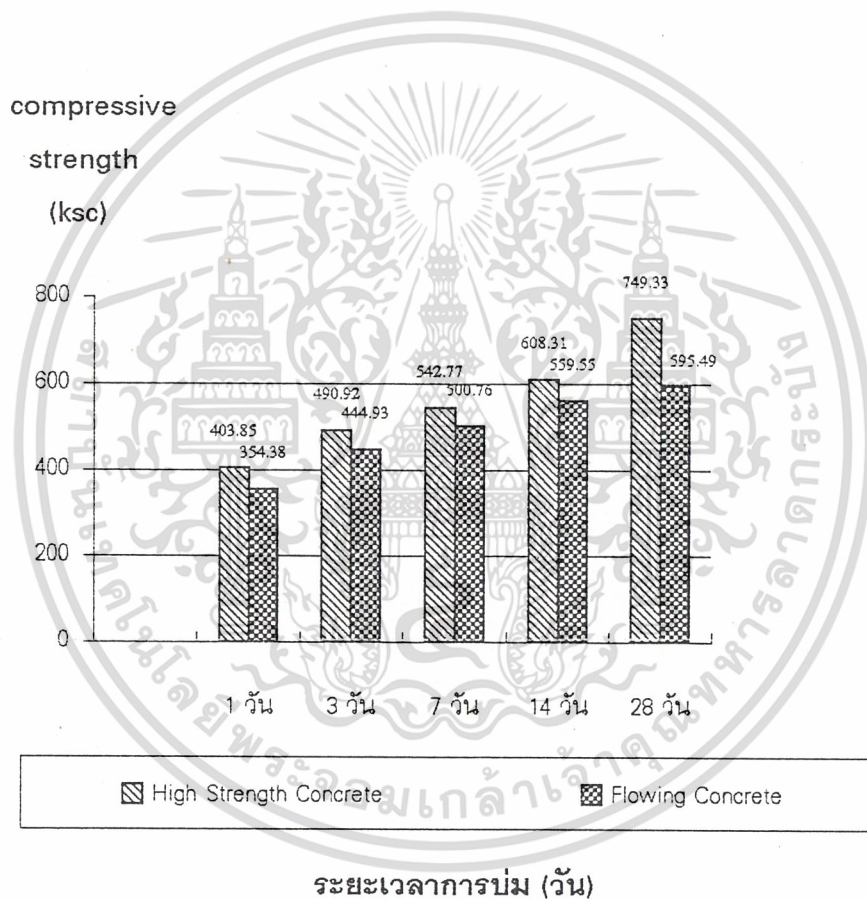
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.13 รูปแผนภูมิแท่งแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.23



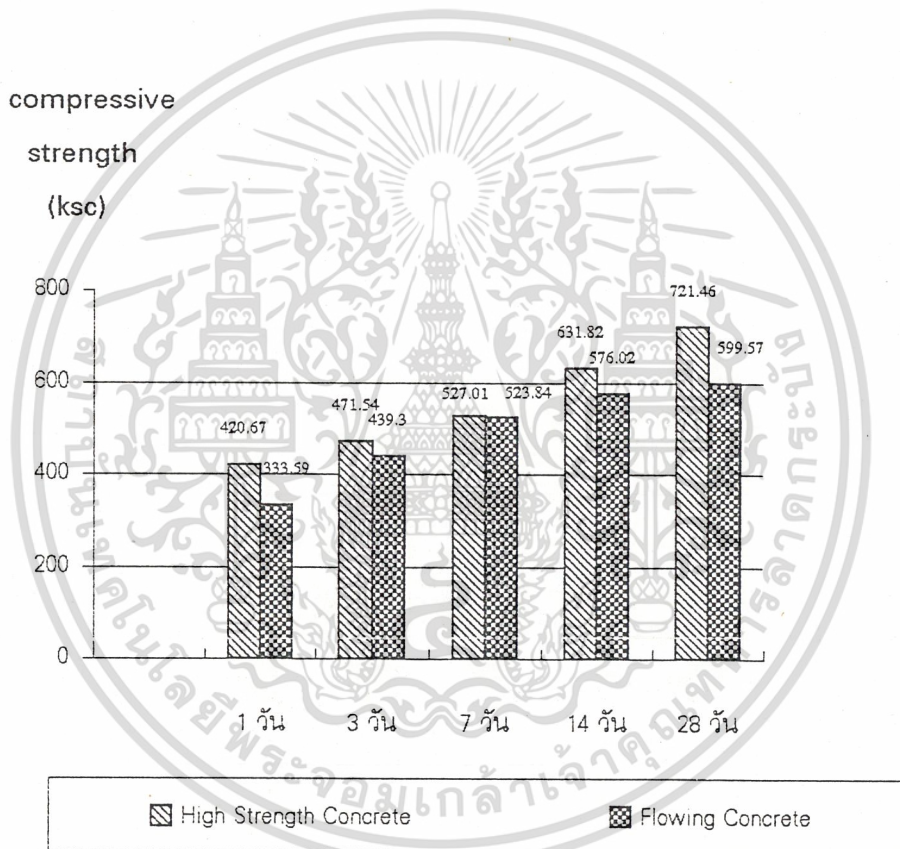
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.14 รูปแผนภูมิแท่งแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

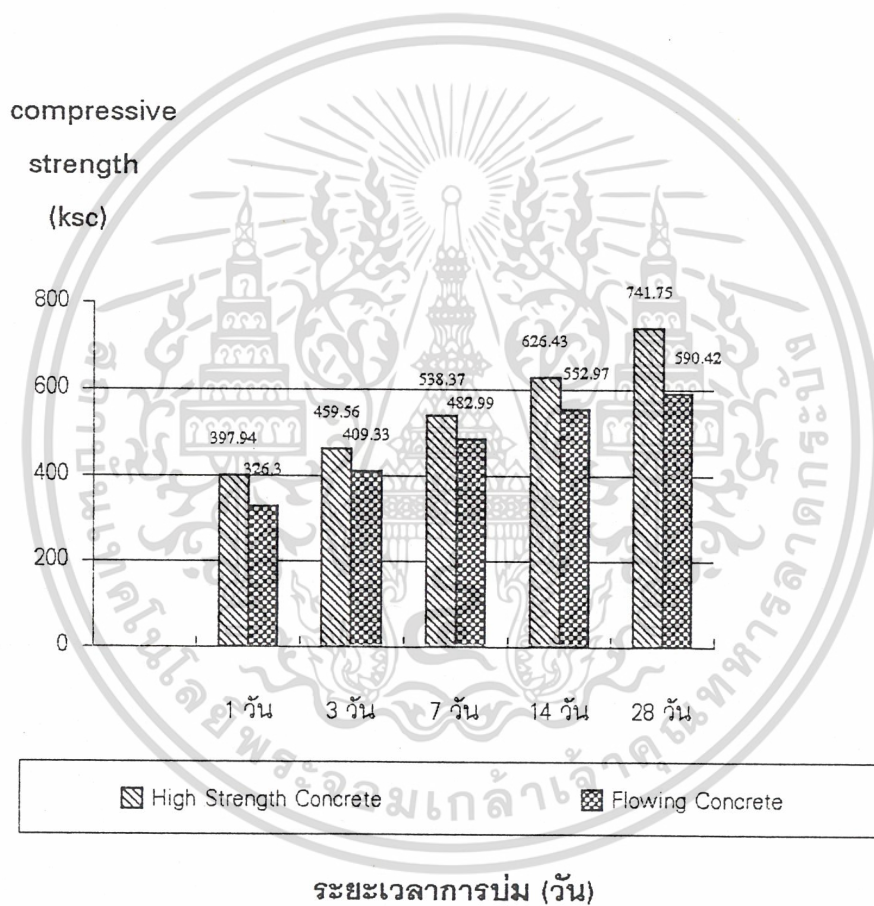
รูปที่ 6.15 รูปแผนภูมิแท่งแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.25



ระยะเวลาการบ่ม (วัน)

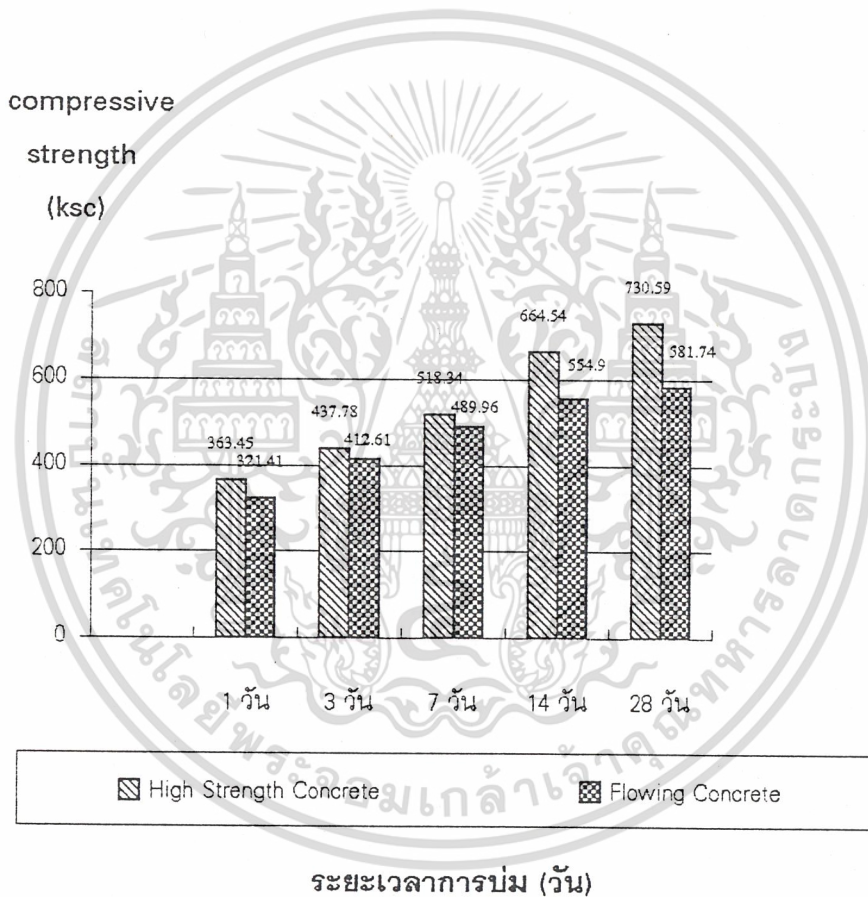
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.16 รูปแผนภูมิแท่งแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.26



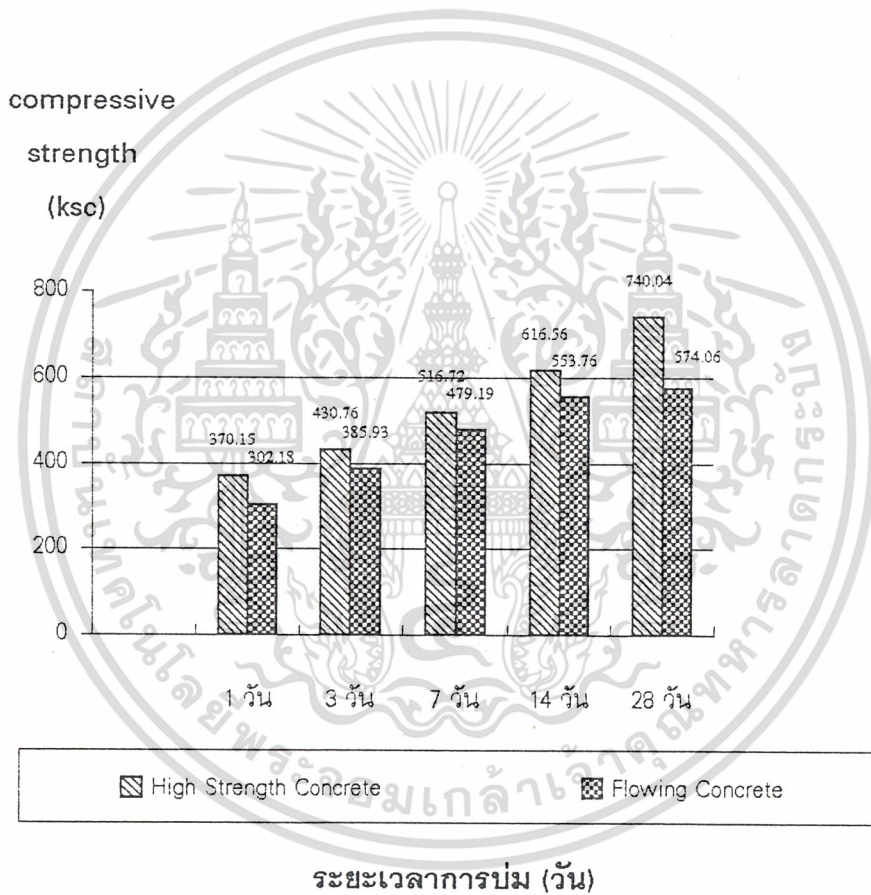
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.17 รูปแผนภูมิแท่งแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.27



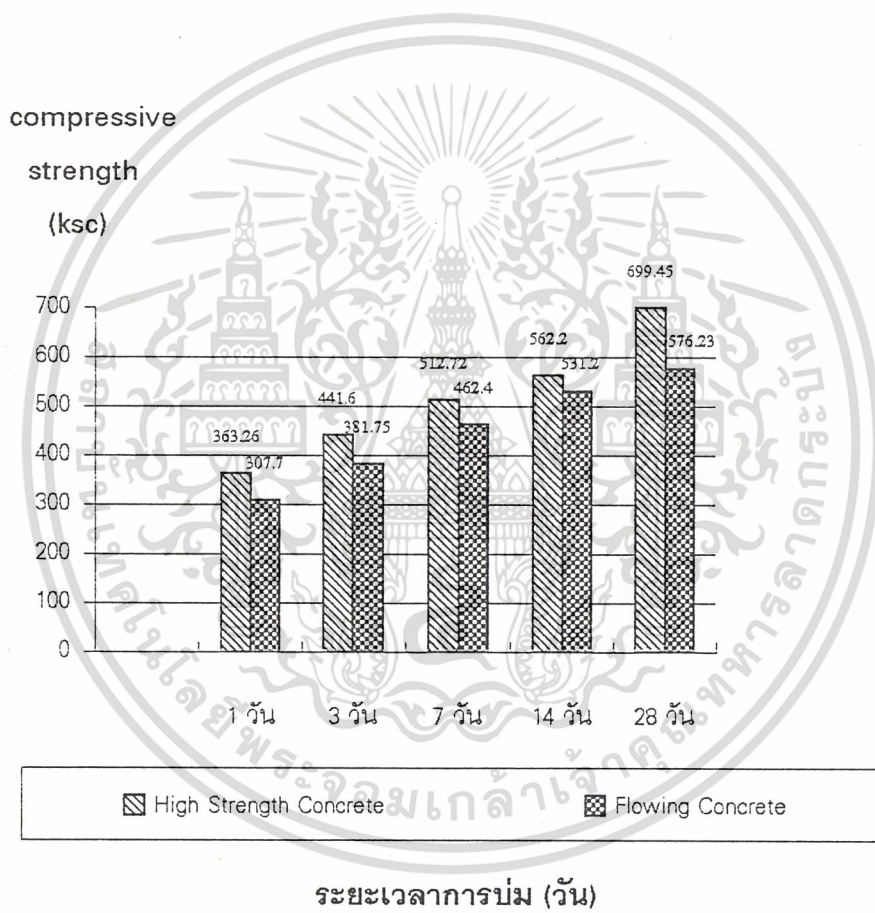
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.18 รูปแผนภูมิแท่งแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.28



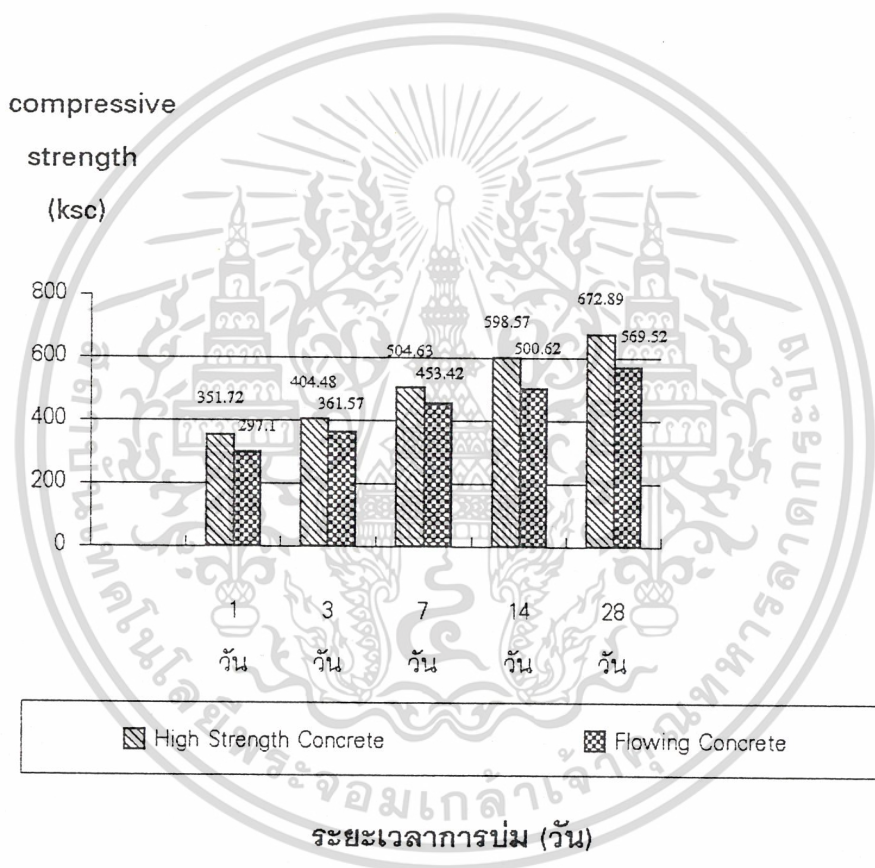
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.19 รูปแผนภูมิแท่งแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.29



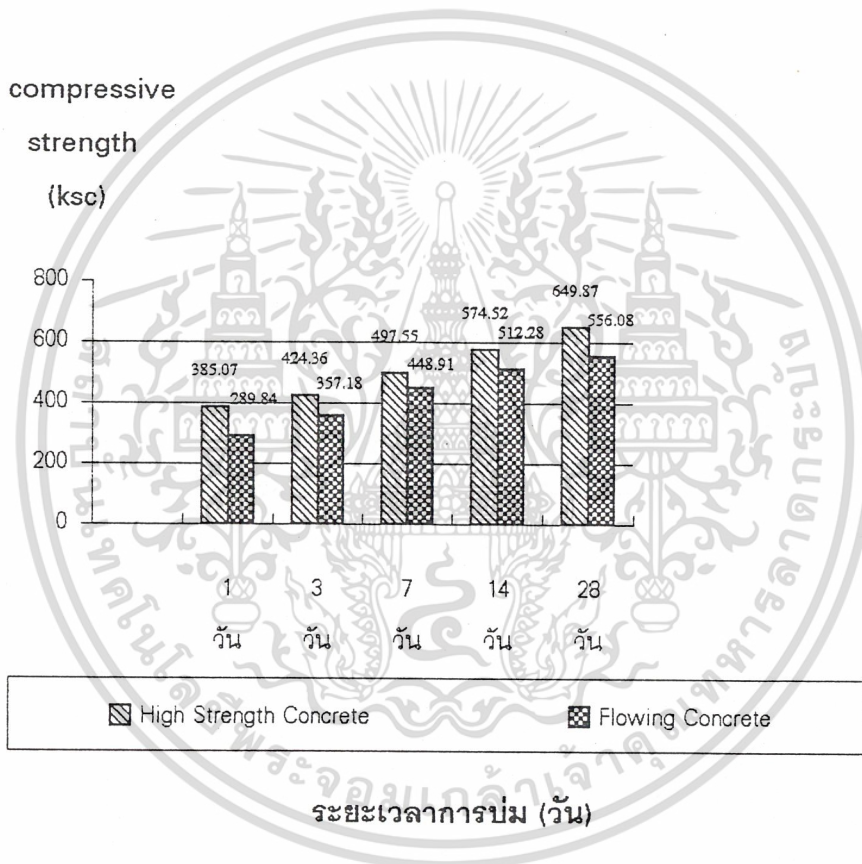
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.20 รูปกราฟแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.30



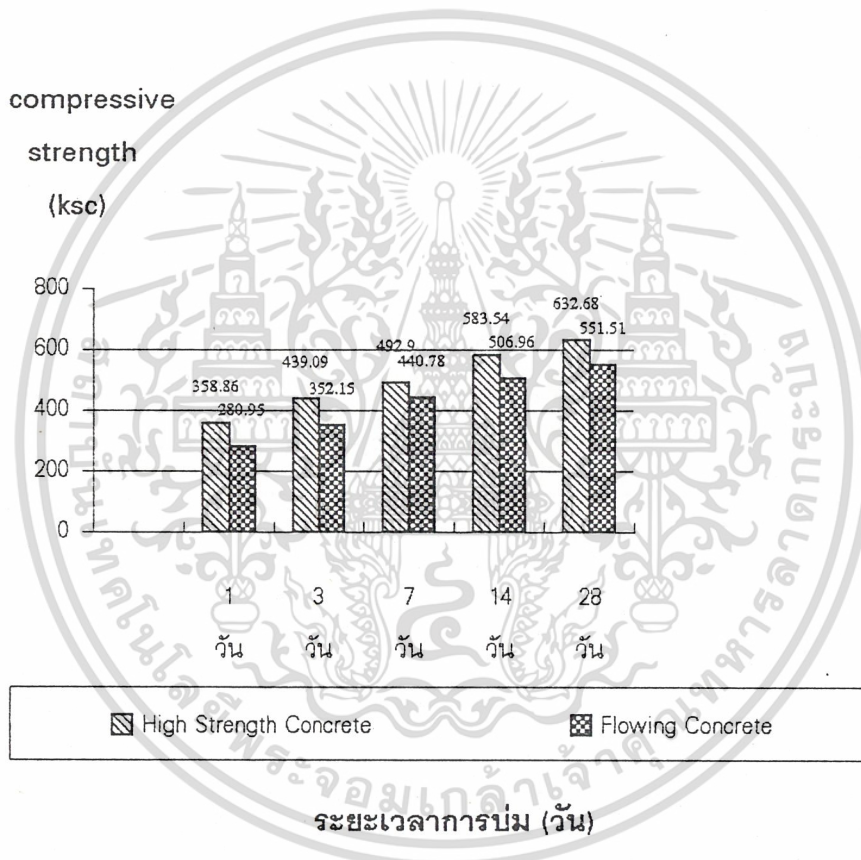
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.21 รูปแผนภูมิแท่งแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.31



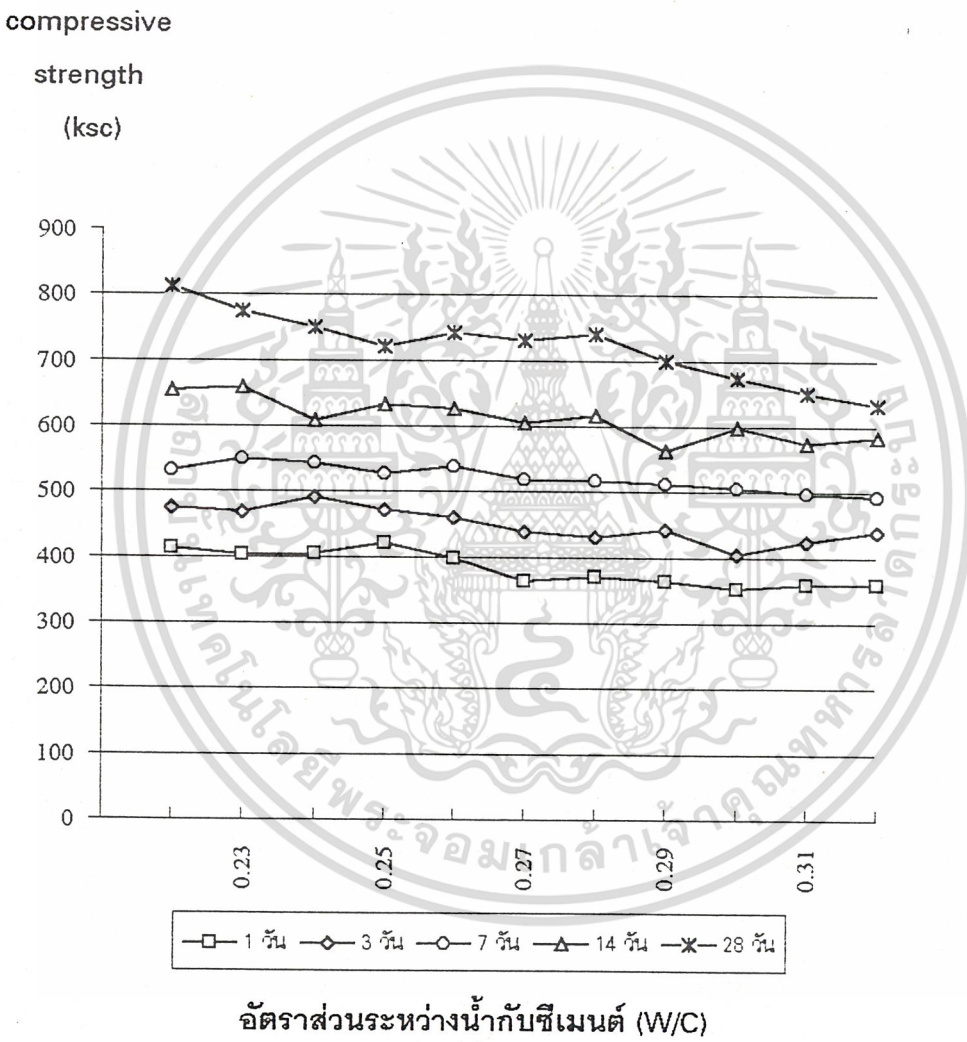
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.22 รูปแผนภูมิแท่งแสดงค่ากำลังอัดระหว่าง High Strength Concrete และ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

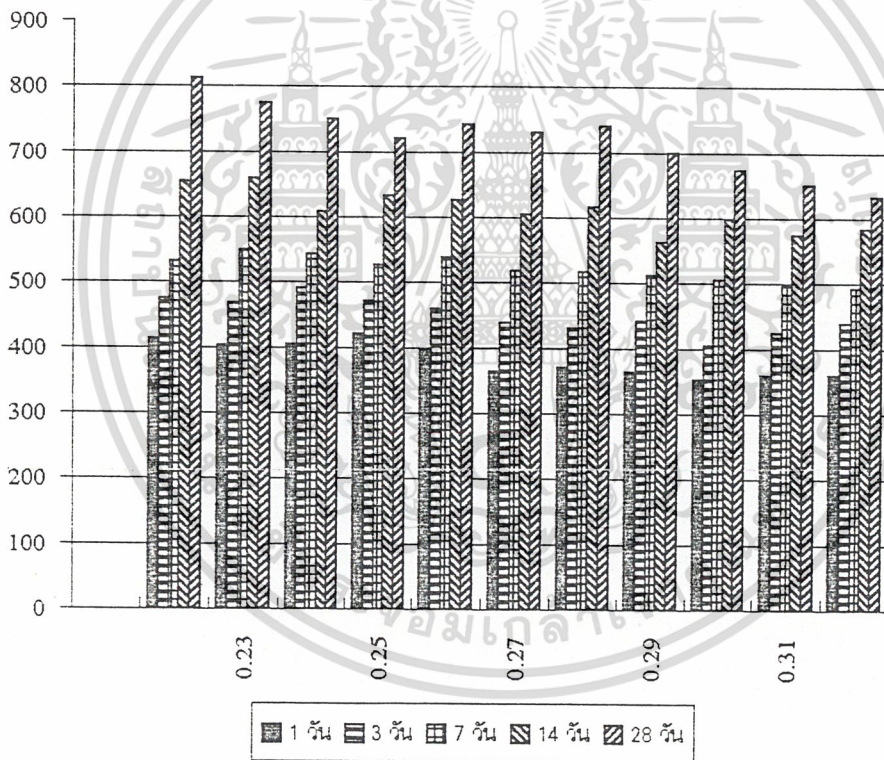
รูปที่ 6.23 รูปกราฟแสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของ High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.24 รูปแผนภูมิแท่งแสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของ High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ

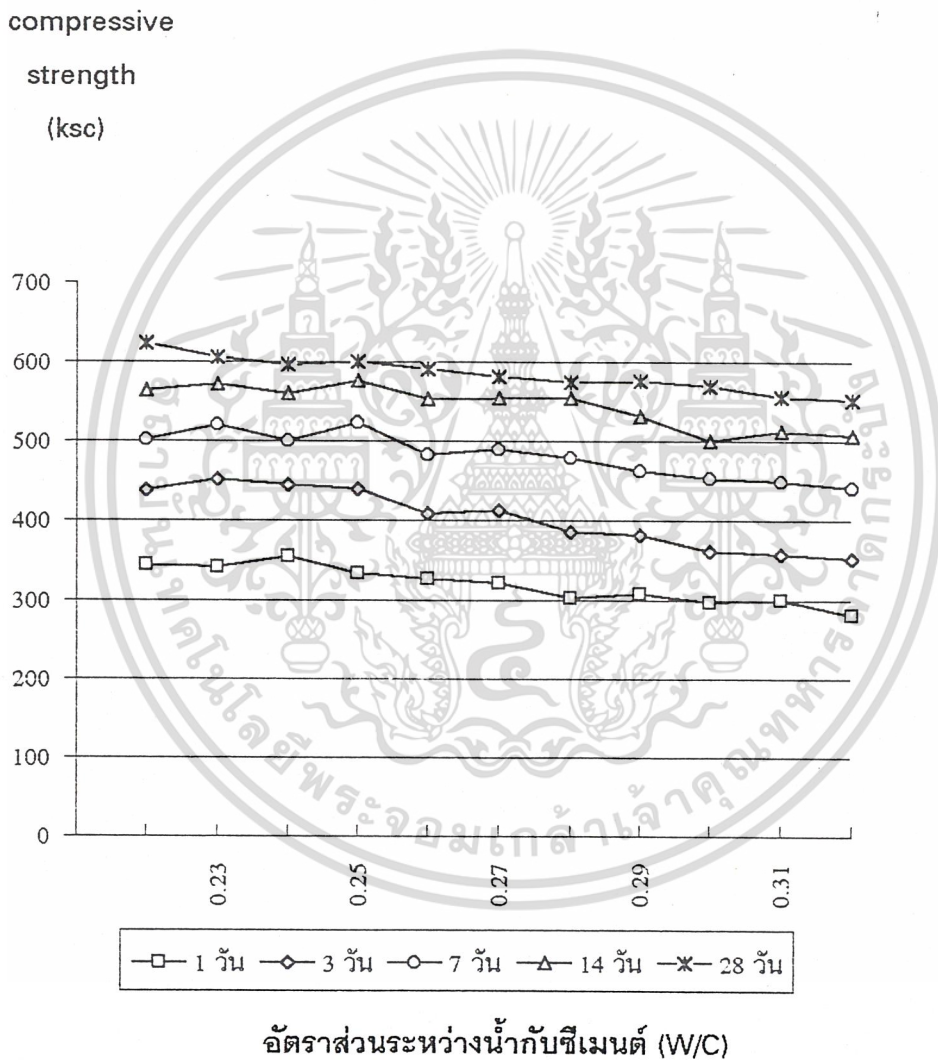
compressive  
strength  
(ksc)



อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ (W/C)

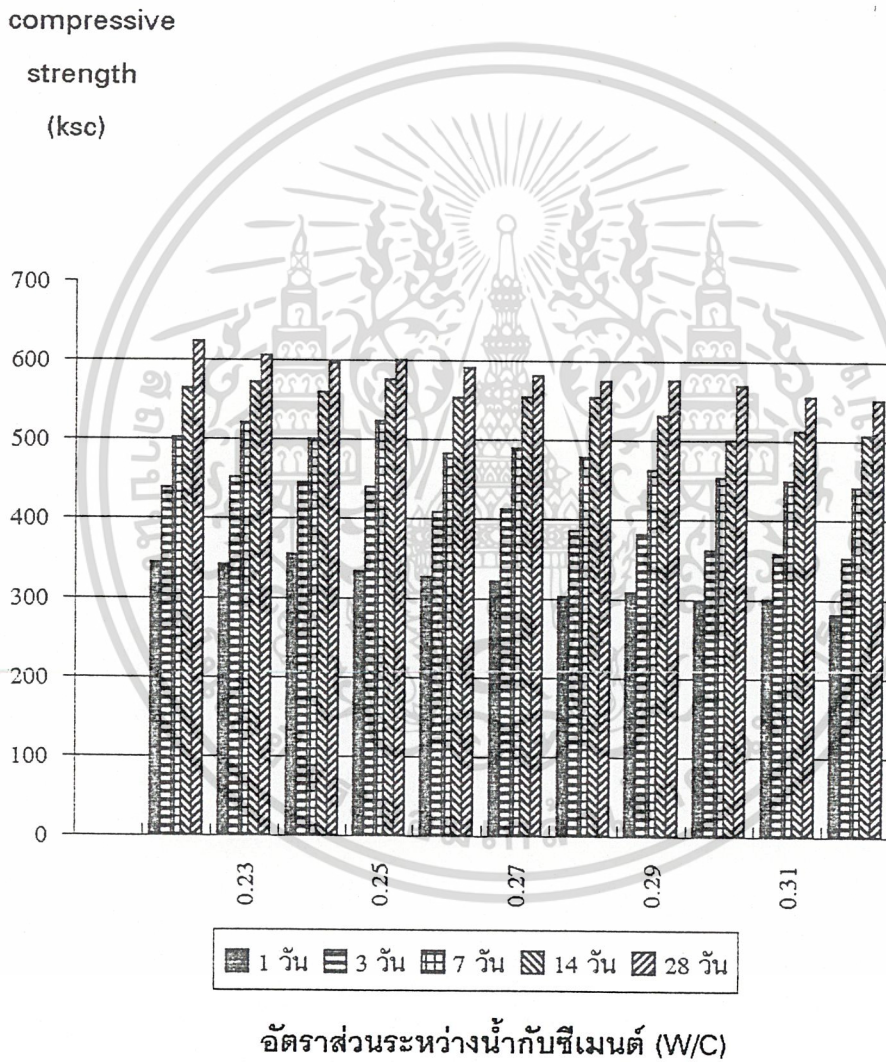
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.25 รูปกราฟแสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.26 รูปแผนภูมิแท่งแสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของ Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ค่าต่างๆ

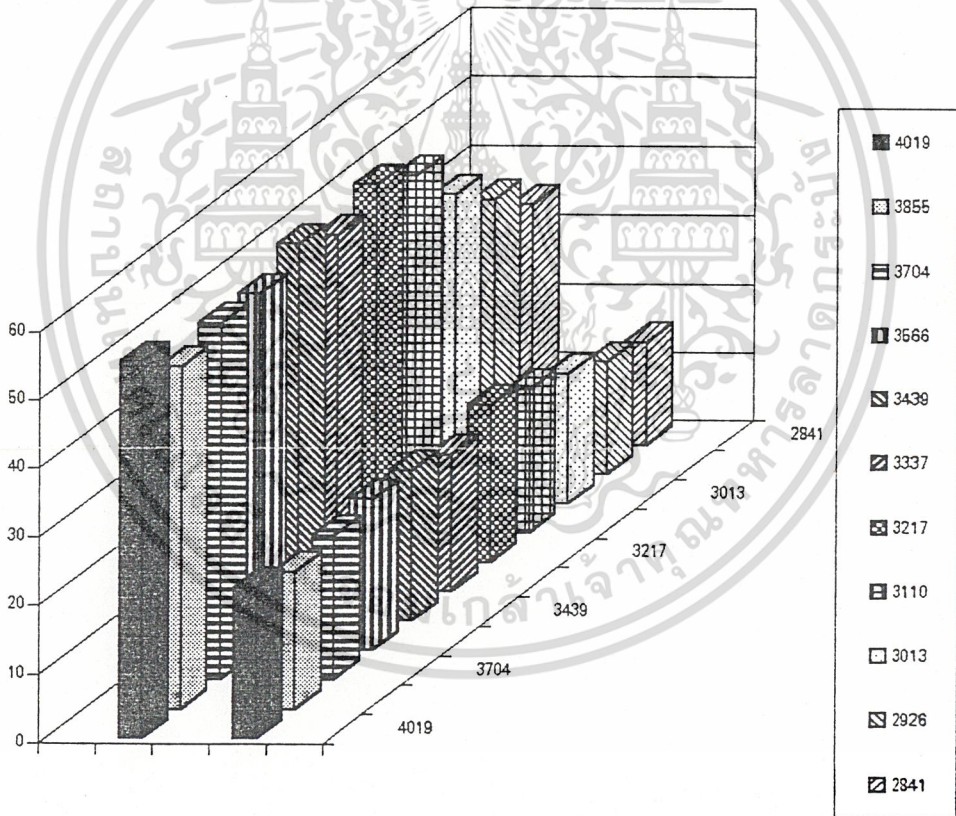


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.27 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างราคากับค่าการยุบตัวและค่าการไหลตัวของ High Strength Concrete

เซนติเมตร

ราคา(บาท)

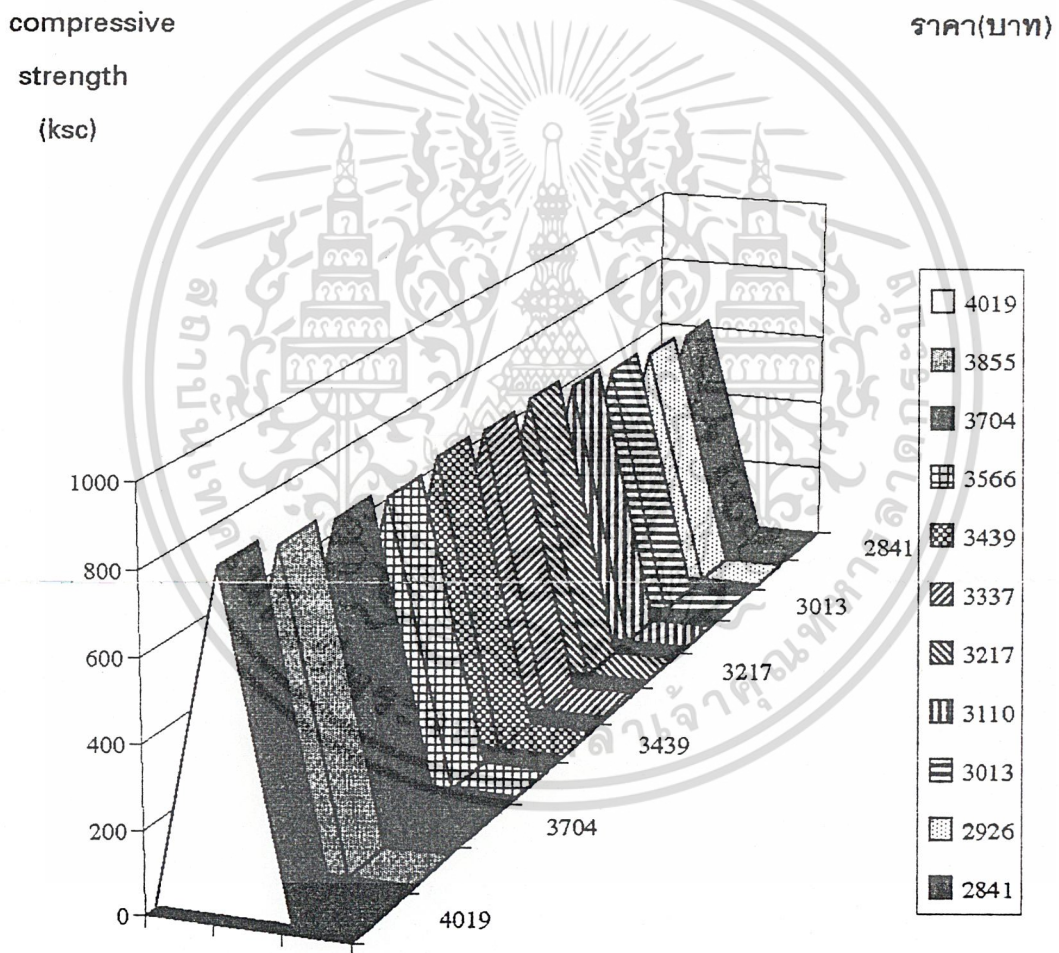


ค่าการ  
ไหลตัว

ค่าการ  
ยุบตัว

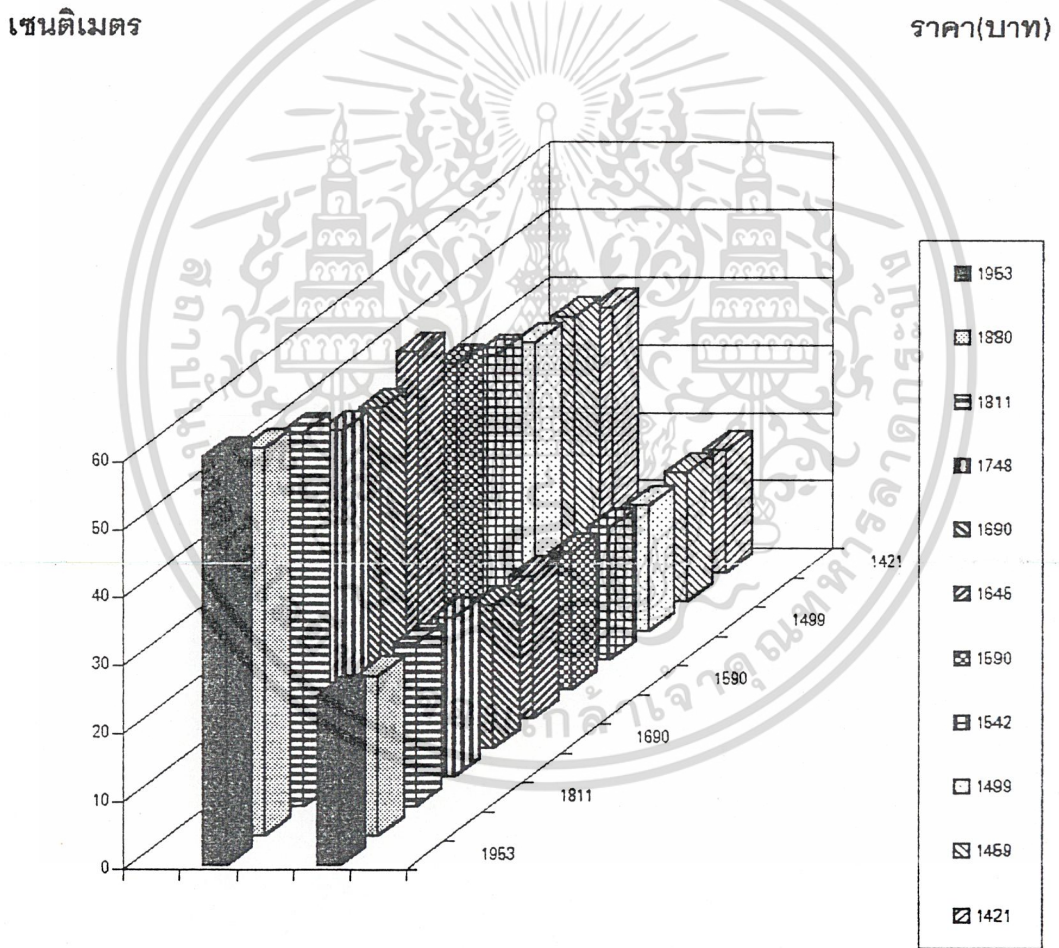
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.28 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างราคากับค่ากำลังรับแรงอัด High Strength Concrete



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.29 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างราคากับค่าการยุบตัวและค่าการไหลตัวของ Flowing Concrete

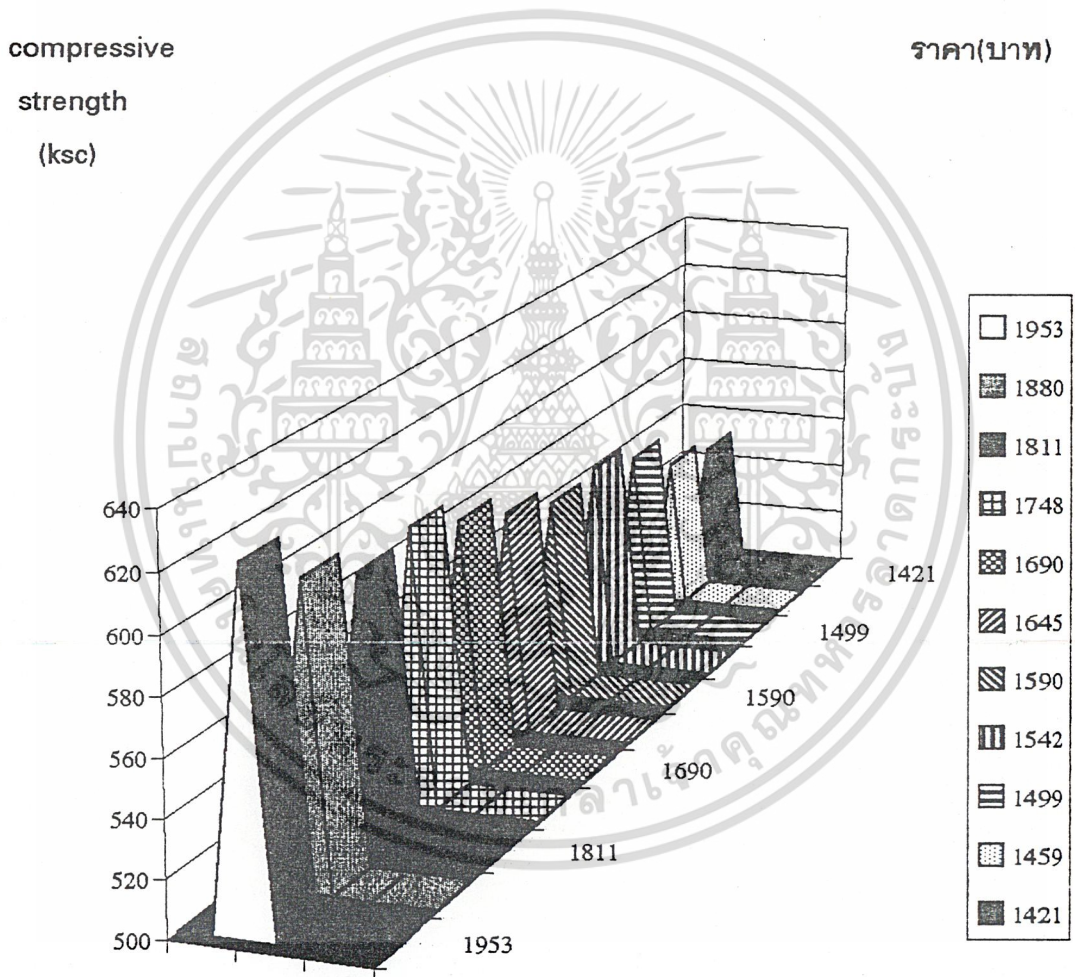


ค่าการ  
ไหลตัว

ค่าการ  
ยุบตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.30 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างราคากับค่ากำลังรับแรงอัด Flowing Concrete

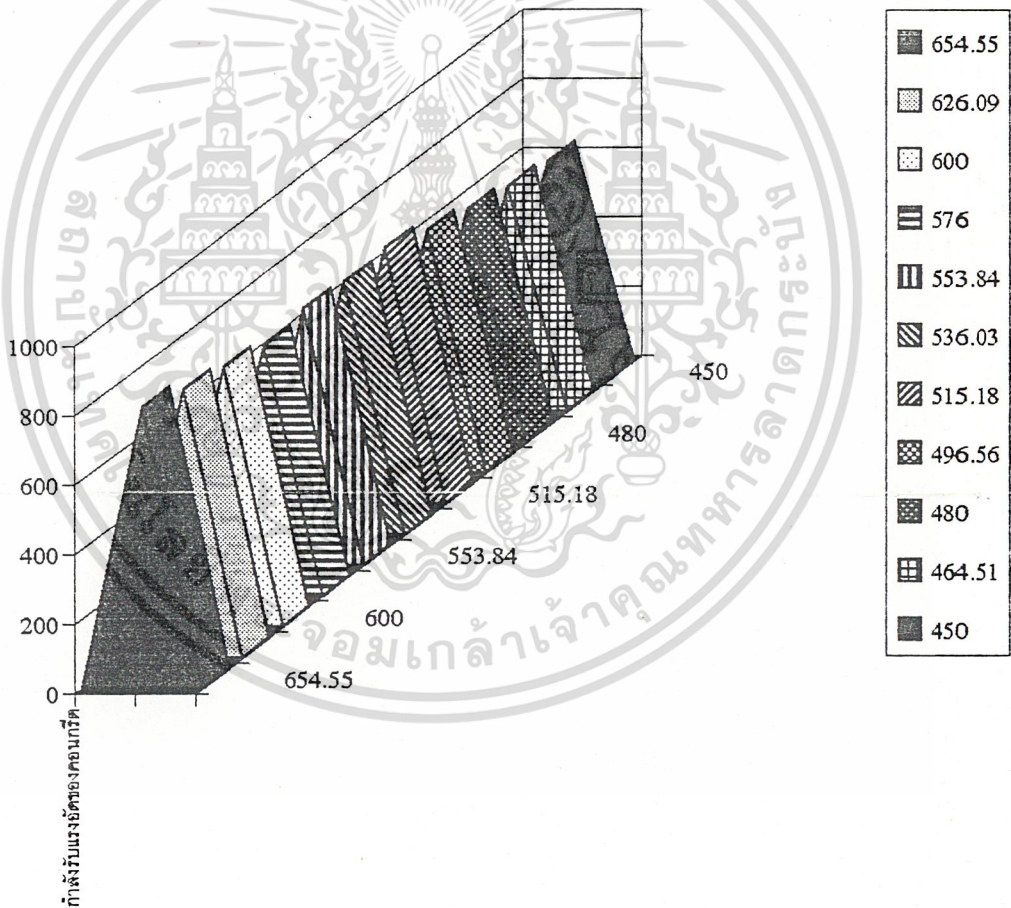


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.31 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณซีเมนต์กับค่ากำลังรับแรงอัดของ High Strength Concrete

compressive strength (ksc)

ซีเมนต์ต่อคอนกรีต 1 ม<sup>3</sup> ( Kg )

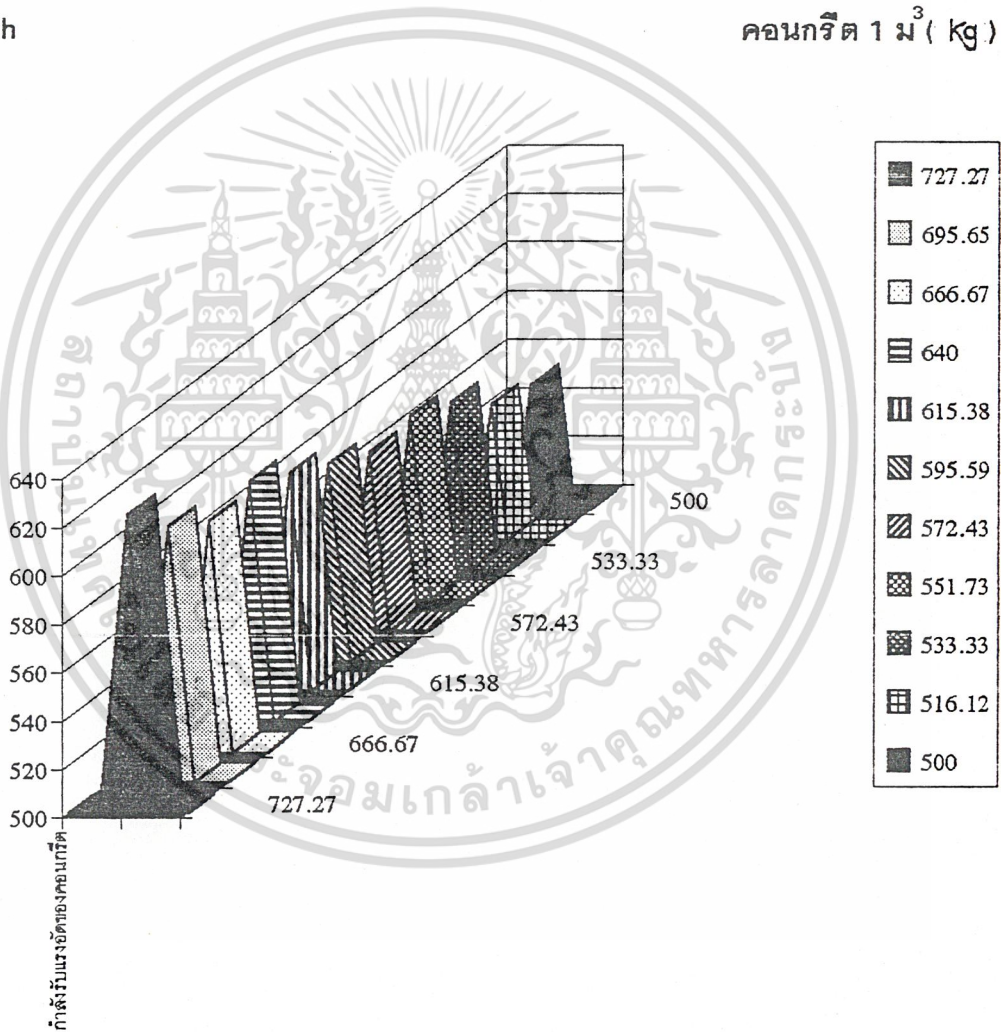


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.32 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณซีเมนต์กับค่ากำลังรับแรงอัดของ Flowing Concrete

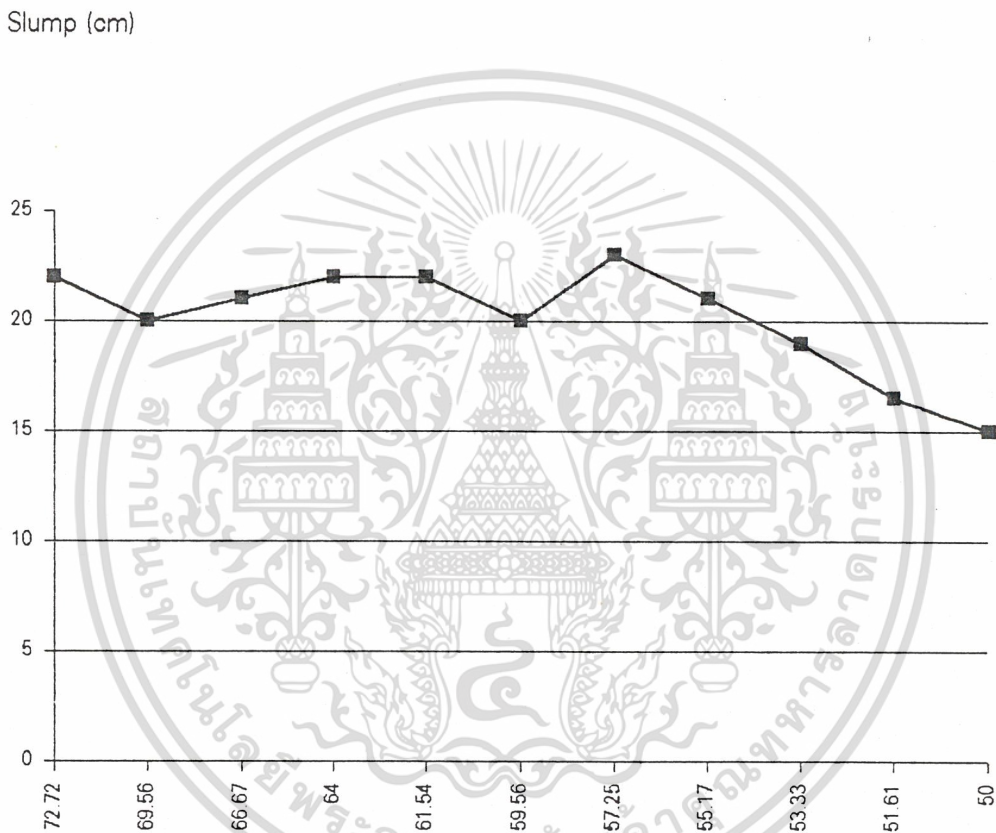
compressive strength (ksc)

ซีเมนต์ต่อคอนกรีต 1 ม<sup>3</sup> ( Kg )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.33 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสารไมโครซิลิกากับค่าการยุบตัว

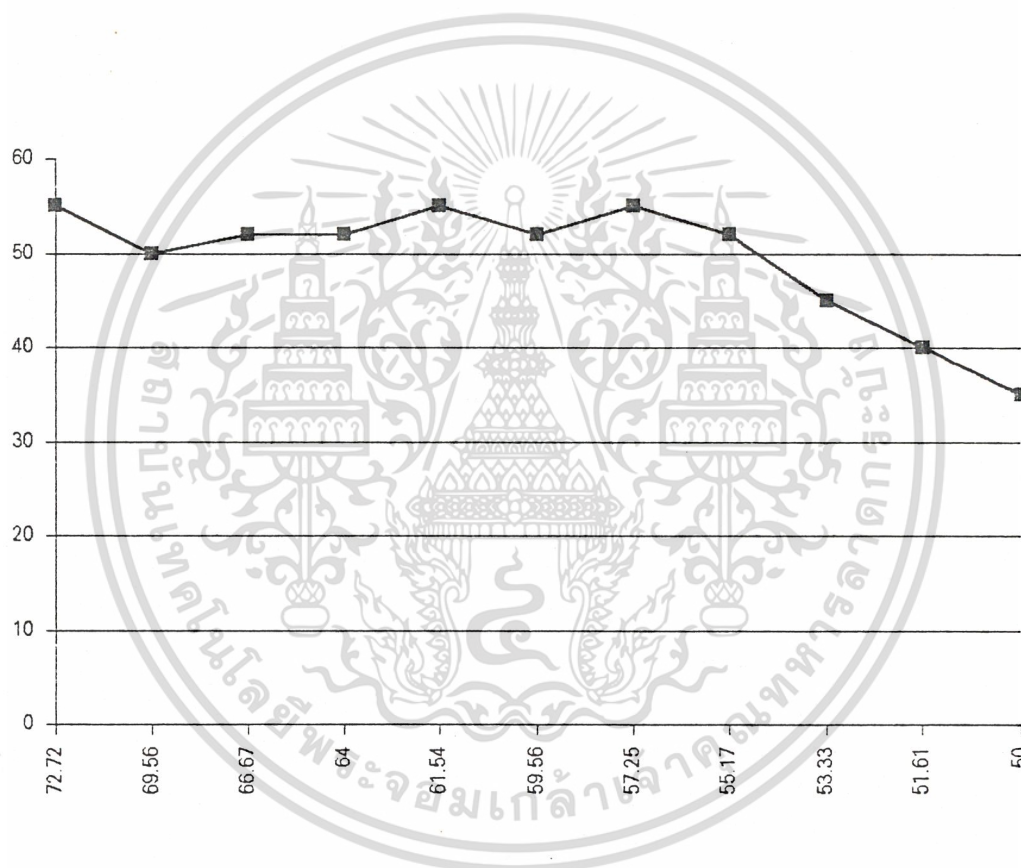


จำนวนสารไมโครซิลิกาในคอนกรีต 1 ม<sup>3</sup> (กก.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.34 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสารไมโครซิลิกากับค่าการไหลตัว

Flow Rate (cm)

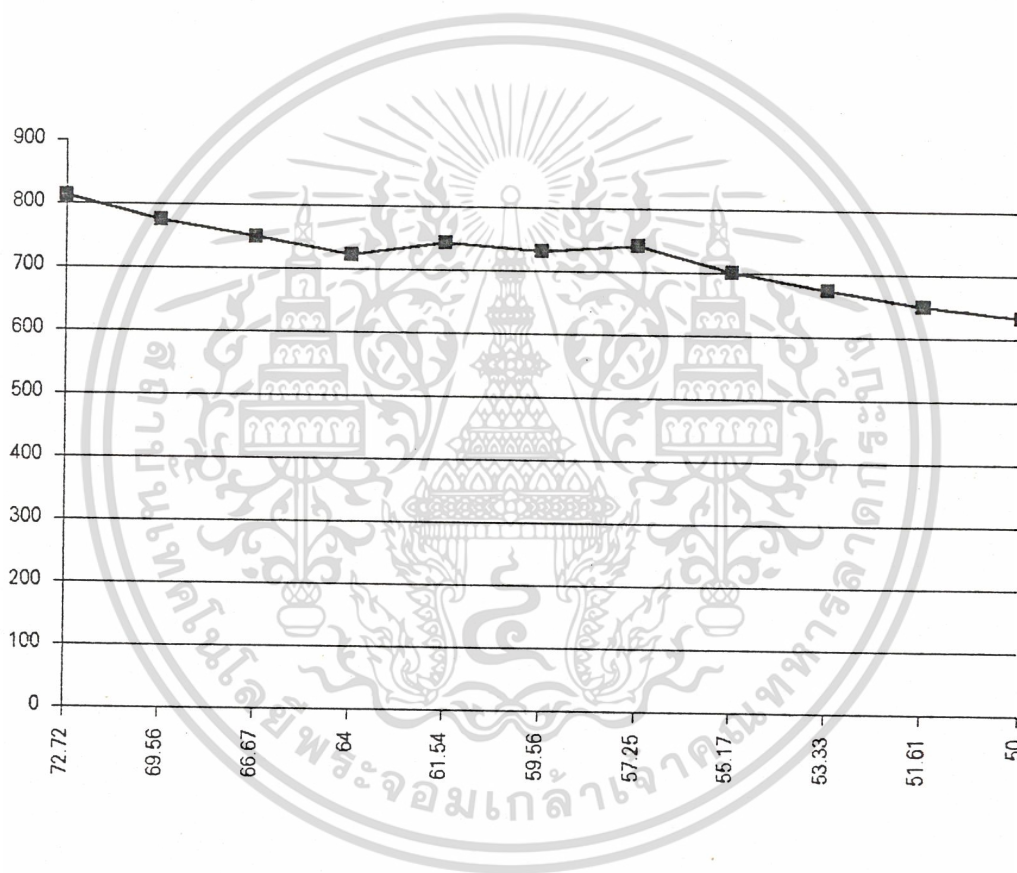


จำนวนสารไมโครซิลิกาในคอนกรีต 1 ม<sup>3</sup> (กก.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.35 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสารไมโครซิลิกากับค่าการรับแรงอัด

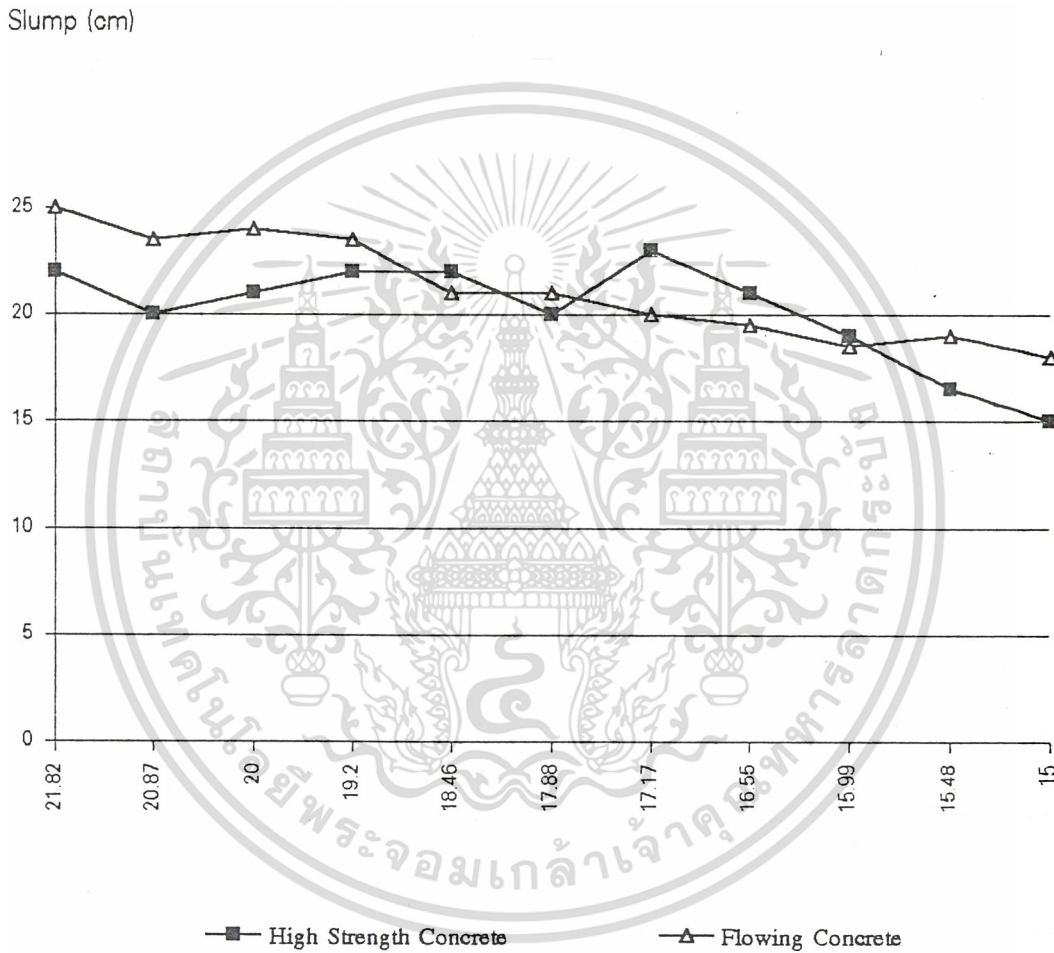
compressive strength (ksc)



จำนวนสารไมโครซิลิกาในคอนกรีต 1 ม<sup>3</sup> (กก.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

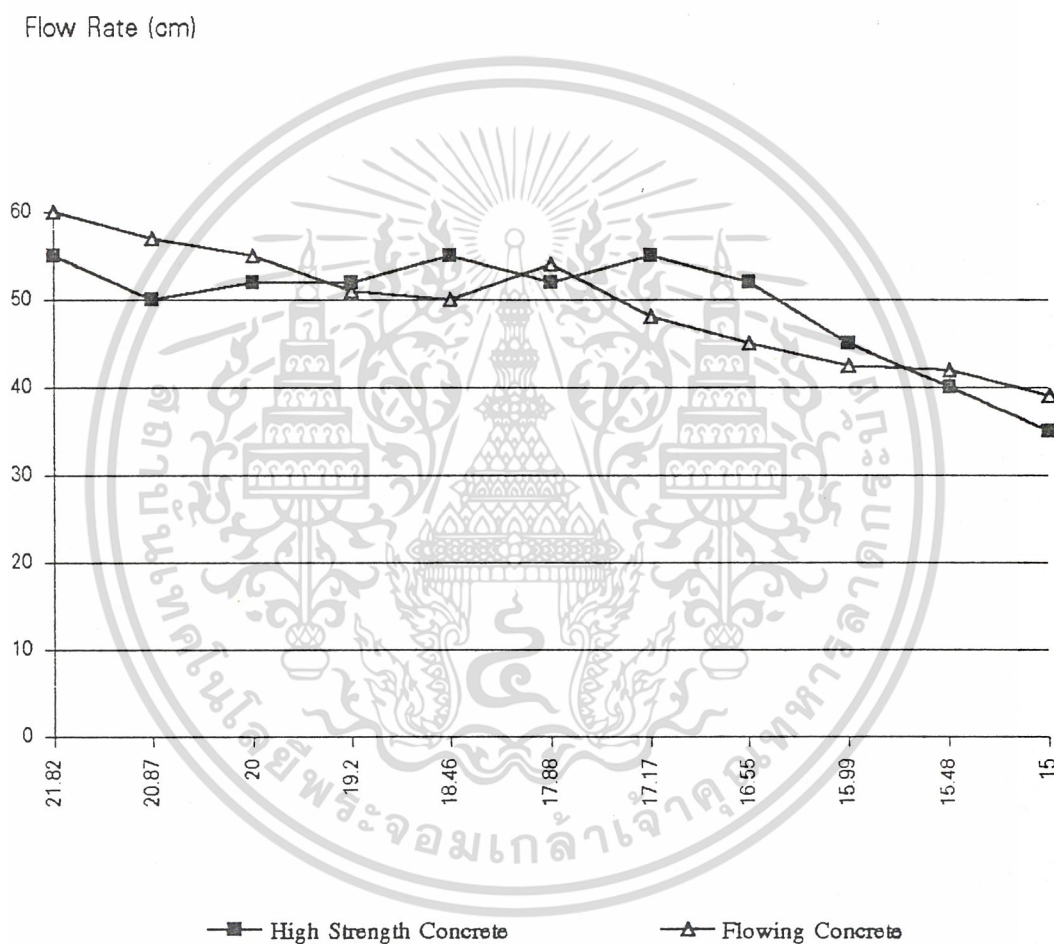
รูปที่ 6.36 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสารSuperplasticizerกับค่าการยุบตัว



จำนวนสารSuperplasticizerในคอนกรีต 1 ม<sup>3</sup> (กก.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

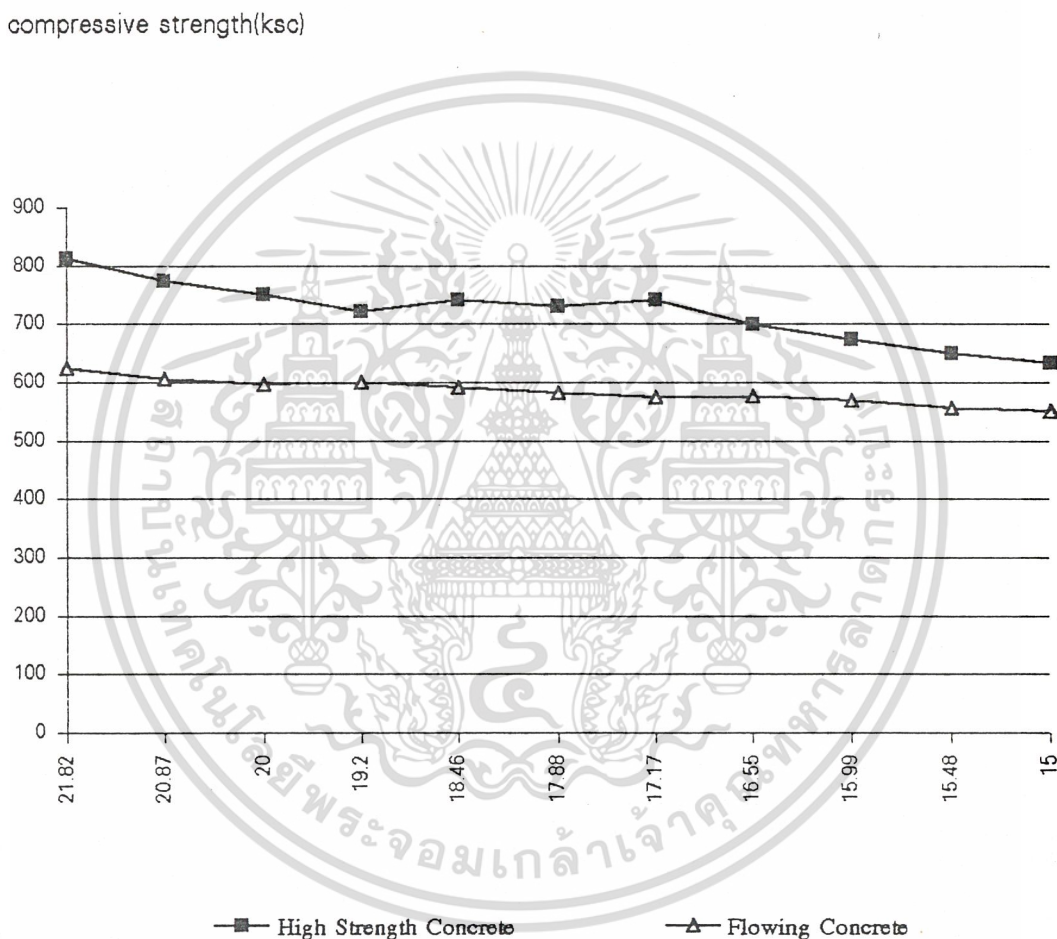
รูปที่ 6.37 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสารSuperplasticizerกับค่าการไหลตัว



จำนวนสารSuperplasticizerในคอนกรีต 1 ม<sup>3</sup> (กก.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.38 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสารSuperplasticizerกับค่ากำลังการรับแรงอัด



จำนวนสารSuperplasticizerในคอนกรีต 1 ม<sup>3</sup> (กก.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### สรุปผลการทดสอบวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 7.1 สรุปผลการทดสอบวิจัย

จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1. กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจะมีความแปรผันโดยตรงกับปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการผสม

2. จากผลการทดสอบวิจัย คอนกรีตที่เป็น High Strength Concrete ซึ่งมีวัสดุปอซโซลาน(ในการทดลองนี้ใช้ Microsilica ในอัตราส่วน 10 % โดยน้ำหนักของซีเมนต์) และ Superplasticizer ในอัตราส่วน 3 % โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ผสมในเนื้อคอนกรีต จะมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 350-420 ksc สำหรับระยะเวลาการบ่ม 24 ชม. และมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 430-490 ksc สำหรับระยะเวลาการบ่ม 3 วัน และมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 495-550 ksc สำหรับระยะเวลาการบ่ม 7 วัน และมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 570-670 ksc สำหรับระยะเวลาการบ่ม 14 วัน และมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 630-820 ksc สำหรับระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

3. จากผลการทดสอบวิจัย คอนกรีตที่เป็น Flowing Concrete ซึ่งใช้เพียงแค่ Superplasticizer ในอัตราส่วน 3 % โดยน้ำหนักของซีเมนต์ผสมในเนื้อคอนกรีต จะมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 280-350 ksc สำหรับระยะเวลาการบ่ม 24 ชม. และมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 350-450 ksc สำหรับระยะเวลาการบ่ม 3 วัน และมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 440-520 ksc สำหรับระยะเวลาการบ่ม 7 วัน และมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 520-580 ksc สำหรับระยะเวลาการบ่ม 14 วัน และมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 550-630 ksc สำหรับระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

4. จากผลการทดสอบวิจัย High Strength Concrete มีค่าความยุบตัว(Slump) อยู่ในช่วง 15 - 22 ซม. และมีค่าอัตราการไหลตัว(Flow Rate) อยู่ในช่วง 35 - 55 ซม. ส่วน Flowing Concrete มีค่าความยุบตัว(Slump)อยู่ในช่วง 18 - 25 ซม. และมีค่าอัตราการไหลตัว(Flow Rate) อยู่ในช่วง 39 - 60 ซม. ซึ่งคอนกรีตที่อยู่ในขอบข่ายของ High Performance Concret จะมีค่าความยุบตัวมากกว่า 18 ซม. แต่จะไม่เกิน 24 ซม. และจะมีค่าอัตราการไหล(Flow Rate) อยู่ในช่วงระหว่าง 50-60 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.กำลังรับแรงอัดของ High Strength Concrete จะมีค่ามากกว่า Flowing Concrete ที่อัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์เดียวกัน แต่จะมีความหนืดกว่า และค่ายุบตัว(Slump)และ อัตราการไหล(Flow Rate) ของ High Strength Concrete จะมีค่าน้อยกว่า Flowing Concrete เนื่องจากการใส่ Microsilica

6.ความสามารถในการทำงานของคอนกรีตนั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรดังนี้คือ

6.1 ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต

6.2 ลักษณะที่ละเอียดของส่วนผสม

6.3 ปริมาณของ Superplasticizer ในคอนกรีต

7.ความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับตัวแปรดังนี้คือ

7.1 อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์

7.2 ปริมาณของ Microsilica ในคอนกรีต

8.จากผลการทดสอบวิจัย คอนกรีตที่ได้จะมีลักษณะเป็น คอนกรีตที่มีความสามารถรับแรงได้ในเวลาอันสั้น( Early Strength Concrete) จึงทำให้เป็นการประหยัดในเรื่องไม้แบบและค่าจ้างที่ใช้ในงานคอนกรีต ซึ่งเป็นคุณสมบัติของ High Performance Concrete

## 7.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาคุณสมบัติของ High Performance Concrete ไม่ใช่เฉพาะมีคุณสมบัติด้านการรับกำลังอัดที่สูงและมีลักษณะที่ง่ายต่อการทำงานแล้วยังต้องคำนึงถึง คุณสมบัติด้านความชื้นน้ำของคอนกรีต คุณสมบัติด้านการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีต คุณสมบัติด้านการแตกร้าวของคอนกรีตเมื่อมีอายุยาวนานออกไป และคุณสมบัติด้านการหดตัวของคอนกรีตอีกด้วยซึ่งยังไม่ได้ทำการศึกษาในการทดสอบวิจัยนี้
2. ในการทดสอบวิจัยนี้เป็นเพียงตัวอย่างการทดลองที่ใช้ส่วนผสมของน้ำที่ 160 กก./ คอนกรีต 1 ลบ.ม. ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการทำกรทดสอบวิจัยที่จะสามารถทำงานได้ง่าย ดังนั้นจึงควรที่จะมีการปรับปริมาณน้ำที่สมควรที่จะใช้ในกรณีต่างๆต่อไป
3. ในการศึกษาวิจัยจะพบว่าคอนกรีตที่สามารถนำไปใช้ในทางพาณิชย์ที่เหมาะสมนั้นมีส่วนผสมคอนกรีตที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ 0.22 - 0.29 ของ High Strength Concrete และ มีส่วนผสมคอนกรีตที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ที่ 0.22 - 0.25 ของ Flowing Concrete
4. จากราคาของคอนกรีตผสมเสร็จโดยทั่วไปมีราคาอยู่ระหว่าง 1200 - 1500 บาท แต่ High Performance Concrete ที่สามารถทำได้ในปัจจุบันมีราคาอยู่ระหว่าง 3000 - 4020 บาท ของ High Strength Concrete และ ราคาอยู่ระหว่าง 1700 - 2000 บาท ของ Flowing Concrete ซึ่งจะต้องหาวิธีการที่จะลดราคาของ High Performance Concrete



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผนวก 1 แสดงราคาของส่วนผสมของ Flowing Concrete

ราคาของวัสดุต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม.

อัตรา ส่วนน้ำ ต่อ ซีเมนต์	ซีเมนต์ (บาท)	ไมโคร ซิลิกา (บาท)	Super plasticizer (บาท)	หิน (บาท)	ทราย (บาท)	ราคา รวม (บาท)
0.22	1164	-	611	104	74	1953
0.23	1114	-	585	106	75	1880
0.24	1067	-	560	108	76	1811
0.25	1024	-	538	109	77	1748
0.26	985	-	517	110	78	1690
0.27	953	-	501	112	79	1645
0.28	916	-	481	113	80	1590
0.29	883	-	464	114	81	1542
0.30	854	-	448	115	82	1499
0.31	826	-	434	116	83	1459
0.32	800	-	420	117	84	1421

หมายเหตุ

-ราคาที่ได้เป็นราคาขายปลีกและปริมาณส่วนผสมต่างๆได้มาจาก  
ตารางที่ 5.2 และวิธีการคำนวณได้แทรกไว้ในบทแทรก

-ซีเมนต์ ราคา 80 บาท/50 กก.

-ไมโครซิลิกา ราคา 30 บาท/ กก.

-Superplasticizer ราคา 28 บาท/ กก.

-หิน ราคา 300 บาท/ ลบ.ม.

-ทราย ราคา 280 บาท/ ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผนวก 2 แสดงราคาของส่วนผสมของ High Strength Concrete

ราคาของวัสดุต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม.

อัตรา ส่วนน้ำ ต่อ ซีเมนต์	ซีเมนต์ (บาท)	ไมโคร ซิลิกา (บาท)	Super plasticizer (บาท)	หิน (บาท)	ทราย (บาท)	ราคา รวม (บาท)
0.22	1048	2182	611	104	74	4019
0.23	1002	2087	585	106	75	3855
0.24	960	2000	560	108	76	3704
0.25	922	1920	538	109	77	3566
0.26	887	1847	517	110	78	3439
0.27	858	1787	501	112	79	3337
0.28	825	1718	481	113	80	3217
0.29	795	1656	464	114	81	3110
0.30	768	1600	448	115	82	3013
0.31	744	1549	434	116	83	2926
0.32	720	1500	420	117	84	2841

หมายเหตุ

-ราคาที่ได้เป็นราคาขายปลีก และปริมาณส่วนผสมต่างๆได้มาจาก  
ตารางที่ 5.1 และวิธีการคำนวณได้แทรกไว้ในบทแทรก

-ซีเมนต์ ราคา 80 บาท/50 กก.

-ไมโครซิลิกา ราคา 30 บาท/ กก.

-Superplasticizer ราคา 28 บาท/ กก.

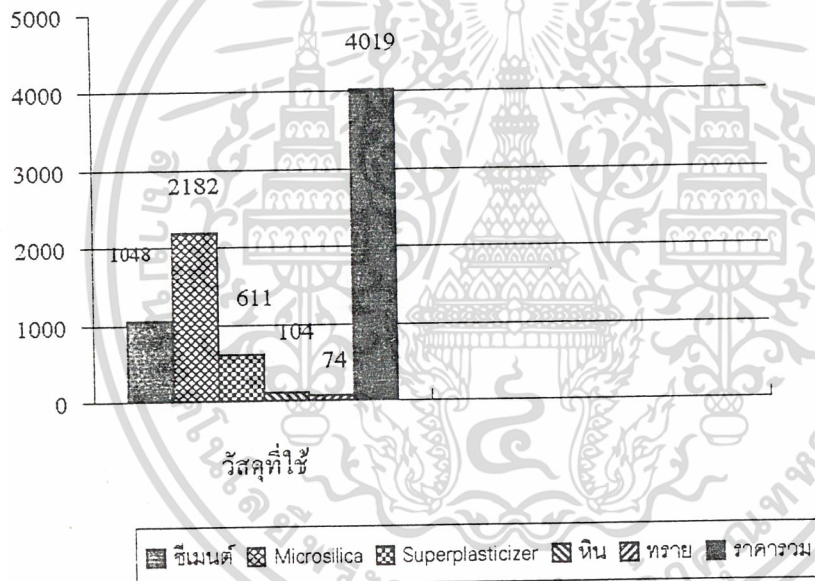
-หิน ราคา 300 บาท/ ลบ.ม.

-ทราย ราคา 280 บาท/ ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 1 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.22

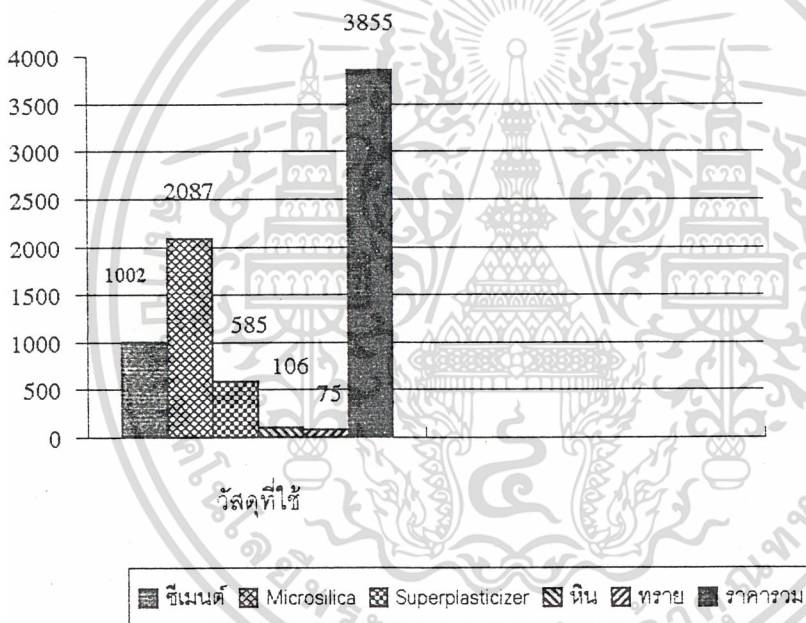
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 2 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.23

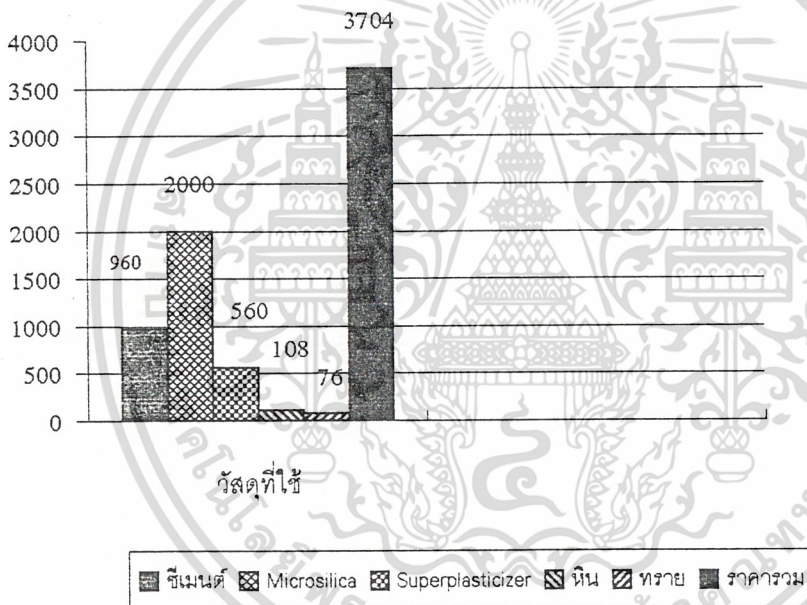
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 3 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.24

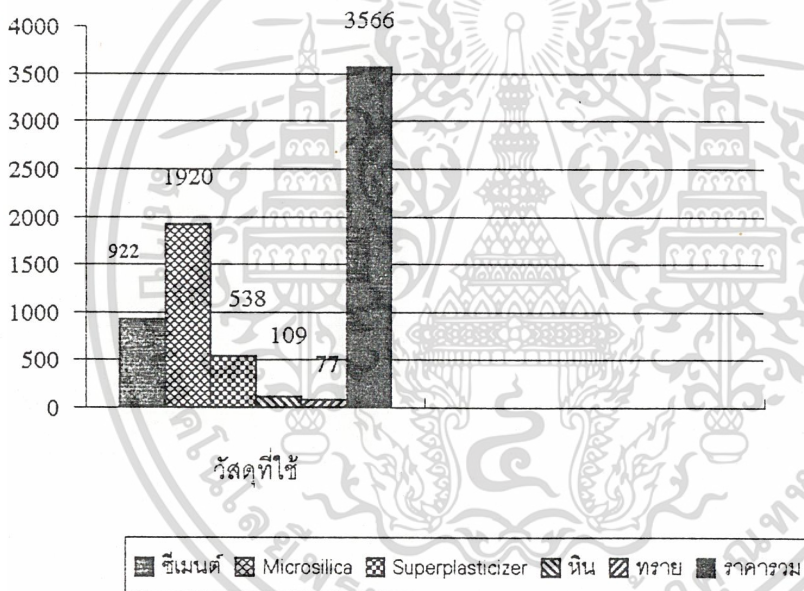
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 4 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.25

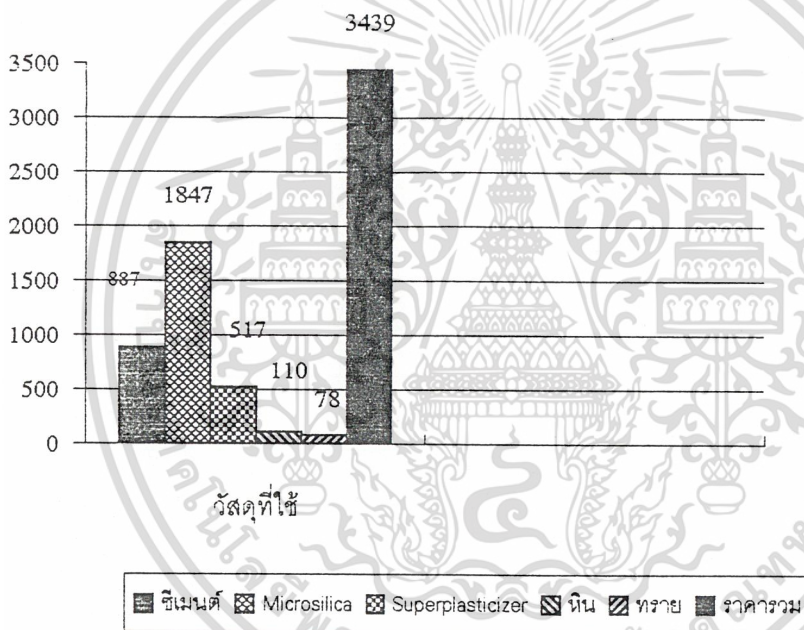
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 5 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.26

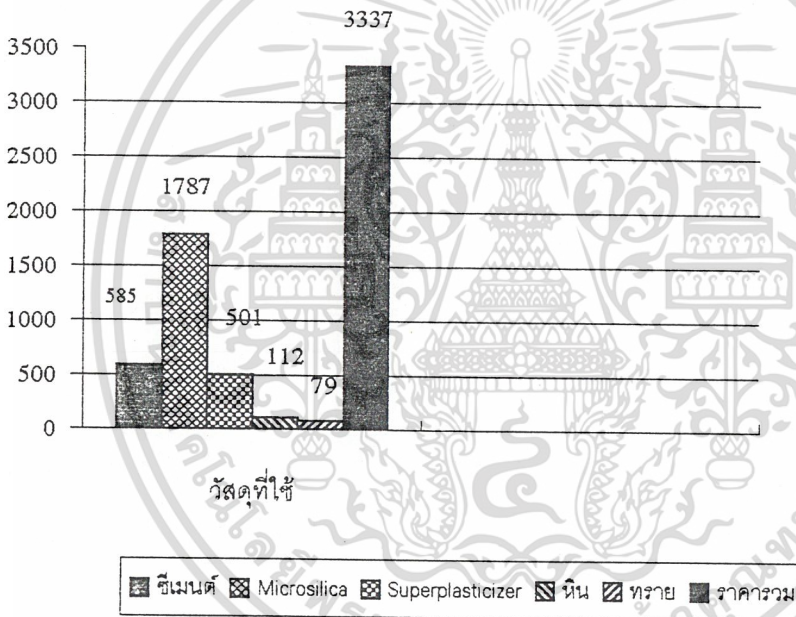
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 6 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.27

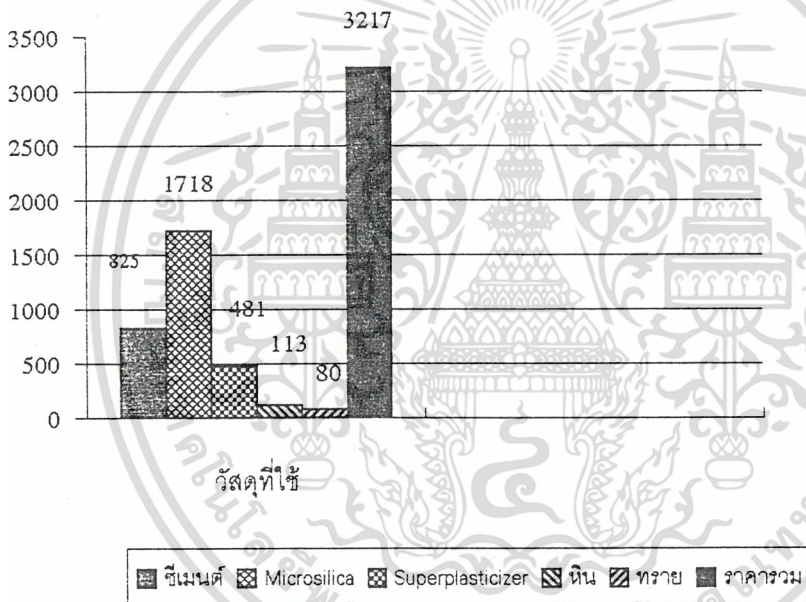
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 7 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.28

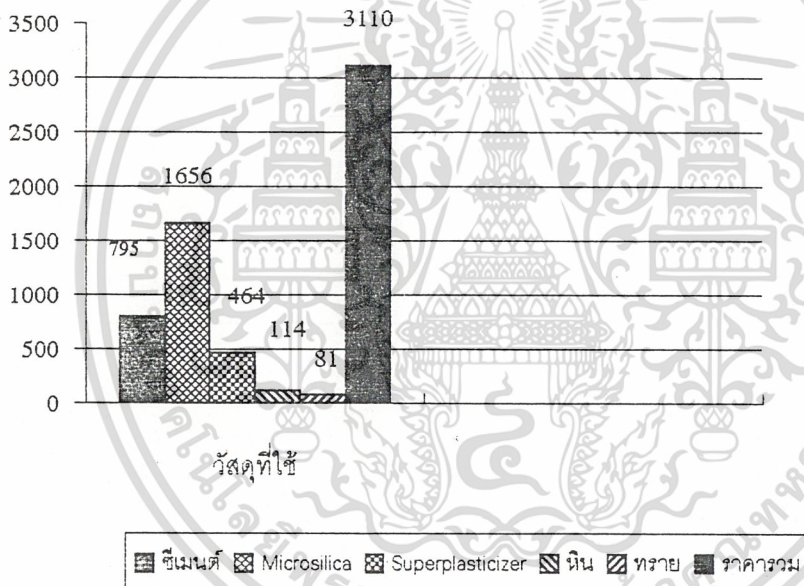
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 8 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.29

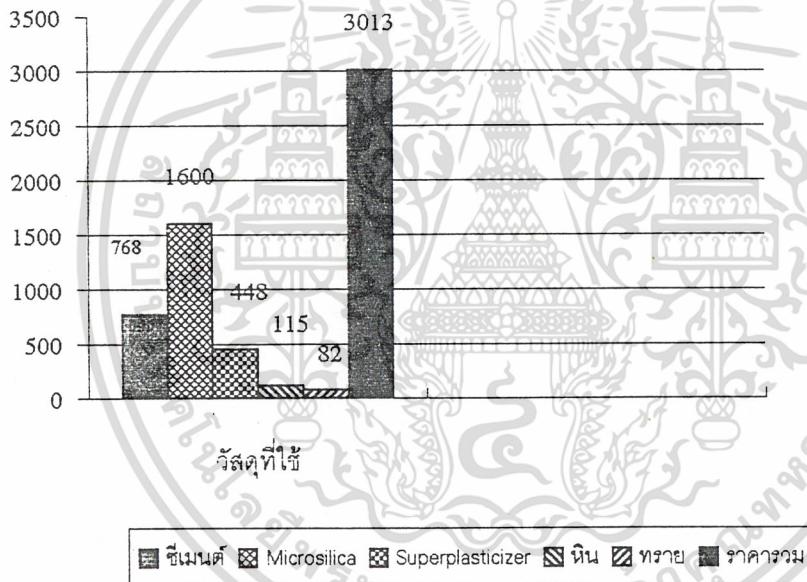
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 9 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.30

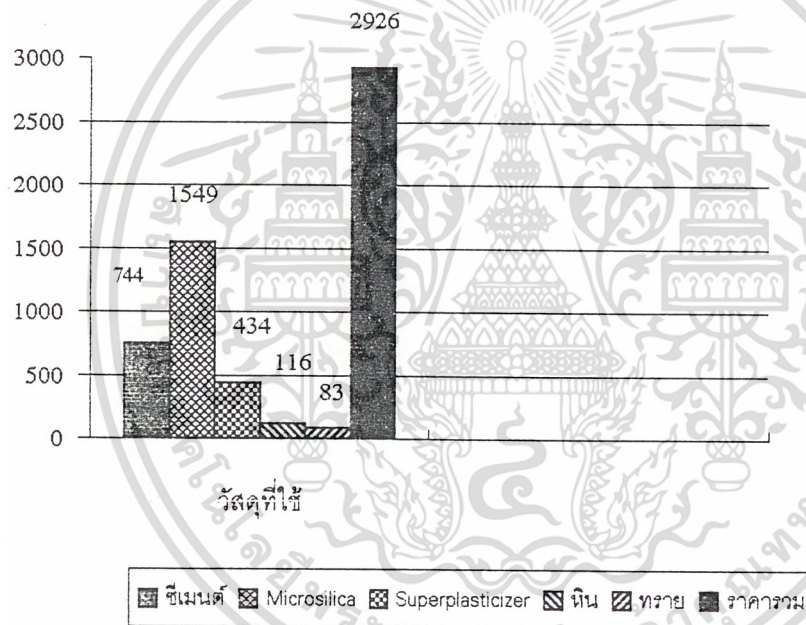
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 10 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.31

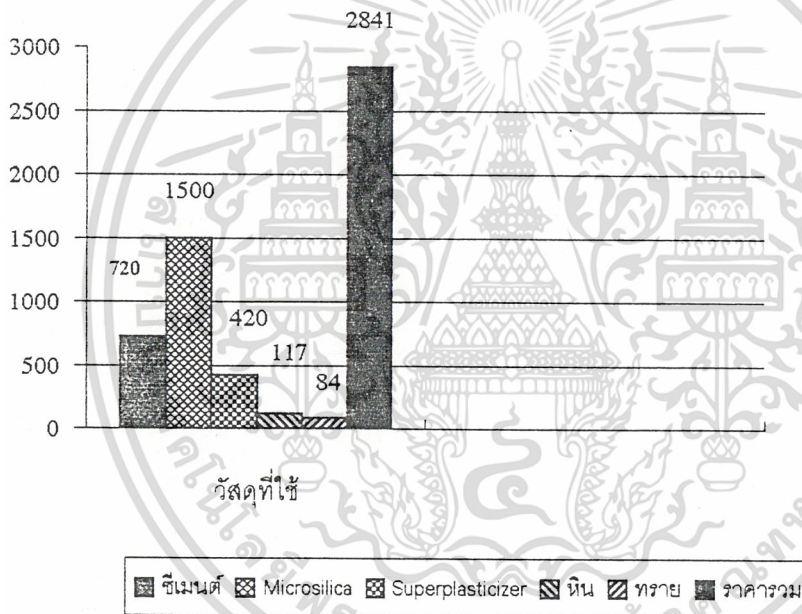
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 11 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม High Strength Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.32

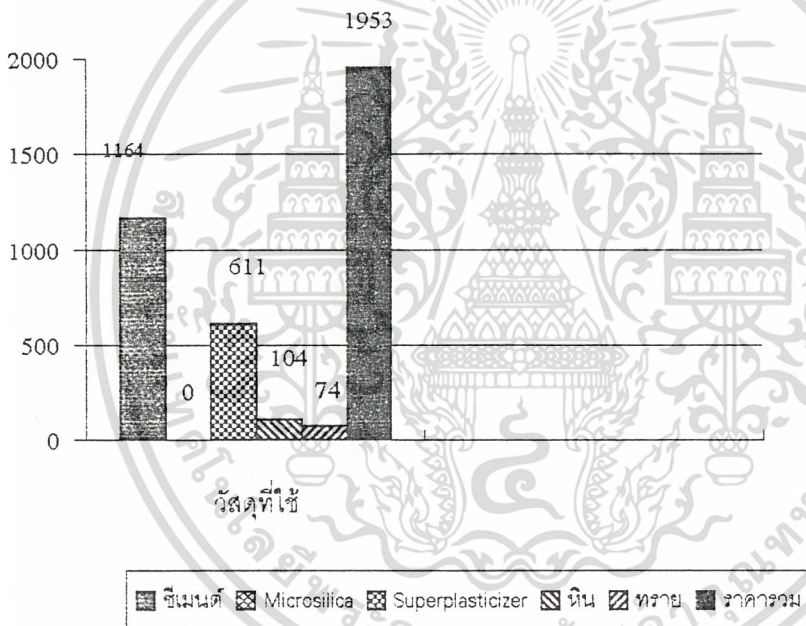
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 12 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม Flowing Concrete ที่ อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.22

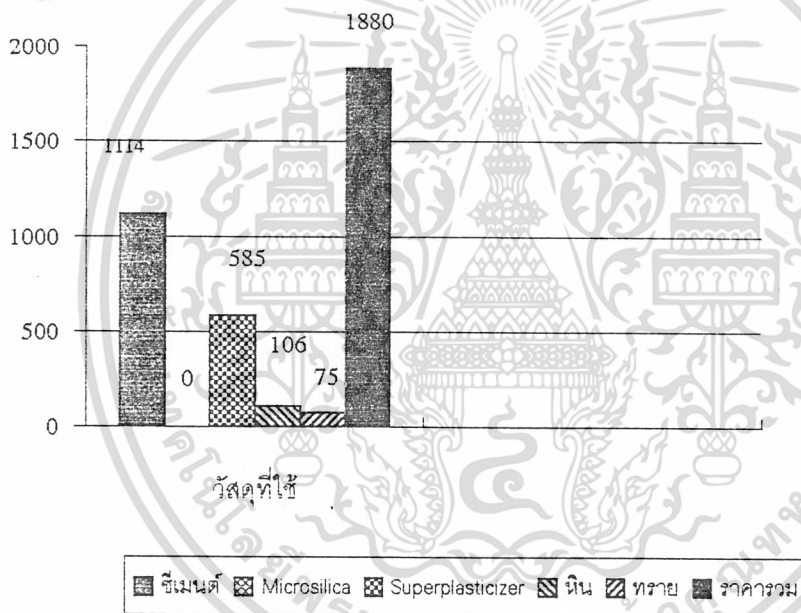
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 13 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.23

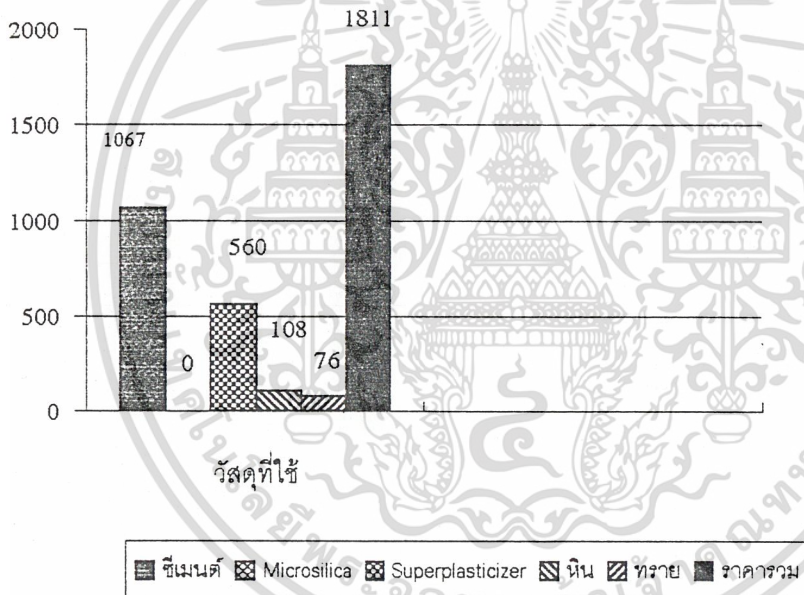
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 14 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.24

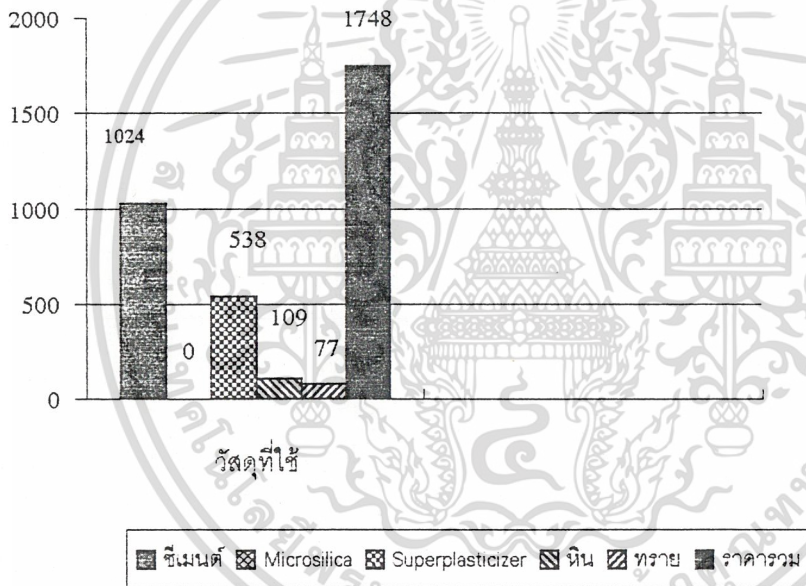
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 15 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.25

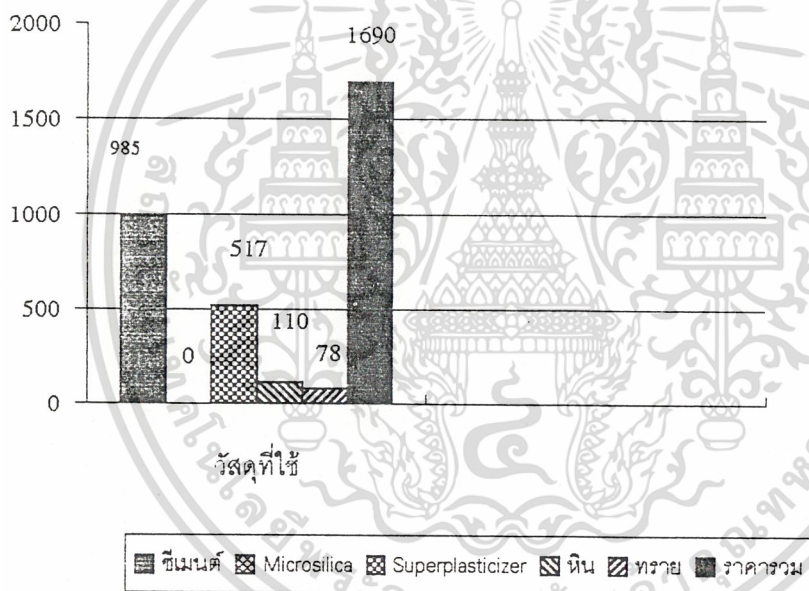
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 16 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.26

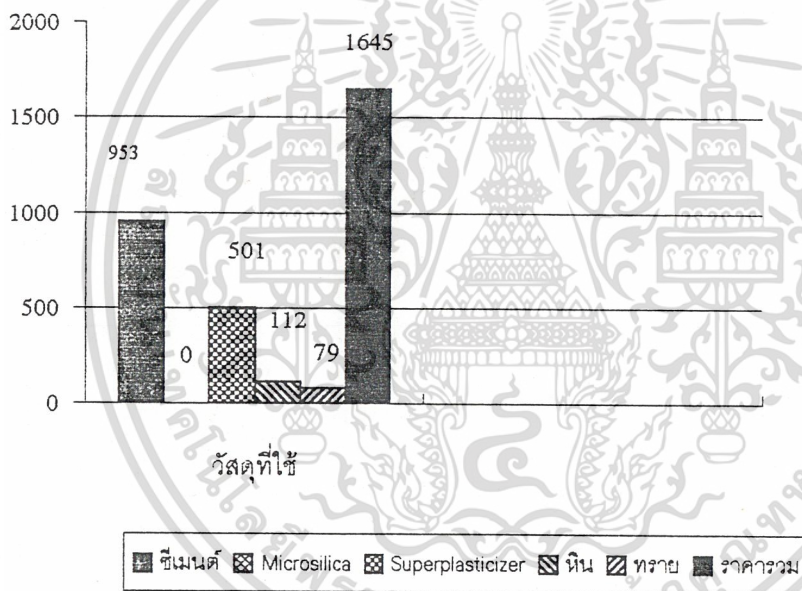
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 17 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.27

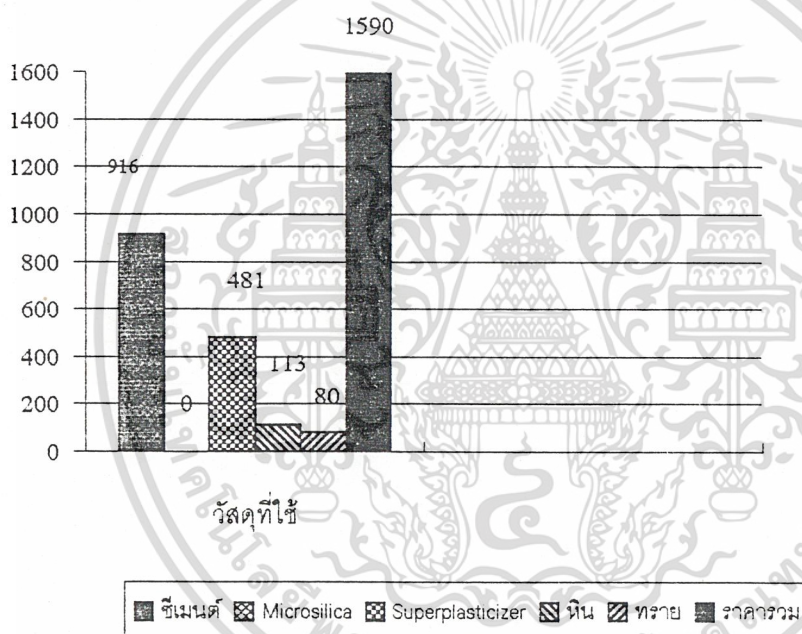
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 18 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.28

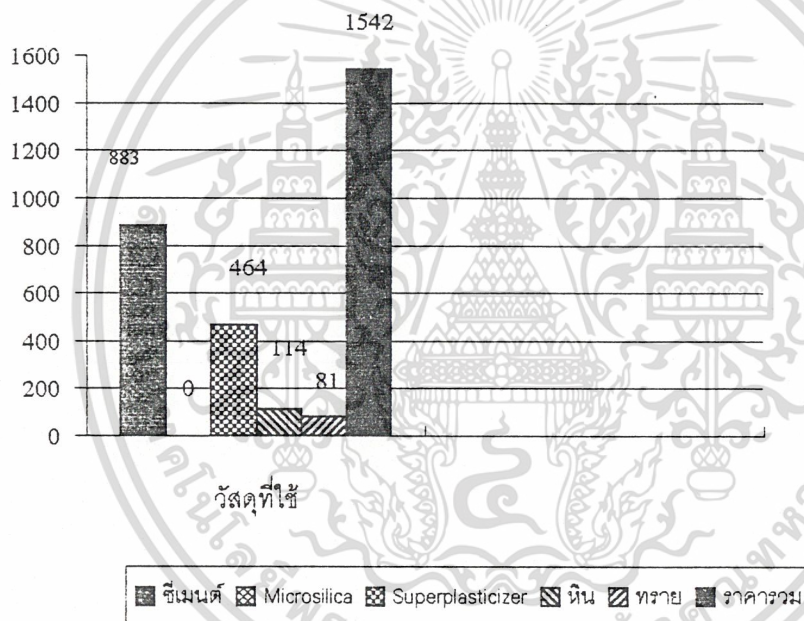
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 19 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.29

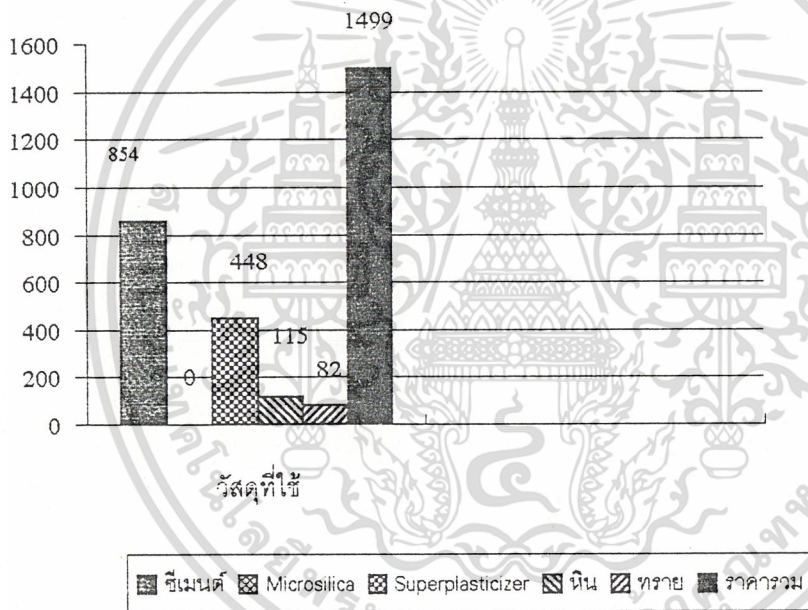
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 20 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.30

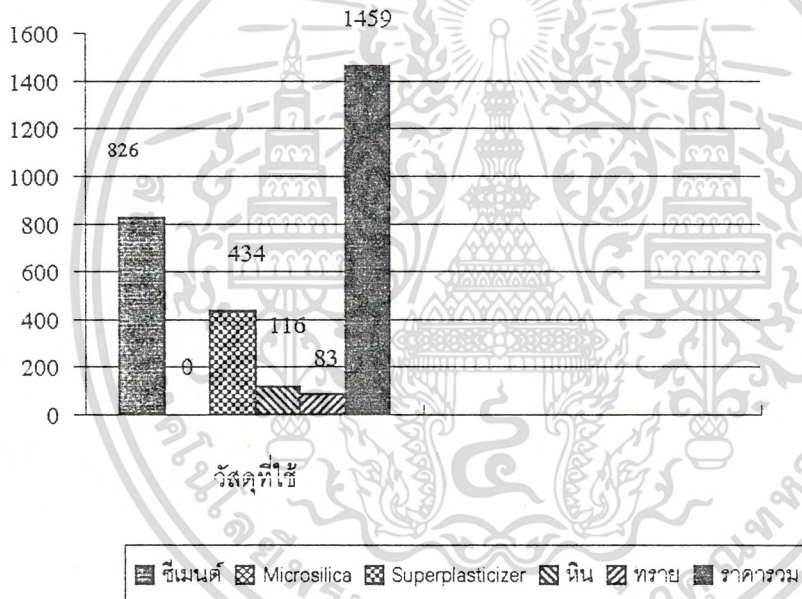
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 21 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.31

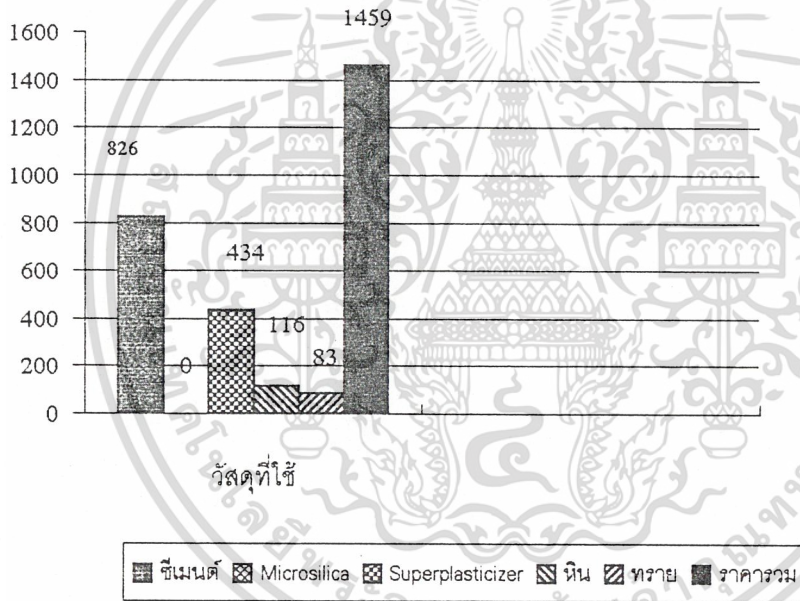
ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปผนวก 22 รูปแผนภูมิแท่งแสดงราคาของวัสดุที่ใช้ผสม Flowing Concrete ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.32

ราคา (บาท)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



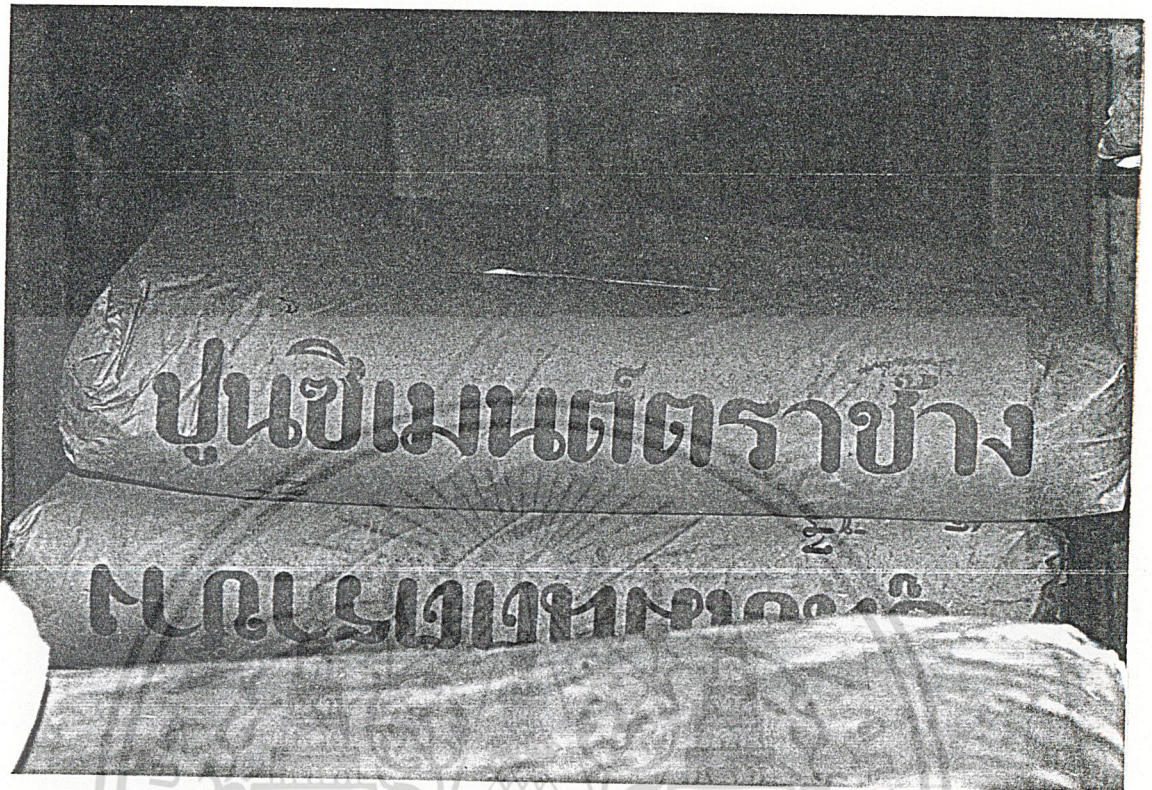
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



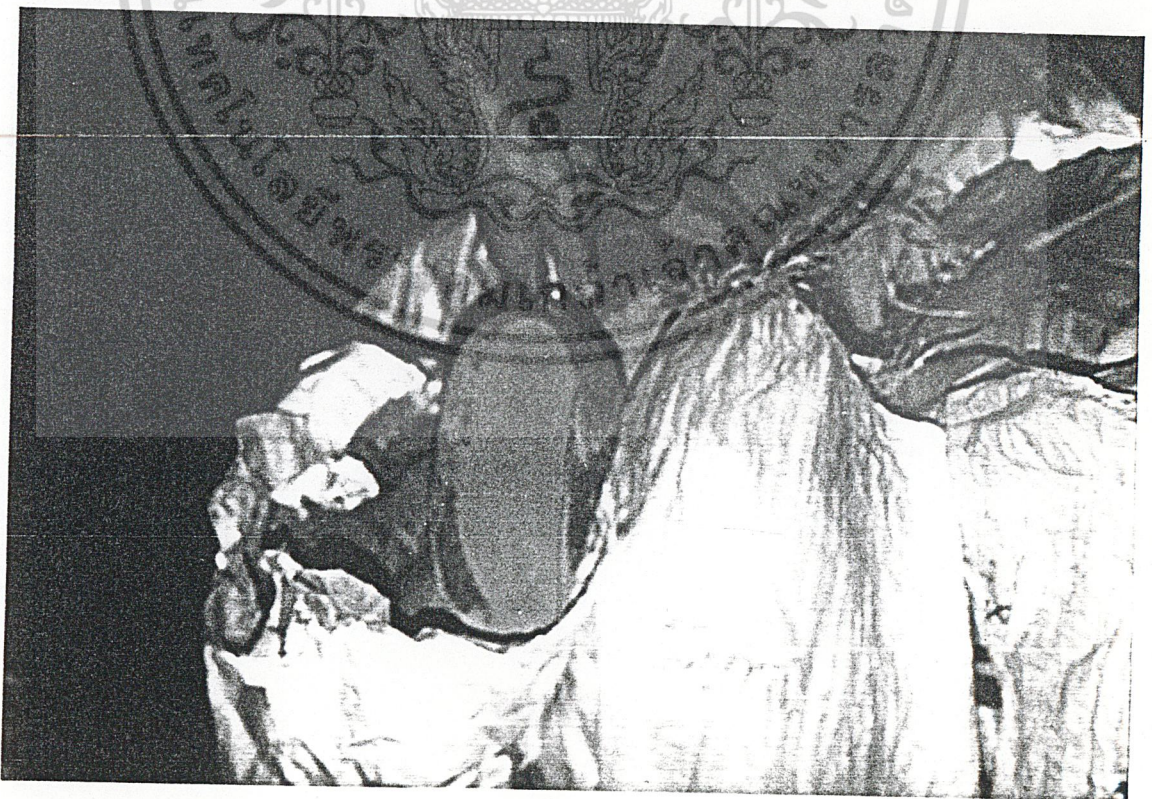
รูปแสดง หินเบอร์ 1 (เบอร์เล็ก) ที่ใช้ในการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับแสดง ทรรศนะที่ใช้ในการทดสอบ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง ปูนซีเมนต์ตราช้าง type 1 ที่ใช้ในการทดสอบ

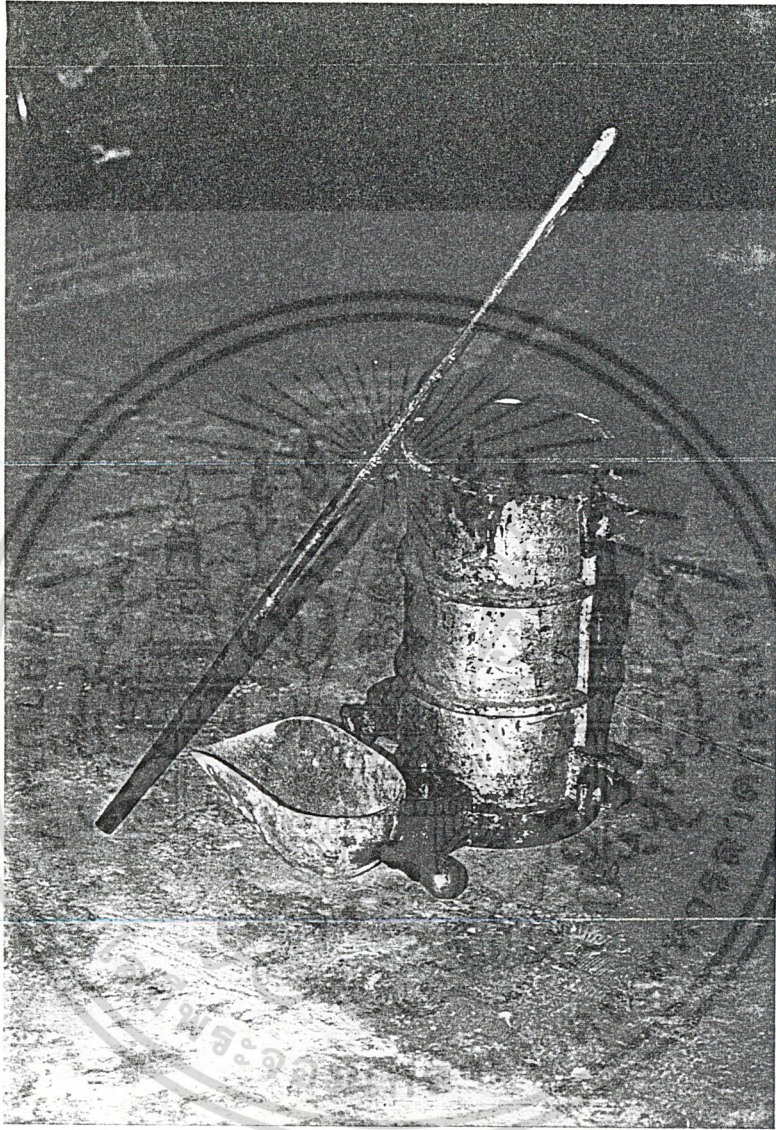


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับแสดงไมโครชิลิกาที่ใช้ในการทดสอบ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



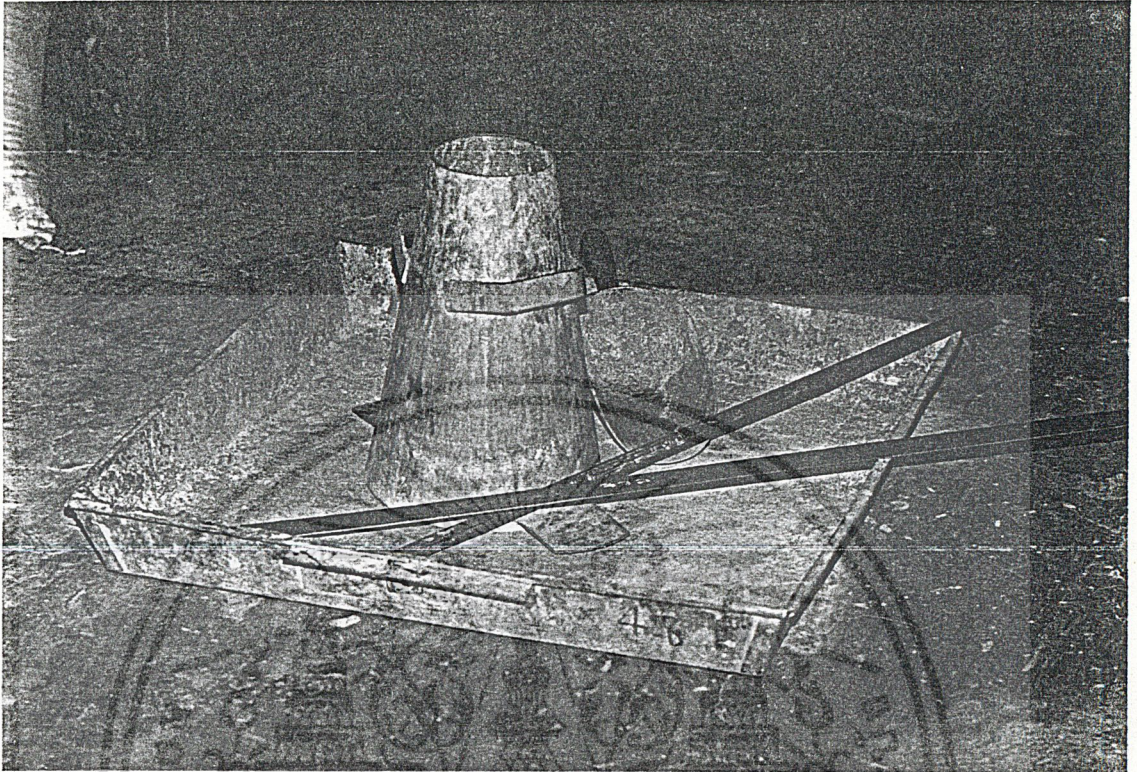
รูปแสดง สาร Superplasticizer ที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง ชุดทดสอบ แบบหล่อตัวอย่างทดสอบ

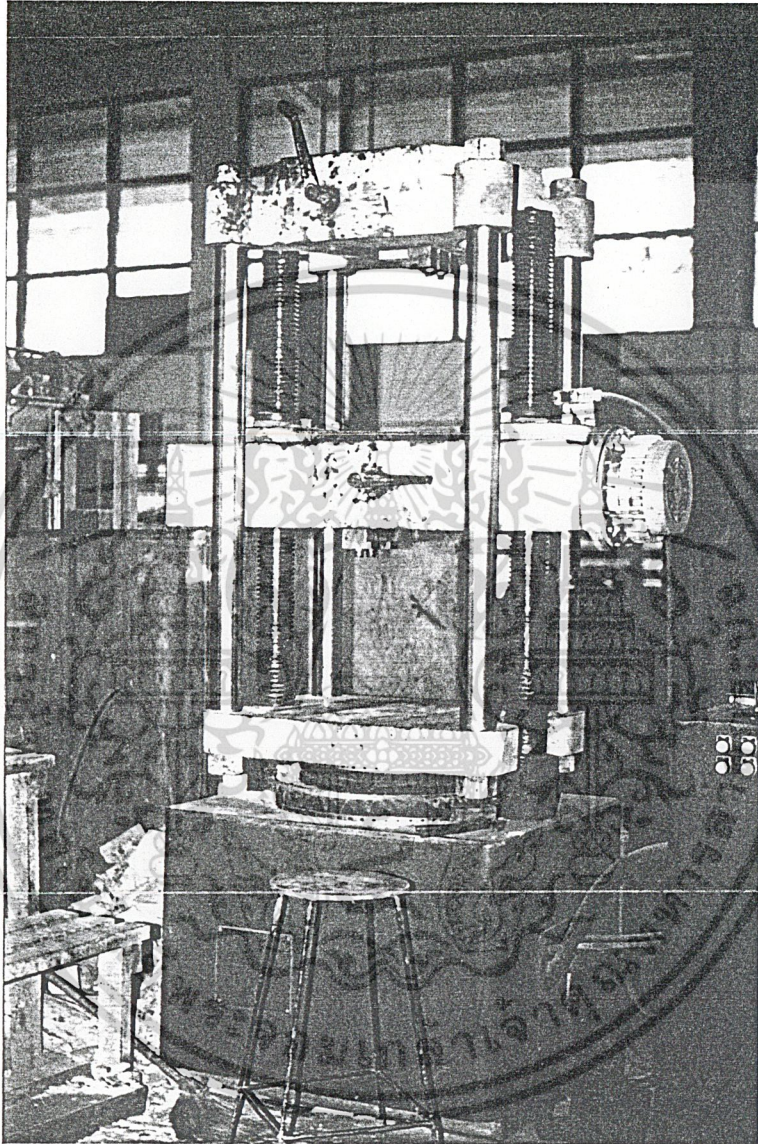
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง ชุดทดสอบ Slump

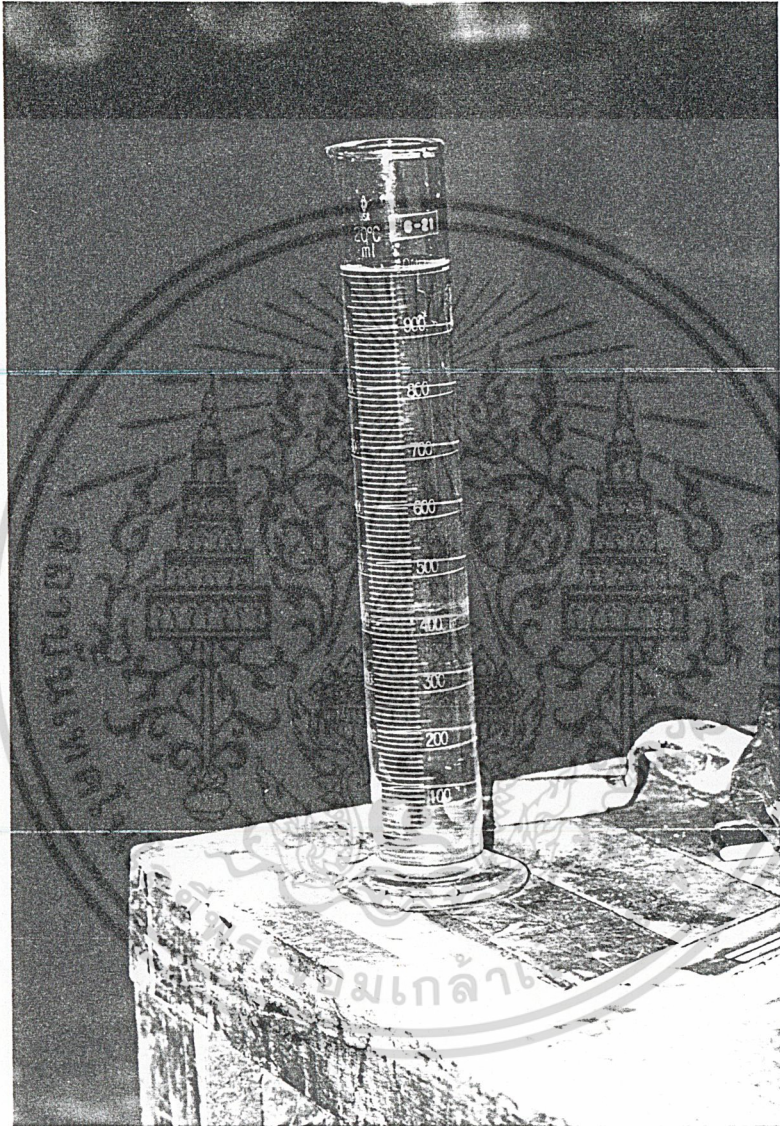


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับแสดง ไม่แบบ (ขอ) ที่ใช้ในการทดสอบ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง อุปกรณ์ระบบออกตรงที่ใช้ตวงน้ำในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



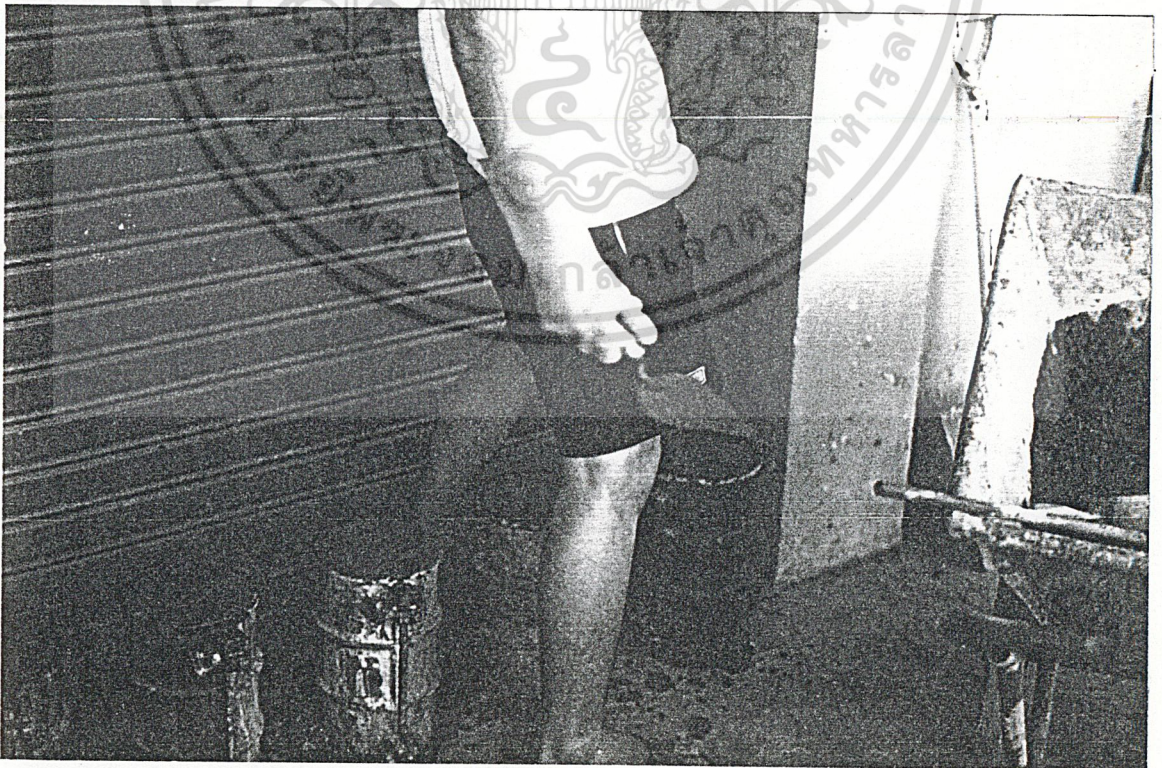
รูปแสดง แบบหล่อซึ่งทำความสะอาดเรียบร้อยพร้อมที่จะทำการทดสอบ



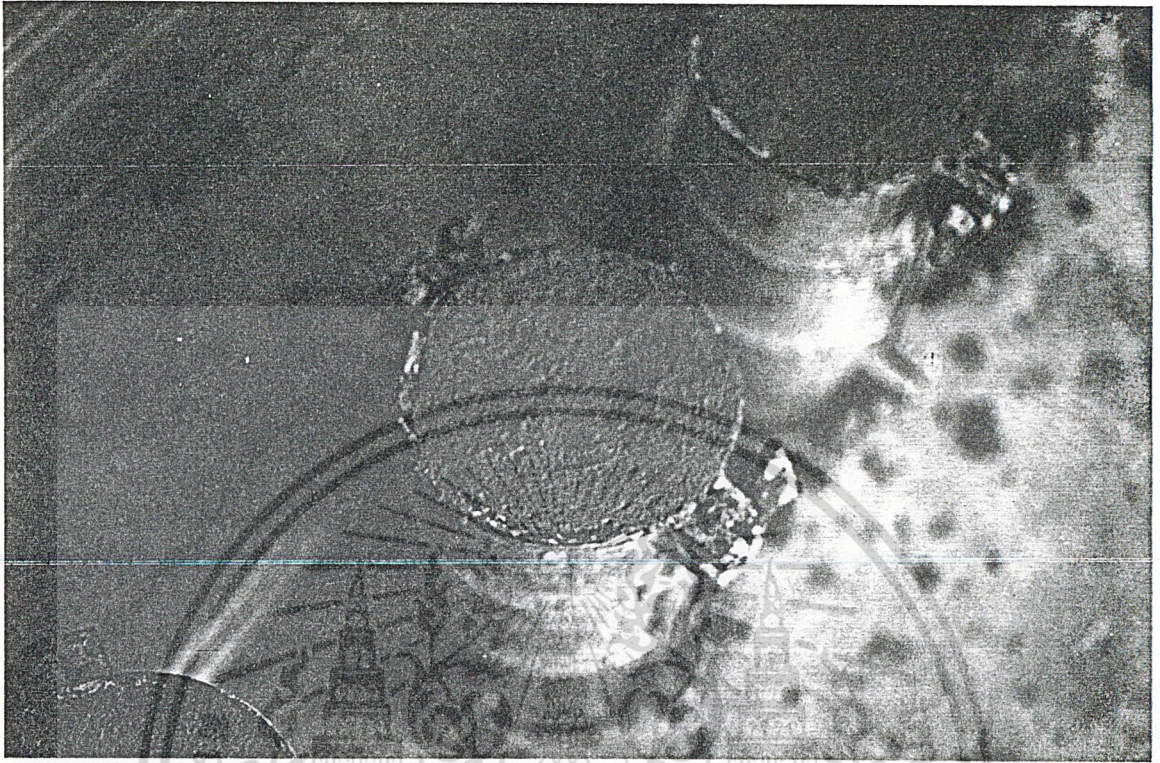
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปแสดง การผสมวัสดุผสมต่างๆ ลงไม่ทดสอบ แต่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



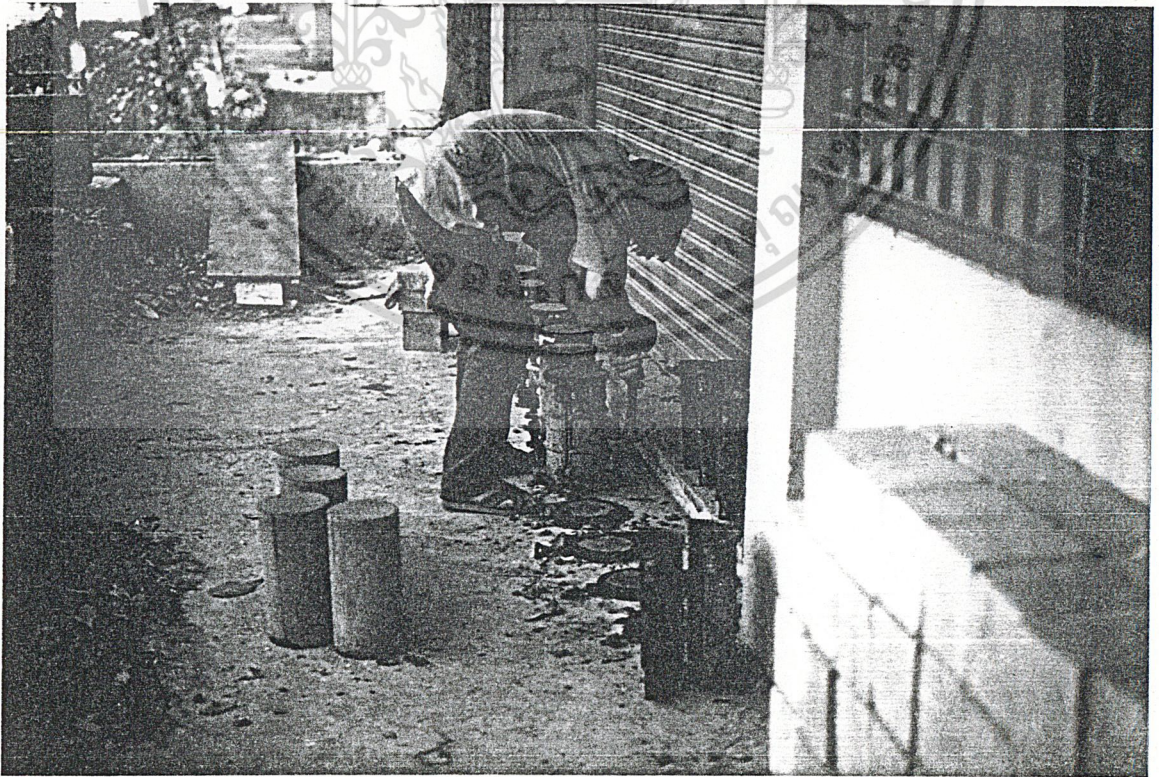
รูปแสดง การเทคนิคขนกรีดลงแบบหล่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การปรับแต่งผิวหน้าแบบทดสอบให้เรียบร้อยหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง แบบตัวอย่างทดสอบที่ทำการแต่งผิวหน้าเรียบร้อยแล้ว

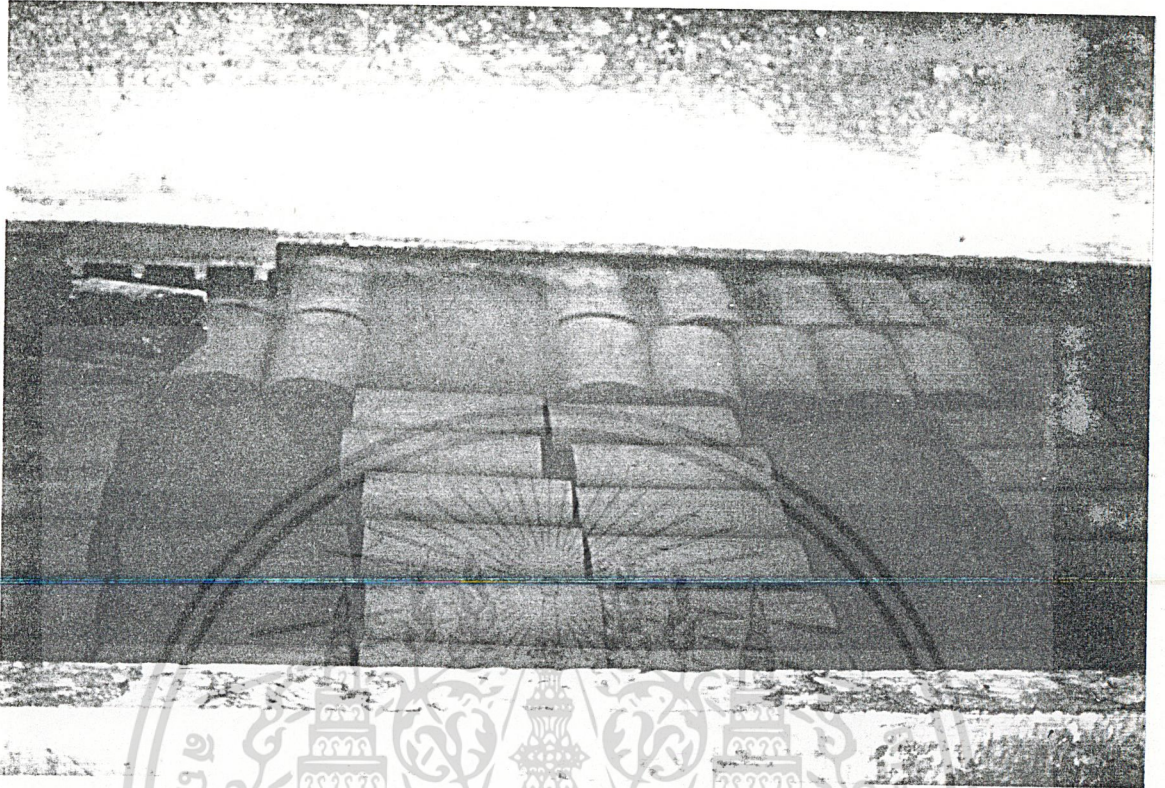


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับแสดง การถอดแบบแท่งตัวอย่างทดสอบภาคให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

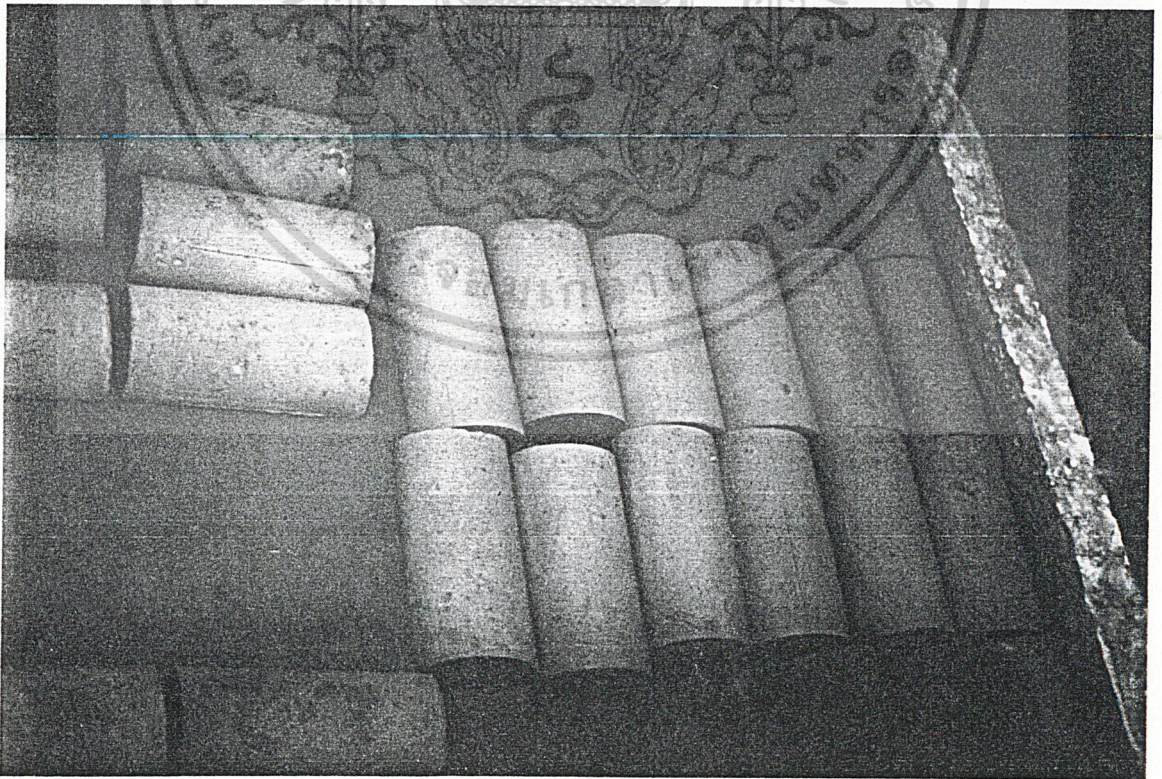


รูปแสดง การชั่งน้ำหนักแท่งตัวอย่างทดสอบก่อนทำการบ่มน้ำ

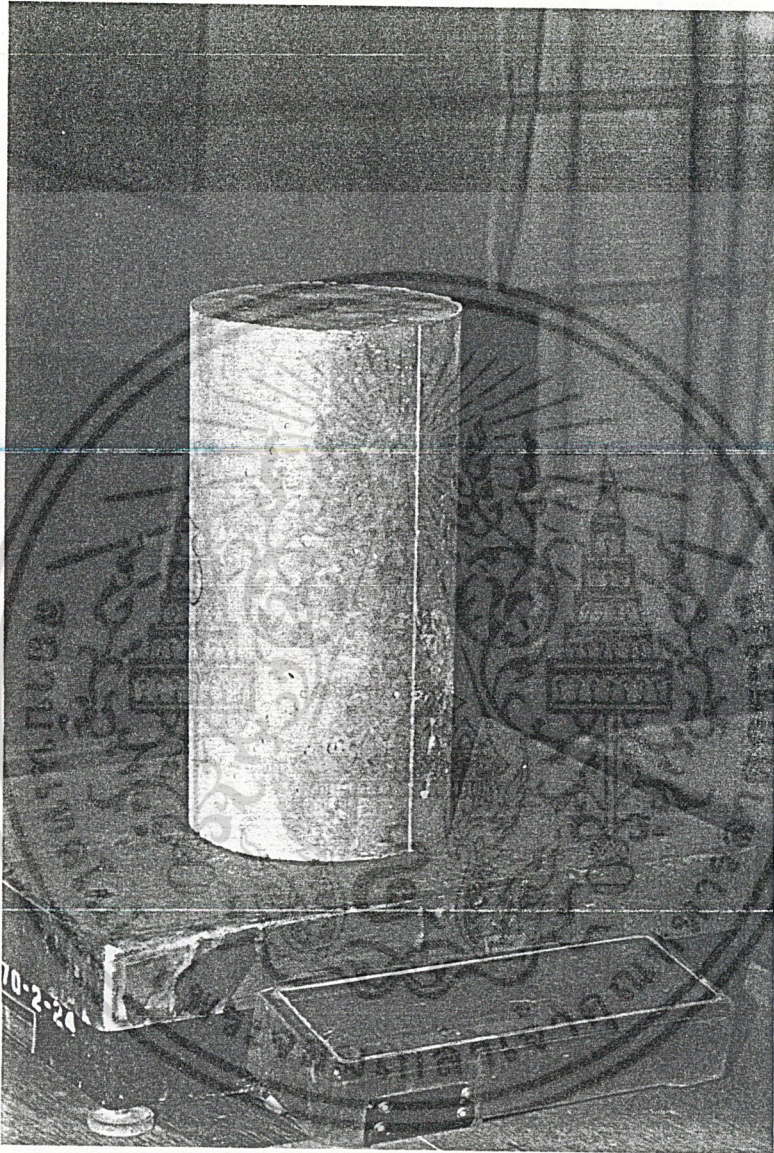
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง การนำเอาแท่งคอนกรีตลงปมในถึงปมคอนกรีต



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปแสดง แท่งตัวอย่างทดสอบที่ทำกรปมจนได้ระยะเวลากำรปมไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง การซึ้มน้ำหนักของแท่งตัวอย่างทดสอบภายหลั้การปรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



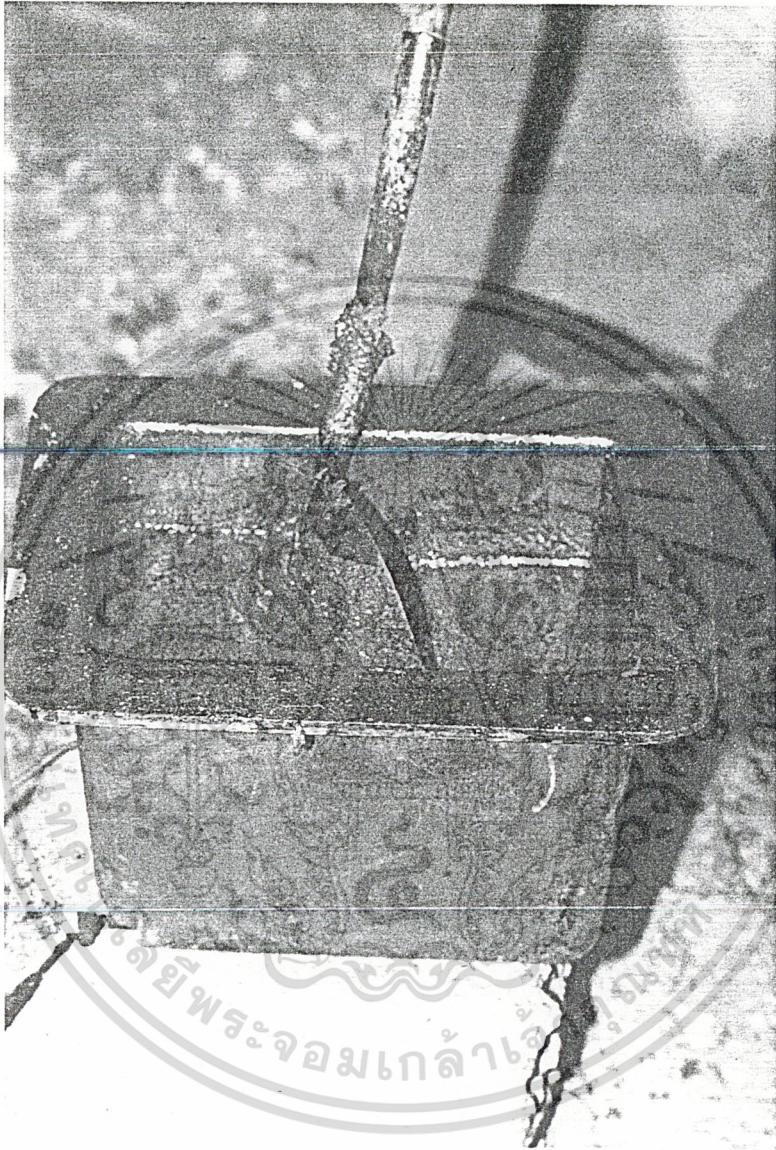
รูปแสดง การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



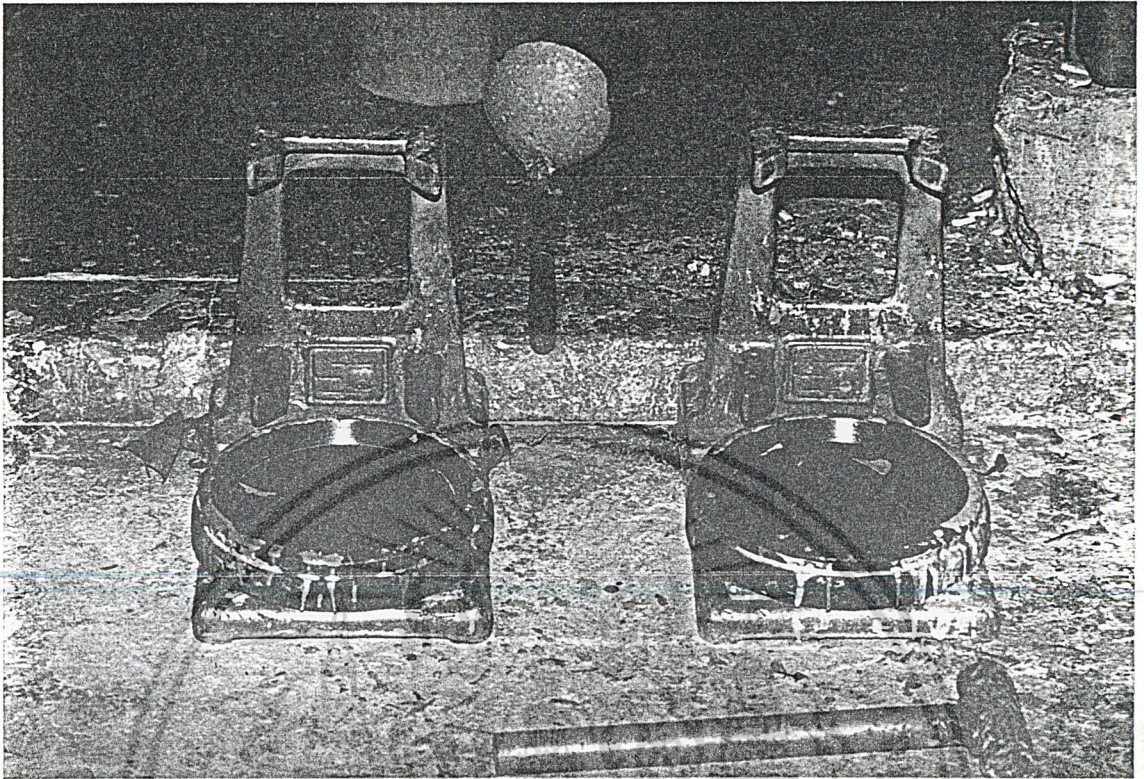
รูปแสดง การวัดขนาดความสูงของแท่งตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง หม้อต้มกำมะถันที่ใช้ในการ capped หัวของแท่งตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



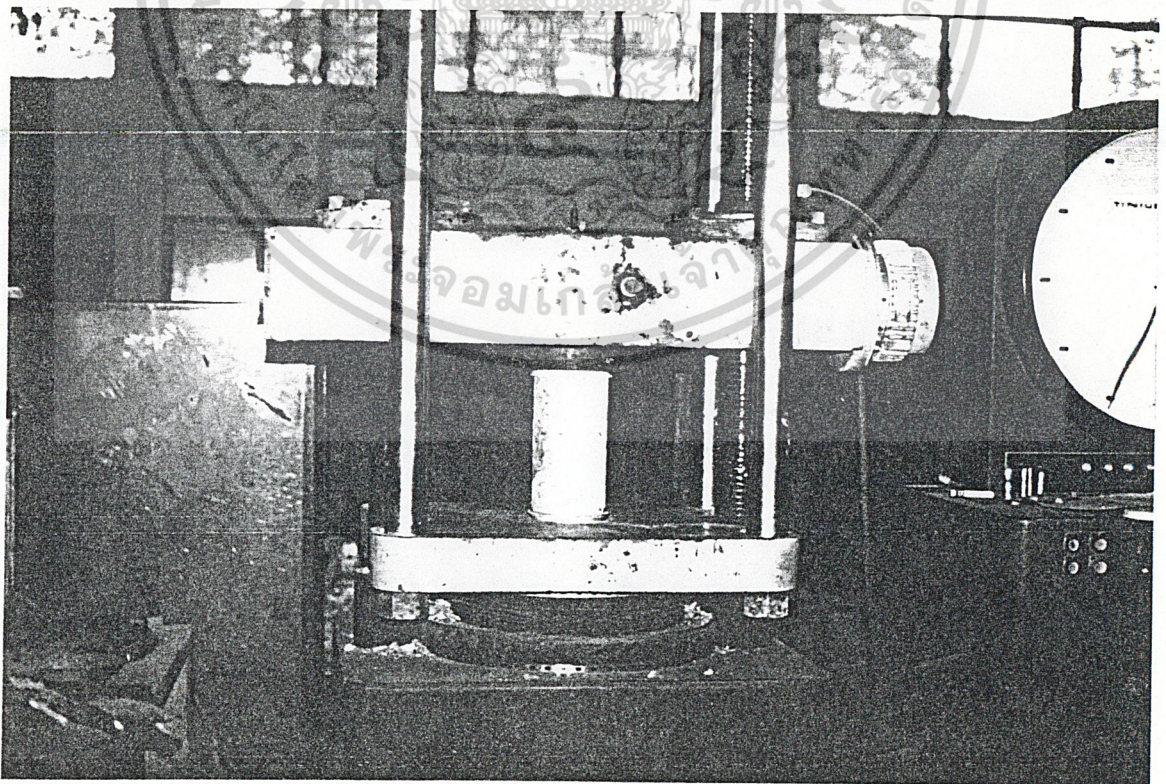
รูปแสดง อุปกรณ์การ capped หัวของแท่งคอนกรีต



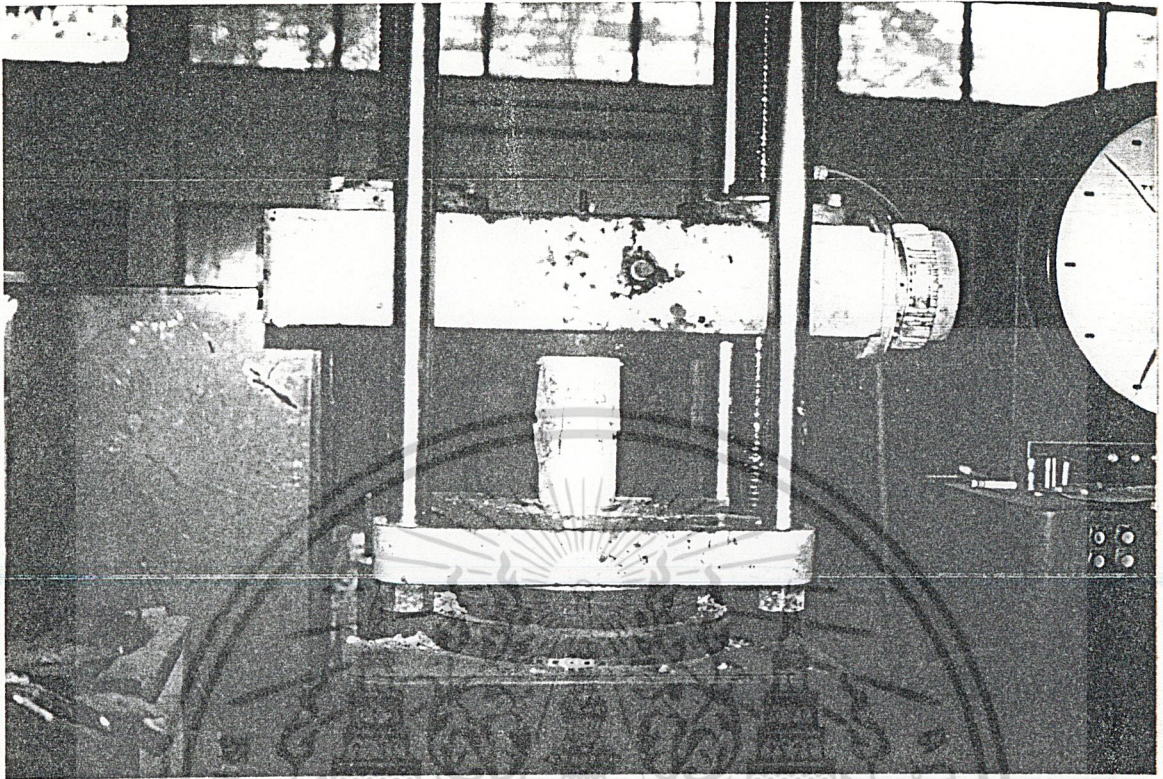
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปแสดง การ capped หัวของแท่งตัวอย่างทดสอบ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง แท่งตัวอย่างที่ทำการ capped หัวเรียบร้อยพร้อมที่จะนำไปทดสอบกำลังการรับแรงอัด



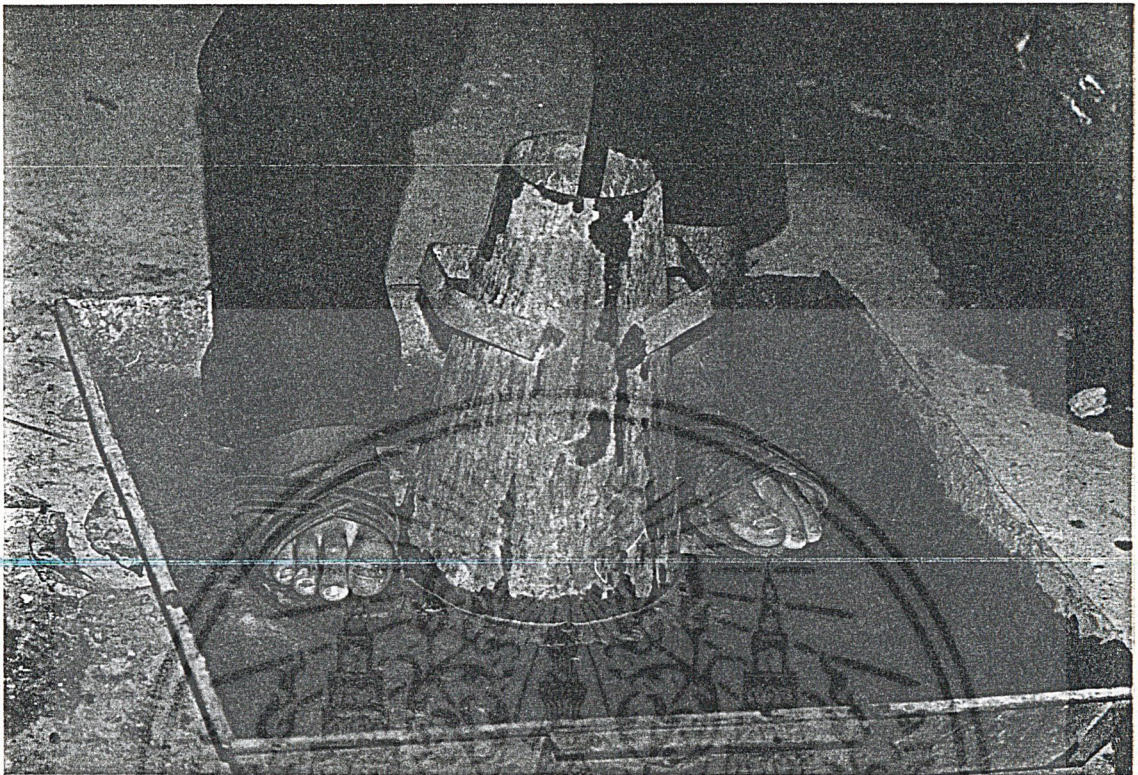
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การทดสอบกำลังอัดของแท่งตัวอย่างทดสอบนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



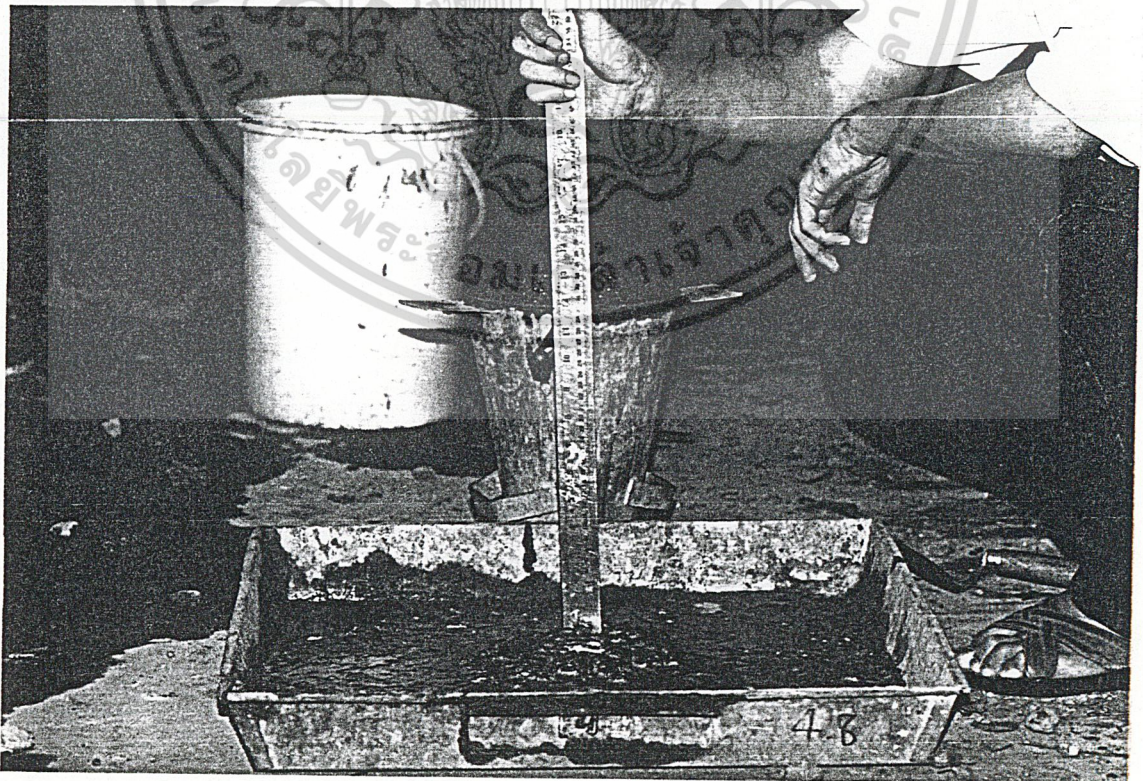
รูปแสดง แท่งตัวอย่างทดสอบขณะที่ได้รับแรงอัดจนถึงจุดคลาก



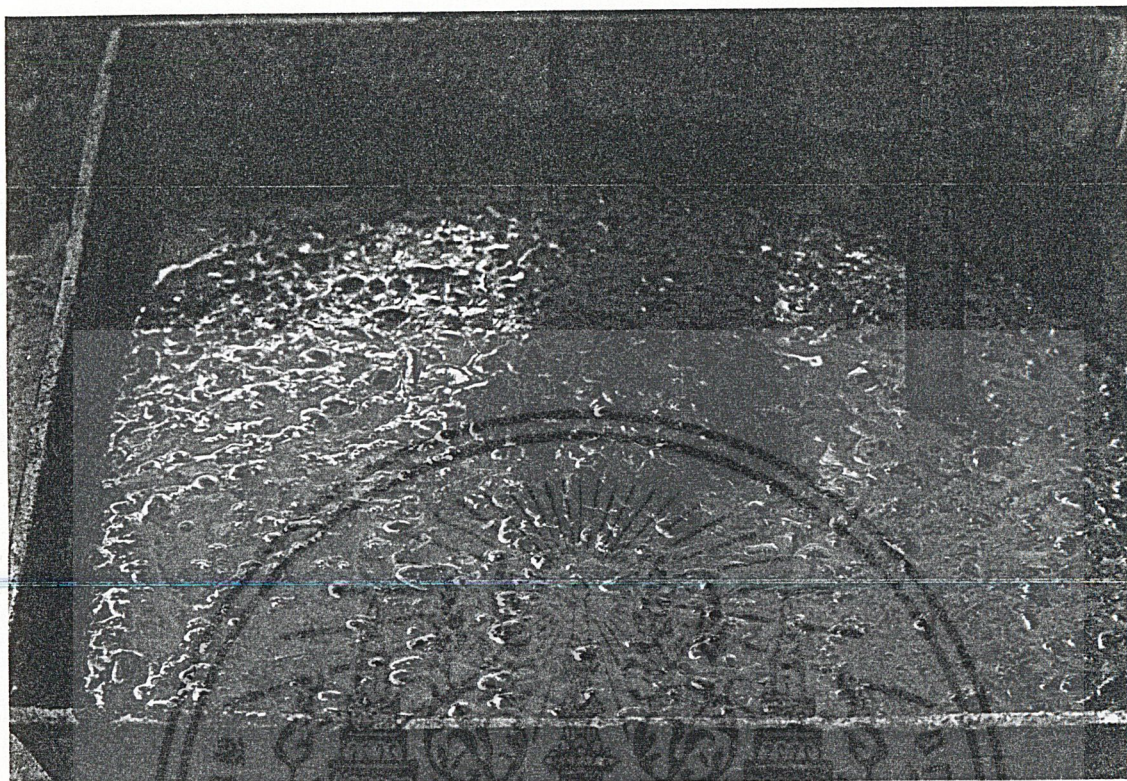
เอกสารนี้เป็นเอกสารแสดงแท่งตัวอย่างทดสอบที่แตกต่างจากการรับแรงอัดพร้อมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



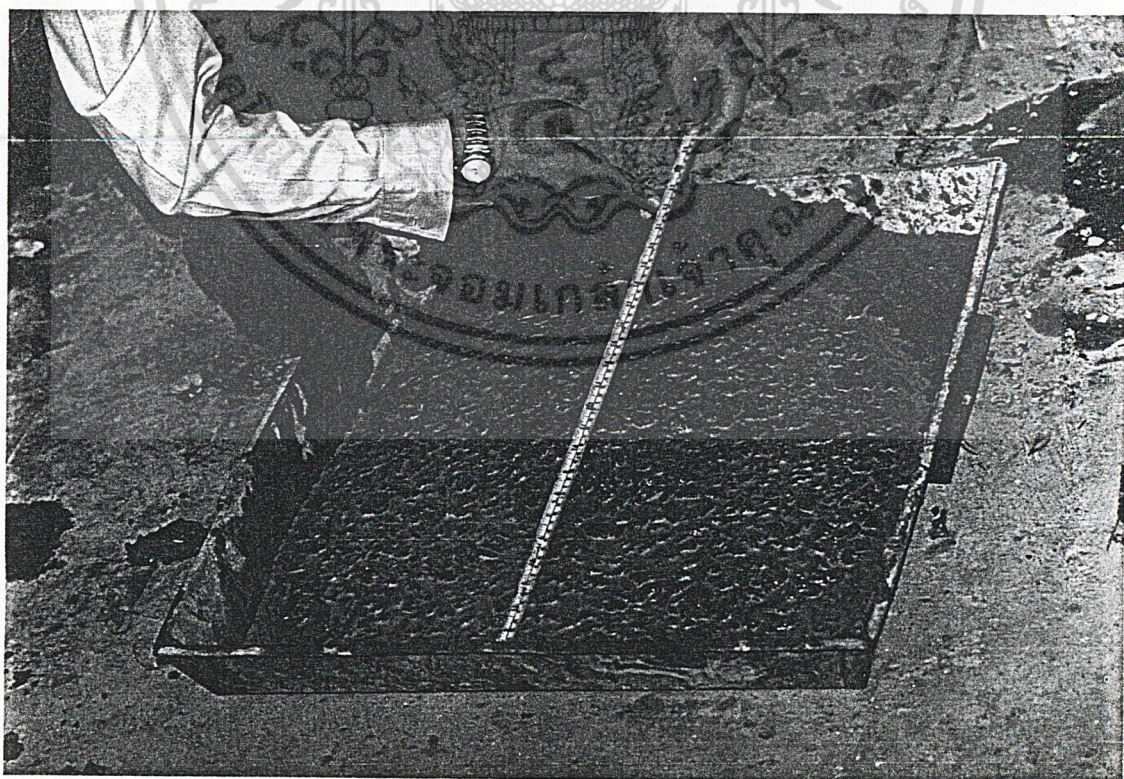
รูปแสดง การเทคอนกรีตในชุดทดสอบ Slump



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปแสดง การวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ทดสอบ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง คอนกรีตที่ได้มีลักษณะที่เหลวมากทำให้ง่ายต่อการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปแสดง การวัดค่าการไหลตัวของคอนกรีตที่ทำการทดสอบไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. การวิเคราะห์ข้อบกพร่องเนื่องจากการทดสอบ

### 1.1 ที่ w/c เดียวกัน (แห่งทดสอบที่ได้จากไม่ผสมเดียวกัน)

#### ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

ค่าการพัฒนาค่า Compressive Strength ที่ทดสอบได้บางค่ามีค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่ามาตรฐานซึ่งอาจจะมาจากข้อบกพร่องเนื่องจากการทดลองหรือจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. วัสดุที่นำมาทำการ Capped หัวแท่งคอนกรีตไม่สะอาดเพียงพอ หรือ Capped หัวไม่เรียบ
2. Slump loss ที่เกิดขึ้นทำให้การเทคอนกรีตทำได้ยากในระยะเวลาที่นานขึ้น
3. ขาดความชำนาญในการหล่อและทดสอบคอนกรีต

### 1.2 ที่ w/c ต่างกัน (แห่งทดสอบที่ได้จากไม่ผสมที่ต่างกัน)

#### ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

ค่าการทดสอบ Compressive Strength ที่ได้มีค่าผิดพลาดคือ ที่ w/c ที่เพิ่มขึ้นมีบางค่าของแห่งทดสอบกำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นแทนที่จะมีค่าลดลง และ ในการทดสอบ Slump และ Flow Rate มีข้อผิดพลาดคือ แทนที่จะมีค่าลดลงตามค่า w/c แต่มีบางค่าที่มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งอาจจะมาจากข้อบกพร่องเนื่องจากการทดลองหรือจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. การควบคุมในการชั่งตวงผสม
2. ระยะเวลาในการถอดแบบและบ่มน้ำไม่เท่ากันดีพอ
3. การตรวจสอบ Slump และ Flow Rate เพียงค่าเดียวจาก w/c ที่ 1 ค่า ทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย

## 2. ตัวอย่างในการคำนวณราคาของคอนกรีต

สมมติการคำนวณราคาของคอนกรีตที่ค่า w/c ที่ 0.30

### 2.1 ราคาของ High Strength Concrete ต่อ 1 ลบ.ม

ราคา ซีเมนต์	= ปริมาณซีเมนต์ / คอนกรีต 1 ลบ.ม. * ราคาต่อหน่วย	
	= $480 * 80/50$	= 768 บาท
ราคา ไมโครซิลิกา	= ปริมาณไมโครซิลิกา / คอนกรีต 1 ลบ.ม. * ราคาต่อหน่วย	
	= $53.33 * 30$	= 1600 บาท
ราคา Superplasticizer	= ปริมาณ Superplasticizer / คอนกรีต 1 ลบ.ม. * ราคาต่อหน่วย	
	= $16 * 28$	= 448 บาท
ราคา หิน	= ปริมาณ หิน / คอนกรีต 1 ลบ.ม. * ราคาต่อหน่วย	
	= $1020/2.658 * 300/1000$	= 115 บาท
ราคา ทราย	= ปริมาณ ทราย / คอนกรีต 1 ลบ.ม. * ราคาต่อหน่วย	
	= $756/2.58 * 280/1000$	= 82 บาท
ราคา รวม		= 3013 บาท

### 2.2 ราคาของ Flowing Concrete ต่อ 1 ลบ.ม.

ราคา ซีเมนต์	= ปริมาณซีเมนต์ / คอนกรีต 1 ลบ.ม. * ราคาต่อหน่วย	
	= $533.33 * 80/50$	= 854 บาท
ราคา Superplasticizer	= ปริมาณ Superplasticizer / คอนกรีต 1 ลบ.ม. * ราคาต่อหน่วย	
	= $16 * 28$	= 448 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคา หิน	= ปริมาณ หิน / คอนกรีต 1 ลบ.ม. * ราคาต่อหน่วย
	= $1020/2.658 * 300/1000$ = 115 บาท
ราคา ทราย	= ปริมาณ ทราย / คอนกรีต 1 ลบ.ม. * ราคาต่อหน่วย
	= $756/2.58 * 280/1000$ = 82 บาท
ราคา รวม	= 1499 บาท

หมายเหตุ : ราคาที่ได้จากร้านค้าทั่วไป

-ซีเมนต์	ราคา 80 บาท/ 50 กก.
-ไมโครซิลิกา	ราคา 30 บาท/ กก.
-Superplasticizer	ราคา 28 บาท/ กก.
-หิน	ราคา 300 บาท/ ลบ.ม.
-ทราย	ราคา 280 บาท/ ลบ.ม.



### 3. การสรุปข้อมูลทางสถิติ

#### 3.1 ความผันแปรเนื่องจากผู้ผลิตคอนกรีต

ความผันแปรเนื่องจากผู้ผลิตคอนกรีตมีสาเหตุหลัก 2 ประการคือ

1. เนื่องจากวัสดุผสม
2. เนื่องจากการชั่งตวง

เป็นที่ทราบกันแล้วว่าวัสดุผสมคอนกรีตส่วนใหญ่มาจากธรรมชาติ ดังนั้นจึงเกิดความผันแปรในคุณสมบัติอยู่ตลอดเวลา เช่น ทรายผสมคอนกรีตจะมีขนาดละเอียดและความละเอียดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่ง , กรรมวิธี และ ช่วงเวลาที่ดูดขึ้นมาใช้ เป็นต้น นอกจากนี้วัสดุผสมแล้ว คอนกรีตในโครงสร้างอาจผันแปรเนื่องจากการชั่งตวง ซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการควบคุมการผลิต รวมทั้งเทคนิคการขนส่ง และการลำเลียงคอนกรีตลงแบบ

ความผันแปรนี้จะไม่มีความสัมพันธ์กับชนิดของโครงสร้างและโดยทั่วไปความผันแปรนี้จะถูกสมมติว่ากระจายไปทั่วทั้งโครงสร้าง เป็นการยากที่จะวัดค่านี้ เพราะเราไม่สามารถแยกความผันแปรเนื่องจากวิธีการทำงาน ณ หน่วยงาน อันได้แก่การจี้เขย่าและการบ่ม แต่ก็สามารถวัดค่าได้โดยพิจารณาความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดสอบก้อนตัวอย่าง

ตารางที่ แรก ก. แสดงระดับการควบคุมขบวนการผลิตคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของก้อนตัวอย่างมากกว่า 30 ตัวอย่าง (กก./ตร.ซม.)	ระดับการควบคุมขบวนการผลิตคอนกรีต
< 28	ดีเลิศ
28-35	ดีมาก
35-42	ดี
42-49	พอใช้
49 >	ใช้ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ความผันแปรเนื่องจากมีมือแรงงาน

ความผันแปรนี้สืบเนื่องมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการคือ การจี้เซย่า และการบ่มคอนกรีต

#### 3.2.1 การจี้เซย่าคอนกรีตเข้าแบบ

วัตถุประสงค์ของการจี้เซย่า เพื่อให้คอนกรีตอัดแน่นและลดปริมาณฟองอากาศ แต่การจี้เซย่าคอนกรีตที่ไม่ถูกวิธี หรือ บริเวณขอบ มุม ใกล้เคียงเปิด หรือระหว่างเหล็กเสริมกับผิวคอนกรีต จะทำให้เนื้อคอนกรีตในโครงสร้างเกิดความผันแปร รวมทั้งในขณะที่จี้เซย่า มวลรวมมีแนวโน้มจะจมตัวลงดันน้ำให้ลอยขึ้น ส่วนล่างหรือฐานของโครงสร้างจะถูกอัดแน่นเนื่องจากผลของ Hydrostatic ซึ่งสัมพันธ์กับความลึกของชั้นส่วนโครงสร้าง ก่อให้เกิดความผันแปรของกำลังอัด ตั้งแต่ฐานถึงส่วนบนของโครงสร้าง

#### 3.2.2 การบ่มคอนกรีต

การบ่ม คือการป้องกันน้ำในคอนกรีตไม่ให้ระเหยออกไปเพื่อให้มันใจว่าจะมีปริมาณน้ำเพียงพอ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันดำเนินไปอย่างสมบูรณ์ โดยทั่วไปน้ำและความชื้นจากผิวคอนกรีตจะระเหยทันทีทันใด หลังจากการเทคอนกรีต และจะดำเนินต่อไปอีกหลายวัน ถ้าไม่มีการบ่มคอนกรีตที่เพียงพอ ปฏิกิริยาไฮเดรชันจะไม่สมบูรณ์ ผลที่ตามมาคือการพัฒนากำลังอัดจะไม่ดี

#### 4. วิเคราะห์การพัฒนากำลังอัดของแท่งทดสอบตัวอย่าง

ตารางที่ แทรก ข. แสดงการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดเทียบกับระยะเวลาการบ่มของ Flowing Concrete

w/c	ค่าความเค้นอัด (ksc)									
	1 วัน	%เพิ่ม	3 วัน	%เพิ่ม	7 วัน	%เพิ่ม	14 วัน	%เพิ่ม	28 วัน	%เพิ่ม
0.22	344.08	0.0	438.94	27.57	501.07	14.15	564.11	12.58	623.50	10.53
0.23	341.20	0.0	452.08	32.50	520.05	15.03	572.06	10.00	606.14	5.96
0.24	354.38	0.0	444.93	25.55	500.76	12.55	559.55	11.74	595.49	6.42
0.25	333.59	0.0	439.30	31.69	523.84	19.24	576.02	9.96	599.57	4.09
0.26	326.30	0.0	409.33	25.44	482.99	17.99	552.97	14.49	590.42	6.77
0.27	321.41	0.0	412.61	28.37	489.96	18.75	554.90	13.25	581.74	4.84
0.28	302.18	0.0	385.93	27.72	479.19	24.17	553.76	15.56	574.06	3.66
0.29	307.70	0.0	381.75	24.06	462.40	21.13	531.20	14.88	576.23	8.48
0.30	297.10	0.0	361.53	21.69	453.42	25.42	500.62	10.41	569.52	13.76
0.31	289.84	0.0	357.18	23.23	448.91	25.68	512.28	14.12	556.08	8.55
0.32	280.95	0.0	352.15	25.34	440.78	25.17	506.96	15.01	551.51	8.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ แทรก ค. แสดงการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดเทียบกับระยะเวลาการบ่มของ High Strength Concrete

w/c	ค่าความเค้นอัด (ksc)									
	1 วัน	%เพิ่ม	3 วัน	%เพิ่ม	7 วัน	%เพิ่ม	14 วัน	%เพิ่ม	28 วัน	%เพิ่ม
0.22	412.95	0.0	474.27	14.85	531.89	12.15	654.49	23.05	812.20	24.09
0.23	403.07	0.0	468.64	16.27	549.88	17.33	658.43	19.74	774.60	17.64
0.24	403.85	0.0	490.92	21.56	542.77	10.56	608.31	12.07	749.33	23.18
0.25	420.67	0.0	471.54	12.09	527.01	11.76	631.82	19.89	721.40	14.18
0.26	397.94	0.0	459.56	15.48	538.37	17.15	626.43	16.36	741.75	18.41
0.27	363.45	0.0	437.78	20.45	518.34	18.40	604.54	16.63	730.59	20.85
0.28	370.15	0.0	430.76	16.37	516.72	19.95	616.56	19.32	740.04	20.02
0.29	363.26	0.0	441.60	21.56	512.72	16.10	562.20	9.65	699.45	24.41
0.30	351.72	0.0	404.48	15.00	504.63	24.76	598.57	18.61	672.89	12.41
0.31	358.07	0.0	424.36	18.51	497.55	17.25	574.52	15.47	649.87	13.12
0.32	358.86	0.0	439.09	22.36	492.90	12.25	583.54	18.39	632.68	8.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ แทรก ง. แสดงการลดลงของกำลังอัดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับ w/c ที่ 0.22 ของ  
Flowing Concrete

w/c	ค่าความเค้นอัด (ksc)									
	1 วัน	%ลด	3 วัน	%ลด	7 วัน	%ลด	14 วัน	%ลด	28 วัน	%ลด
0.22	344.08	0.0	438.94	0.0	501.07	0.0	564.11	0.0	623.50	0.0
0.23	341.20	-0.84	452.08	2.99	520.05	3.83	572.06	1.41	606.14	-2.78
0.24	354.38	2.99	444.93	1.36	500.76	-0.06	559.55	-0.81	595.49	-4.49
0.25	333.59	-3.05	439.30	0.08	523.84	4.54	576.02	2.11	599.57	-3.84
0.26	326.30	-5.17	409.33	-6.75	482.99	-3.61	552.97	-1.97	590.42	-5.31
0.27	321.41	-6.58	412.61	-5.99	489.96	-2.22	554.90	-1.63	581.74	-6.70
0.28	302.18	-12.17	385.93	-12.08	479.19	-4.37	553.76	-1.83	574.06	-7.93
0.29	307.70	-10.57	381.75	-13.03	462.40	-7.72	531.20	-5.83	576.23	-7.58
0.30	297.10	-13.65	361.53	-17.64	453.42	-9.51	500.62	-11.25	569.52	-8.66
0.31	289.84	-15.76	357.18	-18.63	448.91	-10.41	512.28	-9.19	556.08	-10.81
0.32	280.95	-18.35	352.15	-19.77	440.78	-12.03	506.96	-10.13	551.51	-11.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

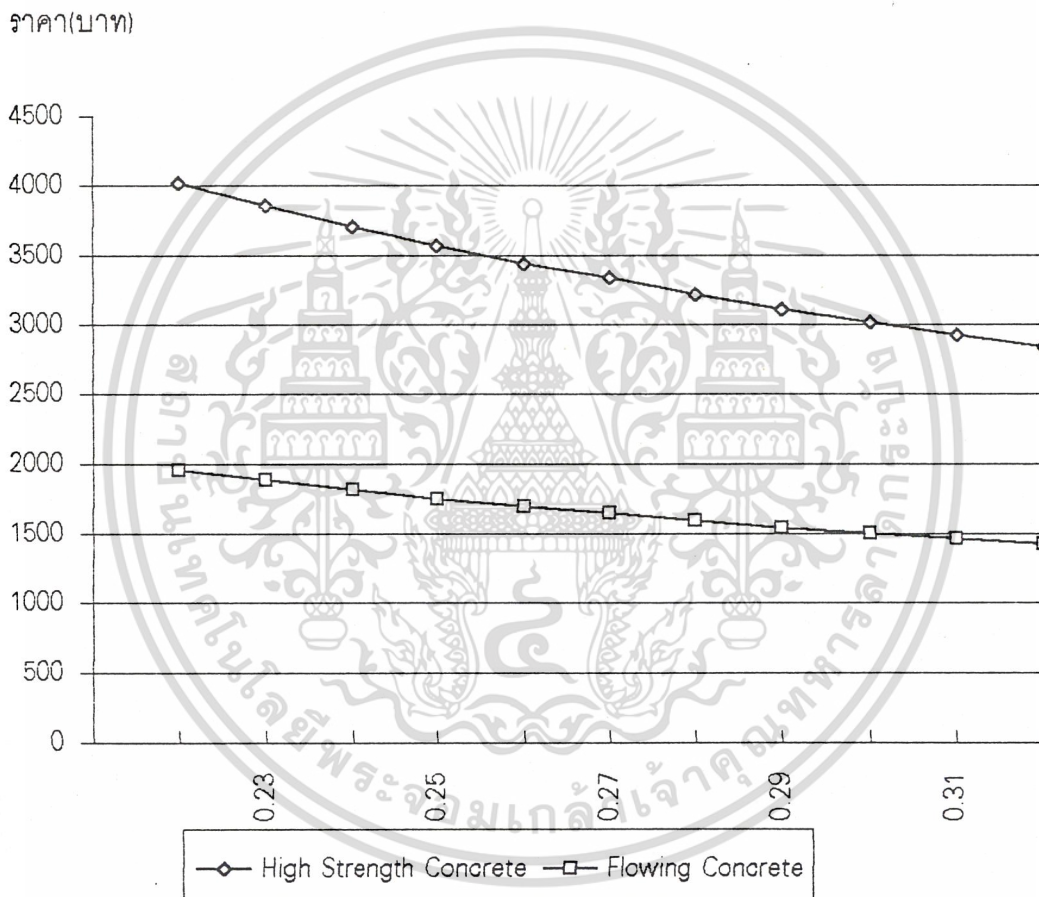
ตารางที่ แทรก จ. แสดงการลดลงของกำลังอัดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับ w/c ที่ 0.22 ของ High Strength Concrete

w/c	ค่าความเค้นอัด (ksc)									
	1 วัน	%ลด	3 วัน	%ลด	7 วัน	%ลด	14 วัน	%ลด	28 วัน	%ลด
0.22	412.95	0.0	474.27	0.0	531.89	0.0	654.49	0.0	812.20	0.0
0.23	403.07	-2.39	468.64	-1.19	549.88	3.38	658.43	0.60	774.60	-4.63
0.24	403.85	-2.20	490.92	3.51	542.77	2.05	608.31	-7.06	749.33	-7.74
0.25	420.67	1.87	471.54	-0.58	527.01	-0.92	631.82	-3.46	721.40	-11.18
0.26	397.94	-3.63	459.56	-3.10	538.37	1.22	626.43	-4.29	741.75	-8.67
0.27	363.45	-11.99	437.78	-7.69	518.34	-2.55	604.54	-7.63	730.59	-10.05
0.28	370.15	-10.36	430.76	-9.17	516.72	-2.85	616.56	-5.79	740.04	-8.88
0.29	363.26	-12.03	441.60	-6.88	512.72	-3.60	562.20	-14.10	699.45	-13.88
0.30	351.72	-14.83	404.48	-14.65	504.63	-5.13	598.57	-8.54	672.89	-17.15
0.31	358.07	-13.29	424.36	-10.52	497.55	-6.46	574.52	-12.22	649.87	-19.99
0.32	358.86	-13.10	439.09	-7.25	492.90	-7.33	583.54	-10.84	632.68	-22.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. การเปรียบเทียบราคาระหว่าง Flowing Concrete และ High Strength Concrete

รูปที่ แทงก ก. แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Flowing Concrete และ High Strength Concrete



อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

M.R. Rixom and N.P. Mailvaganam. "Chemical admixture for Concrete" E. & F.N. Spon, London.

วินิต ช่อวิเชียร "คอนกรีตเทคโนโลยี" ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ. "ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี" , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Theodor A. Burge. 1989 "Sika's Microsilica Technology ", Sika Information Zurich, Switzerland

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. 2536. "คอนกรีตเทคโนโลยี " คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค Hajime Okamura and Kazumasa Ozawa , "Self-Compactable High Performance Concrete in Japan" ,เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง High Performance Concrete วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย , กรุงเทพฯ, 21-22 เมษายน 2537

Ekasit Limsuwan , "Current Development and Utilization of HPC in Thailand" เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาทางวิชาการเรื่อง High Performance Concrete วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, 21-22 เมษายน 2537

นิพนธ์ สาดสูงเนินและณรงค์ ธนสัตยาวิบูล , "การศึกษาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ผสมไมโครซิลิกาและสารลดน้ำพิเศษ" ภาควิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้