

การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตโดยปริมาตร

Concrete Mix Design by Volume



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร

บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตโดยปริมาตร
Concrete Mix Design by Volume



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร
บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Concrete Mix Design By Volume



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




2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตโดยปริมาตร
Concrete Mix Design by Volume

นักศึกษา นายตฤณ พันธุ์น้อย รหัสประจำตัว 53010550
นายพิศิษฐ์ อภิโชติวิสุรัตน์ รหัสประจำตัว 53010766
นายปี่ห่าว แซ่หยิ่ง รหัสประจำตัว 53011005
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศิลป์ชัย งานสุวรรณ

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.คมสัน	มาลีสี	
อาจารย์ศิลป์ชัย	งานสุวรรณ	
ผศ.ศักดิ์ชัย	สกลานพวงษ์	

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.สุพจน์ ศรีนิล)

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตโดยปริมาตร	
นักศึกษา	นายตฤณ	พันธ์น้อย
	นายพิศิษฐ์	อภิโชติวิสุทธิ์รัตน์
	นายปีฬาว	แซ่หยิ่ง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ศิลป์ชัย งานสุวรรณ	
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา คณะ วิศวกรรมโยธา	
ปีการศึกษา	2556	

บทคัดย่อ

คอนกรีตผสมเสร็จเป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญเนื่องจากมีคุณภาพที่สม่ำเสมอ สะดวกในการใช้ และประหยัดเวลาในการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามการประมาณการในการสังคอนกรีตผสมเสร็จนั้นอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของการประมาณปริมาณของคอนกรีตผสมเสร็จไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงทำให้จำเป็นต้องผสมเพิ่มเพื่อให้พอดีต่อความต้องการในการก่อสร้างครั้งนั้นๆและการขยายตัวของชุมชนมีอัตราเพิ่มมากขึ้นทำให้การก่อสร้างมีการขยายตัวตามไปด้วย แต่การคมนาคมนั้นมีการขยายตัวที่ช้ากว่าทำให้การขนส่งเป็นไปด้วยความลำบากเข้าถึงยากจึงจำเป็นต้องมีการผสมคอนกรีตเอง ซึ่งการผสมคอนกรีตโดยที่ไม่มีความรู้เพียงพอจะส่งผลให้คอนกรีตที่ได้นั้นมีกำลังอัดประลัยและค่าการยุบตัวที่ได้ไม่ตรงต่อความต้องการ ส่งผลให้โครงสร้างที่นั้นอาจเกิดความเสียหายเนื่องจากคุณภาพของคอนกรีตมีกำลังอัดประลัยที่น้อยกว่าความต้องการ จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการผสมคอนกรีตโดยปริมาตร ให้ได้คุณสมบัติกำลังอัดประลัยและค่าการยุบตัวให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งาน ทั้งนี้จึงต้องมีการศึกษาถึงอัตราส่วนผสมของคอนกรีตในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อจะได้รู้ว่ากำลังอัดและค่าการยุบตัวของอัตราส่วนผสมให้ได้ตามความต้องการ โดยงานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของการผสมคอนกรีตโดยปริมาตรที่สามารถควบคุมกำลังอัดประลัยและได้ค่าการยุบตัวที่เหมาะสมและแสดงให้เห็นถึงปริมาตรและอัตราส่วนผสมคอนกรีต ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิจัยและทดลองพบว่าอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินมีค่าเท่ากับ 1 : 2 : 4, 1 : 2 : 3 มีค่ากำลังอัดประลัยที่สูง คือ 270 ksc. และ ค่าการยุบตัวที่ 7.5 ± 2.5 เซนติเมตร ซึ่งกำลังอัดประลัยและค่าการยุบตัวนั้นอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามการเลือกอัตราส่วนนั้นควรเลือกให้เหมาะสมกับประเภทของงานก่อสร้าง

Title : Concrete Mix Design By Volume
Name : Mr.Irin Phannoi
Mr.Pasitt Aphichodwasurat
Mr.Peehaw Saeying
Advisor : Mr.Sinchai Jarnsuwan
Field : Civil Engineering
Department : Civil Engineering
Faculty : Engineering

Abstract

Ready mixed concrete is an important material for construction because of its high quality. Whatever, the estimation of ready mixed concrete order maybe incorrect which is lesser than what should be so we need to mix more concrete to reach the amount we expect to afford increasing construction rate from the expansion of community. However, there still be a problem about concrete transportation. So, it is still be necessary by themselves. Which can lead to low quality concrete and error in ultimate strength and slump. Because of under standard – concrete, the structure can be damage. Thus, it is important for concrete mix design by volume to be mixed correctly in ultimate strength and slump. This is our inspiration to make a research about the proportion of concrete in different proportion. Which result to the appropriate ultimate strength and slump. The result the ratio of cement : sand : rock = 1 : 2 : 3 and 1 : 2 : 4 make the maximum ultimate strength at 280 ksc. and 270 ksc and slump at 7.5 ± 2.5 cm. Which is appropriate. However, the engineer should choose the proportion which is suitable for the type of the construction

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะไม่สำเร็จไม่ได้ ถ้าขาดความกรุณาจาก อาจารย์ศิลป์ชัย จานสุวรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ท่านได้ให้การช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และรวมไปถึงแนวทางในการแก้ปัญหา ซึ่งถือได้ว่าเป็นสิ่งที่มีคุณค่าสำหรับผู้วิจัยได้รับมาตลอดการทำวิจัยนี้ ผู้วิจัยรู้สึกได้ถึงความเป็นครูอาจารย์ที่ท่านมีให้กับลูกศิษย์ โดยไม่หวังผลตอบแทนใดๆ นอกจากความรู้ทางด้านวิชาการที่ท่านได้ให้ข้อเสนอแนะที่ดีในการทำงานและสามารถนำไปใช้ในชีวิตได้อีกด้วย

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ท่านได้รับมา และประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาของผู้วิจัย ซึ่งช่วยเป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษา และการสนับสนุนด้านการศึกษาของผู้วิจัยมาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณค่าและประโยชน์อันพึงได้จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
สารบัญ	II
สารบัญตาราง	IV
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 ปัญหาทางวิจัย	1
1.3 วัตถุประสงค์	1
1.4 ขอบเขตการศึกษาโครงการพิเศษ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.6 แผนการดำเนินงาน	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 นิยามและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 นิยามและความหมาย	4
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	21
2.3.1 ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตโดยวิธีทดลองผสม	22
2.3.2 ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตงานสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก	24
2.3.3 ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตโดยวิธีของ ACI	26
บทที่ 3 แผนการดำเนินงาน	32
3.1 การผสมคอนกรีต	32
3.2 การทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test)	34
3.3 การเก็บตัวอย่างคอนกรีต	35
3.4 การบ่มคอนกรีต	36
3.5 ขั้นตอนการทดสอบกำลังอัดประลัย	37
3.6 การคำนวณ	41

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการทดลอง	42
4.1 บทนำ	42
4.2 ผลการทดลองกำลังอัดของคอนกรีต	42
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองกำลังอัดของคอนกรีต	75
4.4 ผลการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต	76
4.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต	76
4.6 วิเคราะห์ผลการหาปริมาตร	77
4.7 วิเคราะห์ปริมาตรคอนกรีตในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	81
บทที่ 5 สรุป	82
5.1 สรุปผลการทดลอง	82
5.2 ข้อเสนอแนะ	83
บรรณานุกรม	84



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงอัตราส่วน	2
ตารางที่ 1.2 รูปขั้นตอนการดำเนินการ	3
ตารางที่ 2.1 ระยะเวลาผสมคอนกรีต	20
ตารางที่ 2.2 ภูมิภาคส่วนผสมคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก	24
ตารางที่ 2.3 ค่ายุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ	26
ตารางที่ 2.4 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ	26
ตารางที่ 2.5 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ	27
ตารางที่ 2.6 อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้	28
ตารางที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต	28
ตารางที่ 2.8 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต	30
ตารางที่ 2.9 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ	31
ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio	43
ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio	44
ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.62 Water Cement Ratio	45
ตารางที่ 4.4 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio	46
ตารางที่ 4.5 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio	47
ตารางที่ 4.6 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio	48
ตารางที่ 4.7 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio	49
ตารางที่ 4.8 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio	50
ตารางที่ 4.9 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio	51
ตารางที่ 4.10 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio	52
ตารางที่ 4.11 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.62 Water Cement Ratio	53
ตารางที่ 4.12 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio	54

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.13 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio	55
ตารางที่ 4.14 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio	56
ตารางที่ 4.15 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio	57
ตารางที่ 4.16 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio	58
ตารางที่ 4.17 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio	59
ตารางที่ 4.18 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio	60
ตารางที่ 4.19 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.62 Water Cement Ratio	61
ตารางที่ 4.20 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio	62
ตารางที่ 4.21 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio	63
ตารางที่ 4.22 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio	64
ตารางที่ 4.23 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio	65
ตารางที่ 4.24 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio	66
ตารางที่ 4.25 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio	67
ตารางที่ 4.26 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio	68
ตารางที่ 4.27 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.62 Water Cement Ratio	69
ตารางที่ 4.28 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio	70
ตารางที่ 4.29 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio	71

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.30 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio	72
ตารางที่ 4.31 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio	73
ตารางที่ 4.32 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio	74
ตารางที่ 4.33 ค่าการยุบตัว	76
ตารางที่ 4.34 ตารางการวิเคราะห์วัสดุที่มีผลต่อค่ายุบตัว	76
ตารางที่ 4.35 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:1.5:3 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)	77
ตารางที่ 4.36 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:2:3 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)	77
ตารางที่ 4.37 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:3:3 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)	78
ตารางที่ 4.38 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:1.5:4 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)	78
ตารางที่ 4.39 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:2:4 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)	79
ตารางที่ 4.40 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:3:4 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)	79
ตารางที่ 4.41 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:2:5 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)	80
ตารางที่ 4.42 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:3:5 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)	80
ตารางที่ 4.43 ตารางปริมาตรที่ใช้ในการผสมคอนกรีตเพื่อให้ได้ 1 ลูกบาศก์เมตร	81
ตารางที่ 4.44 ตารางแสดงผลอัตราส่วนและค่ากำลังอัดประลัย	81

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 จำแนกรูปแบบของคอนกรีต	4
รูปที่ 2.2 คอนกรีตผสมเสร็จ	5
รูปที่ 2.3 ซีเมนต์เพสต์	6
รูปที่ 2.4 วัสดุผสม	7
รูปที่ 2.5 คุณสมบัติของคอนกรีตที่ดี	8
รูปที่ 2.6 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	9
รูปที่ 2.7 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	10
รูปที่ 2.8 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 2	10
รูปที่ 2.9 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3	11
รูปที่ 2.10 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 4	11
รูปที่ 2.11 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5	12
รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	32
รูปที่ 3.2 น้ำ	32
รูปที่ 3.3 ทราเยมน้ำ	33
รูปที่ 3.4 หินคละ	33
รูปที่ 3.5 เครื่องผสมคอนกรีต	33
รูปที่ 3.6 กระบะตวงขนาด 20x20x25 cm	33
รูปที่ 3.7 การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต	35
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก	36
รูปที่ 3.9 การบ่มคอนกรีตแบบขังหรือหล่อน้ำ (PONDING)	36
รูปที่ 3.10 การบ่มคอนกรีตโดยใช้แผ่นพลาสติกห่อ	37
รูปที่ 3.11 การวัดตัวอย่างคอนกรีต	38
รูปที่ 3.12 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต	38
รูปที่ 3.13 การ Cap คอนกรีต	39
รูปที่ 3.14 การติดตั้งตัวอย่างในเครื่อง Compressometer	39
รูปที่ 3.15 การทดสอบก้อนตัวอย่างคอนกรีตในเครื่อง Compressometer	40
รูปที่ 3.16 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตหลังจากทดสอบในเครื่อง Compressometer	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready-mixed concrete หรือ RMC) เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญและถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณภาพที่สม่ำเสมอ สะดวกในการใช้ และประหยัดเวลาในการก่อสร้าง ทำให้การก่อสร้างในปัจจุบันนิยมใช้คอนกรีตผสมเสร็จในการทำการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามการประมาณการในการสั่งคอนกรีตผสมเสร็จนั้นอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของการประมาณปริมาณของคอนกรีตผสมเสร็จไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงทำให้จำเป็นต้องผสมเพิ่มเพื่อให้พอดีต่อความต้องการในการก่อสร้างนั้นๆ

การขยายตัวของชุมชนมีอัตราเพิ่มมากขึ้นในทุกพื้นที่ทำให้ความต้องการที่พักอาศัยเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การก่อสร้างมีการขยายตัวตามไปด้วย อย่างไรก็ตามการคมนาคมนั้นมีการขยายตัวที่ช้ากว่าทำให้การขนส่งเป็นไปด้วยความลำบากเข้าถึงยาก จึงจำเป็นต้องมีการผสมคอนกรีตเอง ซึ่งไม่สามารถควบคุมคุณสมบัติของกำลังอัดประลัยให้เป็นไปตามความต้องการ อีกทั้งยังทำให้ค่าการยุบตัวอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานได้

การผสมคอนกรีตโดยที่ไม่มีความรู้เพียงพอจะส่งผลให้คอนกรีตที่ได้นั้นมีกำลังอัดประลัยและค่าการยุบตัวที่ได้ไม่ตรงต่อความต้องการ ซึ่งจะส่งผลให้โครงสร้างที่ได้เกิดความเสียหายเนื่องจากคุณภาพของคอนกรีตมีกำลังอัดประลัยที่น้อยเกินกว่าความต้องการ

จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการผสมคอนกรีตโดยปริมาตร ให้ได้คุณสมบัติกำลังอัดประลัยและค่าการยุบตัวให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งาน ทั้งนี้จึงต้องมีการศึกษา อัตราส่วนผสมของคอนกรีตในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อจะได้รู้ว่ากำลังอัดประลัยและค่าการยุบตัวของอัตราส่วนผสมให้ได้ตามความต้องการ

1.2 ปัญหางานวิจัย

อัตราส่วนของการผสมคอนกรีตส่งผลโดยตรงต่อการรับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ทั้งยังมีผลต่อค่ายุบตัวของคอนกรีตอีกด้วย โดยทั่วไปมักใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหิน 1:2:4 ในการผสมคอนกรีตเพิ่มเติม ในกรณีที่สั่งคอนกรีตผสมเสร็จไม่เพียงพอต่อความต้องการ หรือในกรณีที่พื้นที่การก่อสร้างยากต่อการเข้าถึงของรถขนส่งคอนกรีต จึงทำให้จำเป็นต้องผสมคอนกรีตหน้างาน อย่างไรก็ตามการผสมดังกล่าวไม่สามารถควบคุมกำลังอัดประลัยและค่าการยุบตัวได้ตามต้องการ

1.3 วัตถุประสงค์

งานวิจัยชิ้นนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของการผสมคอนกรีตที่สามารถควบคุมกำลังอัดประลัยและได้ค่าการยุบตัวที่เหมาะสม และแสดงให้เห็นถึงปริมาตรและอัตราส่วนผสมคอนกรีต

1.4 ขอบเขตการศึกษาโครงการพิเศษ

1. ระยะเวลาการศึกษา เดือน กรกฎาคม 2556 – กุมภาพันธ์ 2557
2. ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วน

ปูนซีเมนต์	ทราย	หิน
1	1.5	3
1	1.5	4
1	2	3
1	2	4
1	2	5
1	3	3
1	3	4
1	3	5

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงอัตราส่วน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ตั้งวัตถุประสงค์ของโครงการและศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำโครงการพิเศษ เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินโครงการพิเศษ
2. วางแผนการทำงานพร้อมตั้งขอบเขตของงานโดยใช้อัตราส่วนการผสม 1:1.5:3, 1:1.5:4, 1:2:3, 1:2:4, 1:2:5, 1:3:3, 1:3:4, 1:3:5
3. ทำการผสมคอนกรีตด้วยวัสดุวางลงในไม่ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ เก็บตัวอย่างแบบ Cylinder ทำการผสมอัตราส่วนละ 1 ครั้ง และเก็บตัวอย่างครั้งละ 15 ตัวอย่าง (ในการผสมคอนกรีตในแต่ละอัตราส่วน จะทำการหาปริมาตรก่อนผสม เพื่อดูว่าปริมาตรที่ได้เป็นเท่าไรเพื่อใช้ในการทำงานสนาม)
4. ทำการบ่มตัวอย่างที่เก็บไว้ด้วยวิธีการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีตและการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต ที่ 7, 14 และ 28 วัน
5. ทำการทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างที่ 7, 14 และ 28 วันด้วยเครื่อง Universal Testing Machine และบันทึกค่าที่ได้
6. รวบรวมข้อมูล เปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลการทดลอง
7. สรุปผลการทดลอง หลังการ ข้อเสนอแนะ
8. เรียบเรียงข้อมูลและจัดทำรูปเล่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการทำงาน	เวลาการปฏิบัติงาน							
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ตั้งวัตถุประสงค์การทำโครงการ	█							
2. รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ	█	█	█					
3. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	█	█	█					
4. วางแผนงานและขอบเขต	█	█	█					
5. เตรียมอุปกรณ์			█	█	█			
6. ทำการทดลองและเก็บตัวอย่างทดลอง					█	█	█	
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง							█	█
8. จัดรูปเล่ม								█

ตารางที่ 1.2 รูปขั้นตอนการดำเนินการ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงปริมาณและอัตราส่วนในการผสมของคอนกรีตในสนาม เพื่อได้กำลังอัดประลัยและได้ค่าการยุบตัวที่เหมาะสม

บทที่ 2 นิยามและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

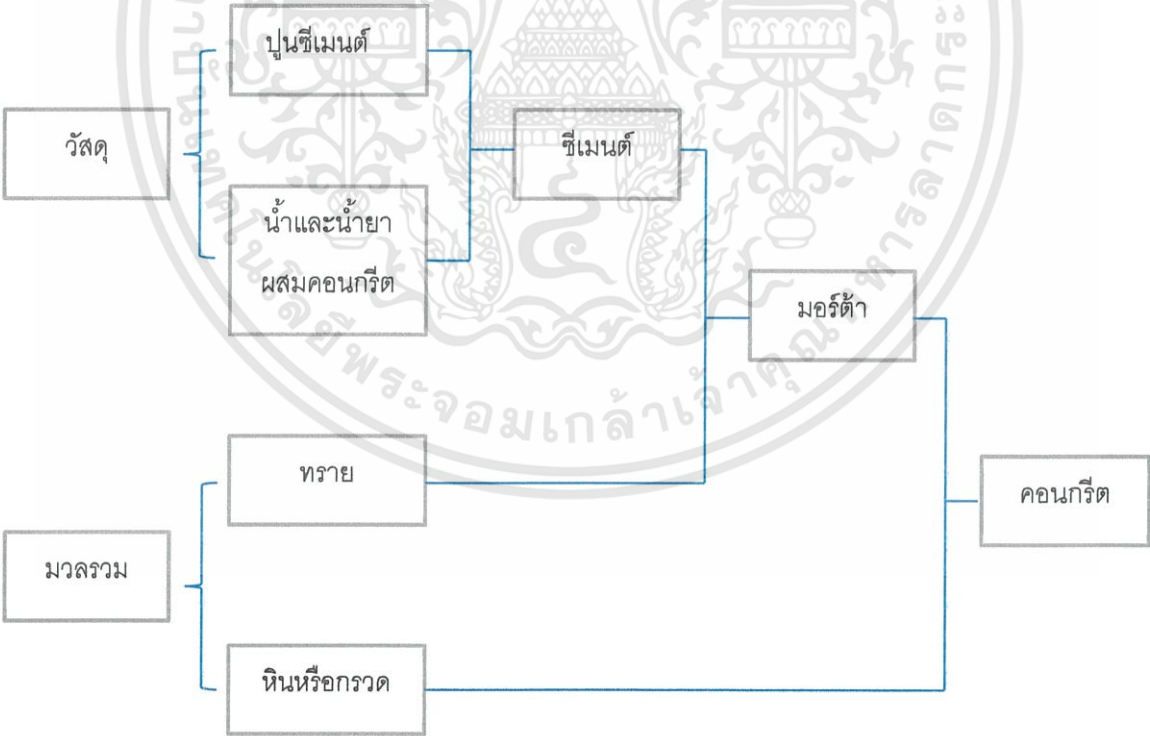
2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงนิยามและทฤษฎีมีความสำคัญต่อการศึกษาและวิจัยถึงคำจำกัดความเกี่ยวกับโครงการและมีการรวบรวมประเด็น แนวคิด ทฤษฎี รวมถึงเอกสารสิ่งพิมพ์ต่างๆที่ได้ศึกษามาเพื่อเพิ่มความเข้าใจในเนื้อหาได้ดีขึ้น

2.2 นิยามและความหมาย

โดยทั่วไปวัสดุสำหรับใช้ผสมทำคอนกรีตประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ หิน ททราย น้ำและน้ำยาผสมคอนกรีตเมื่อผสมวัสดุต่างๆเข้าด้วยกัน เราจะเรียกชื่อของวัสดุต่างๆที่ผสมกันดังนี้

- ปูนซีเมนต์ผสมน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste)
- ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทราย เรียกว่า มอร์ต้า (Mortar)
- มอร์ต้าผสมกับหินหรือกรวด เรียกว่า คอนกรีต (Concrete)



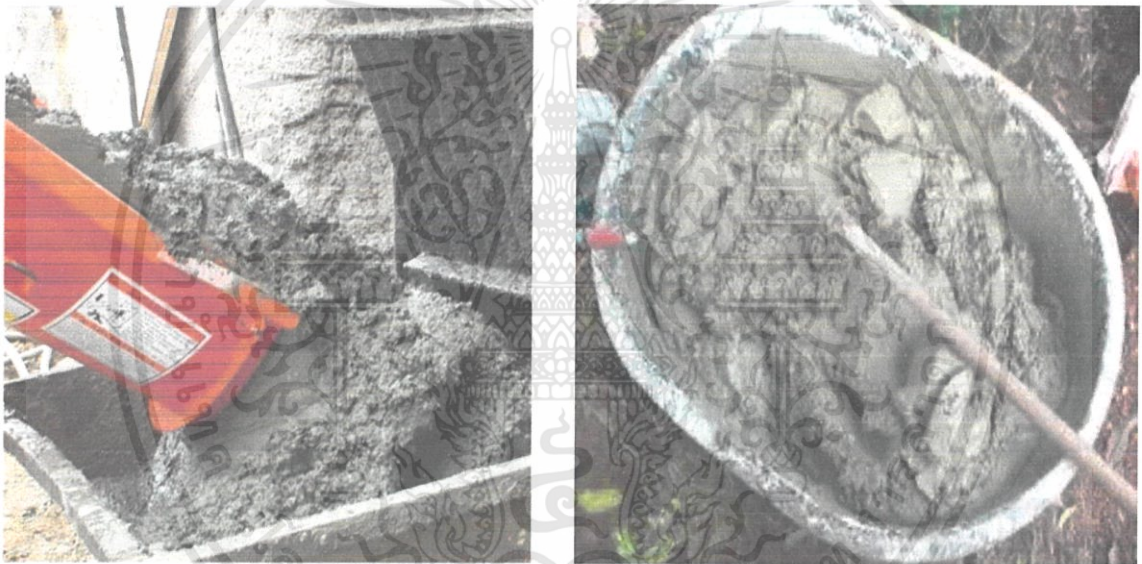
รูปที่ 2.1 จำแนกรูปแบบของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คอนกรีตสด คือ คอนกรีตที่หลังจากผสมวัสดุต่างๆเข้าด้วยกันแล้วอยู่ในสภาพเหลวและยังสามารถเทเข้าแบบได้โดยยังไม่เกิดการเริ่มก่อตัว (STIFFENING TIME)

2. คอนกรีต คือ วัสดุที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้งานเป็นโครงสร้าง โดยได้จากการผสมซีเมนต์ทราย หินหรือกรวดและน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับซีเมนต์ทำให้ได้ซีเมนต์เพสต์ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวเชื่อมประสานแทรกตัวตามเม็ดทรายและก้อนหินรวมตัวกันเป็นก้อนคอนกรีตและจะแข็งตัวขึ้นเรื่อยๆจนสามารถรับแรงอัดได้

คอนกรีตมีความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุโครงสร้างได้ดีกว่าวัสดุอื่นๆ เช่น อิฐ ไม้หรือเหล็ก เพราะสามารถสร้างให้มีรูปร่างและขนาดตามที่ต้องการได้ โครงสร้างคอนกรีตที่เห็นกันอยู่ทั่วไป เช่น เสา คาน พื้น ถนน ท่อระบายน้ำ เขื่อนกันน้ำ ฯลฯ



รูปที่ 2.2 คอนกรีตผสมเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อคอนกรีตแยกได้เป็นสองส่วนใหญ่ คือ

2.1 ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste) หรือเรียกว่าเพสต์ จะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ และฟองอากาศ ซีเมนต์เพสต์เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำทำหน้าที่เป็นตัวประสาน โดยซีเมนต์จะเข้าไปแทรกตามช่องว่างของหินและทราย และเคลือบเม็ดทรายและหินทั้งหมดให้เกาะตัวจับกันเป็นก้อน ความแข็งแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งคุณภาพของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (Water-Cement ratio) ที่ใช้ในส่วนผสมและการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างซีเมนต์กับน้ำ เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนแรกและจะช้าลงในตอนหลังๆ ภายใต้ภาวะที่เหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับ เวลา อุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 2.3 ซีเมนต์เพสต์

2.2 วัสดุผสม แบ่งออกตามขนาดได้เป็นสองพวก คือ วัสดุผสมละเอียดและวัสดุผสมหยาบ วัสดุผสมละเอียด (Fine Aggregates) หมายถึง วัสดุที่มีขนาดเล็กละเอียดสามารถลอดผ่านตะแกรงร้อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ เช่น ทราย วัสดุหยาบ (Coarse Aggregates) หมายถึง วัสดุผสมที่มีก้อนขนาดใหญ่ไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงร้อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ เช่น หินหรือกรวด การเลือกใช้วัสดุผสมถือว่ามีความสำคัญเพราะในเนื้อคอนกรีตมีวัสดุผสมอยู่ประมาณ 60-80% ของปริมาตรทั้งหมด ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพและราคาของคอนกรีต วัสดุผสมที่ดีเหมาะกับการผสมคอนกรีตต้องแข็งแรง รับแรงอัดได้ดี ทนทาน ไม่ขยายตัวมาก และสะอาดไม่มีสารที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีต นอกจากนี้วัสดุผสมควรมีขนาดคละที่ดี (Gradation) เพื่อให้ได้เนื้อคอนกรีตที่แน่น มีช่องว่างน้อย (Void) ในเนื้อคอนกรีต อาจมีการเติมสารผสมเพิ่ม (admixture) เช่น สารเคมีผสมเพิ่มหรือสารสารผสมเพิ่มแบบแร่ธาตุ เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงในคอนกรีตสดหรือคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีคุณสมบัติตามที่ต้องการเช่นมีความสามารถเทได้ดีขึ้นหรือแข็งตัวช้าลง

อย่างไรก็ตามถึงแม้จะใช้สัดส่วนการผสมให้ดีเพียงใด ถ้าการผสม การลำเลียง การเทการทำให้แน่น ตลอดจนการบ่มทำได้ไม่ดีพอก็จะไม่ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพตามต้องการ การจะนำคอนกรีตไปใช้เป็นโครงสร้างเราจำเป็นต้องรู้จักคุณสมบัติที่สำคัญและประโยชน์ของวัสดุคอนกรีต ต้องรู้จักเลือกใช้สัดส่วนผสมของคอนกรีตให้เหมาะสมกับงาน อีกทั้งต้องรู้จักวิธีดำเนินการเพื่อให้ได้คอนกรีตที่ดี



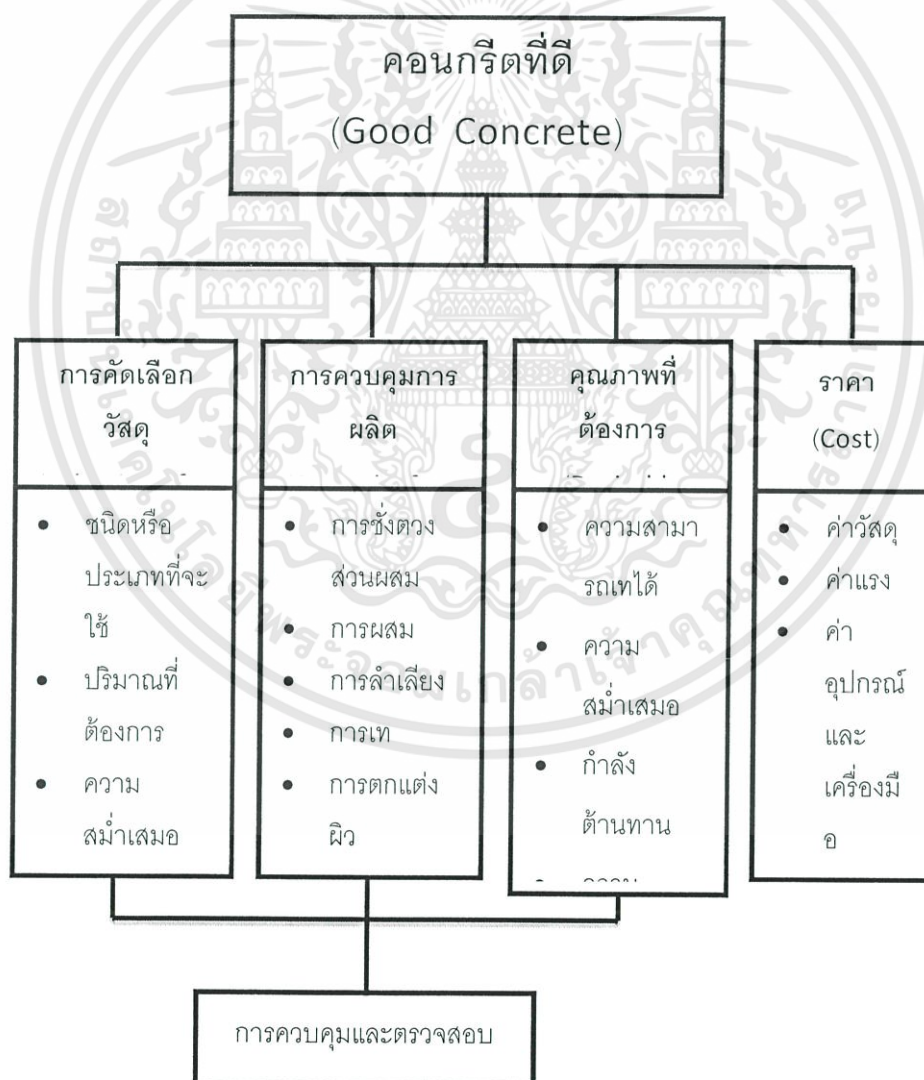
รูปที่ 2.4 วัสดุผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยต่างๆ ที่ควรได้รับการพิจารณาเพื่อให้ได้คอนกรีตที่ดี มีคุณภาพและความคงทนตามต้องการ ในแต่ละปัจจัยที่แสดงในรูปที่ 2.2 นี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน หากสามารถดำเนินการควบคุมและตรวจสอบให้เกิดความเหมาะสมกันดี ก็อาจเรียกขบวนการทำหรือผลิตคอนกรีตนั้นว่า มีความสมดุลและเหมาะสม (Balance)

คอนกรีตที่มีคุณภาพ คือ คอนกรีตที่มีคุณสมบัติต่างๆ เหมาะสมตรงตามลักษณะของการใช้งานในประเภทนั้นๆ

คุณสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการโดยทั่วไป คือ ในสภาพเหลวต้องมีความสามารถเทได้ (WORKABILITY) , ไม่มีการแยกตัว (SEGREGATION) , ใช้พลังงานในการทำงานน้อย ในสภาพที่แข็งตัวแล้วจะต้องมีกำลัง (STRENGTH) สูงพอ , ทึบน้ำ (IMPERMEABILITY) , หดตัวน้อยปราศจากรอยแตกร้าวภายในไม่มีโพรงหรือช่องว่างจากการเท



รูปที่ 2.5 คุณสมบัติของคอนกรีตที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์เกิดจากการบดปูนเม็ด ซึ่งเม็ดปูนเกิดจากการเผาส่วนผสมระหว่างหินปูนและดินเหนียว เมื่อนำมาบดจะได้เป็นผงปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่จะกล่าวถึงนี้จะหมายถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) เมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์นั้น การทำปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) อัตราการก่อตัวและแข็งตัวตลอดจนปริมาณความร้อนที่เกิด ขึ้นอยู่กับความละเอียดและส่วนประกอบของผงปูน

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่สุดในการก่อสร้างทางวิศวกรรมปัจจุบันเพราะเมื่อน้ำปูนซีเมนต์ไปผสมรวมกับ หิน ทรายและน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้เป็นคอนกรีตซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะแข็งและทนทานคล้ายหิน ตัวอย่างสิ่งก่อสร้างที่ใช้คอนกรีต เช่น ฐานราก คาน ตอม่อ เขื่อนกั้นน้ำ สะพาน พื้นและถนน



รูปที่ 2.6 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของปูนซีเมนต์

สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ASTM C 150) และสำนักงานมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ม.อ.ก. 15) แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภท

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้
ในการทำคอนกรีตที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป
ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียวและตราเพชรเม็ดเดียว



รูปที่ 2.7 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) ใช้
สำหรับการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น
งานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงกันดินหนาๆ ตอม่อสะพาน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังช้ากว่า
ปูนซีเมนต์ประเภท 1 ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร



รูปที่ 2.8 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High-early Strength Portland Cement) หรือซูเปอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทนี้ให้กำลังรับแรงสูงในระยะแรก มีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนพอร์ตแลนด์ธรรมดา มีประโยชน์สำหรับการทำคอนกรีตที่ต้องการแรงใช้งานเร็ว และยังเหมาะกับการทำคอนกรีตในสภาพอากาศหนาว คอนกรีตที่หล่อด้วยปูนซีเมนต์ประเภทนี้เพียง 3 วัน จะมีกำลังเท่ากับคอนกรีตที่หล่อด้วยปูนซีเมนต์ธรรมดาที่ 28 วัน ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดงและตราสามเพชร



รูปที่ 2.9 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะกับการก่อสร้างคอนกรีตหนา เช่น เขื่อน



รูปที่ 2.10 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตสูง (Sulfate-Resistant Portland Cement)เป็นปูนที่มีความสามารถทนต่อซัลเฟตได้สูงกว่าปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆ เหมาะสำหรับใช้กับงานคอนกรีตที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น บริเวณใกล้ทะเล หรือดินที่มีค่าสูง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ แข็งตัวช้ากว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้างฟ้า ตราปลาฉลาม



รูปที่ 2.11 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5

4. วัสดุผสม หินย่อย กรวด และทราย ที่ใช้ในงานก่อสร้าง เรียกว่า วัสดุผสม (Aggregates) ซึ่งเป็นพวกแร่ธาตุเฉื่อย (inert materials) ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เฟส โดยปกติคอนกรีตที่ใช้ทั่วไปมีปริมาณวัสดุผสมร้อยละ 60-75 ของปริมาตรคอนกรีต ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพคอนกรีตทั้งในสภาวะเหลวและแข็งตัวแล้ว วัสดุผสมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

4.1 วัสดุละเอียด หมายถึง ทราย ปกติเป็นหินชั้น ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยถูกการแปรรูปหรือกะเทาะจากหินและกรวด แร่ธาตุที่ประกอบเป็นทราย ส่วนมากเป็นควอร์ตหรือไมกา ทรายที่เกิดขึ้นเองบนบก เรียกว่าทรายบก ทรายที่เกิดจากลำธาร แม่น้ำ เรียกว่าทรายแม่น้ำ ทรายที่เกิดจากทะเล เรียกว่าทรายเค็ม ทรายที่นำมาใช้ในงานคอนกรีต ได้แก่ ทรายละเอียดเม็ดเล็ก (ทรายยูธยา) ขนาด 0.5-1.5 มม. ทรายเม็ดกลาง (ทรายอ่างทอง) ขนาด 1-2 และ 3 มม. ทรายหยาบเม็ดใหญ่ (ทรายราชบุรี) ขนาด 24 มม.

ในวงการก่อสร้างทั่วไป ทรายที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายนั้น ได้จากทรายแม่น้ำ มีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน คือ

- ทรายหยาบ หรือที่เรียกว่า ทรายราชบุรี เป็นทรายเม็ดใหญ่ มีเหลี่ยม แฉกมุม แข็งแรงดี เหมาะสำหรับใช้เป็น ส่วนผสมของคอนกรีต ที่ต้องการต้านทานกำลังสูง เช่น โครงสร้างสะพาน อาคารที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานราก เขื่อนกันดิน เป็นต้น ทรายชนิดนี้จะมี เปลือกหอย และเศษหินปะปนอยู่ เวลาจะใช้ต้องนำไปร่อนด้วยตะแกรง ทำความสะอาดเสียก่อน

- ทรายกลาง หรือที่เรียกว่า ทรายอ่างทอง เป็นทรายที่มีขนาดปานกลาง ไม่หยาบและไม่ละเอียดนัก เหมาะสำหรับงานปูนทั่วไป เช่น นำมาเป็นส่วนผสมของปูนก่อ สำหรับ ก่ออิฐ หรือใช้เทพื้นคอนกรีตที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก ทรายชนิดนี้ เวลาจะใช้จะต้องร่อน เอาเปลือก หอยและสิ่งอื่นๆที่ไม่ต้องการออกเสียก่อน

- ทรายละเอียด หรือที่เรียกว่า ทรายอยุธยา เป็นทรายเม็ดละเอียดมาก นำมาใช้กับงานที่ไม่ต้องใช้กำลังมากนัก เหมาะสำหรับนำมาเป็นส่วนผสมของปูนฉาบผิวหน้า ทำบัว ทำลวดลายต่างๆ ก่อนใช้จะต้องร่อนทรายเพื่อขจัดสิ่งต่างๆ ที่ไม่ต้องการออก

4.2 วัสดุผสมหยาบ เป็นวัสดุที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม. ขึ้นไป ได้แก่ หิน กรวด หินที่ใช้ในการก่อสร้าง ส่วนใหญ่ระเบิดเอามาจากภูเขา แหล่งผลิตหินในประเทศไทยได้แก่ จังหวัดสระบุรี ลพบุรี ราชบุรี หินที่ได้ส่วนใหญ่เป็นหินปูน

คุณสมบัติของวัสดุผสมหยาบในคอนกรีต

- ความแข็งแรง (STRENGTH) กำลังอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) ของคอนกรีตขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของ มอลตาและมวลรวม ดังนั้นเมื่อมวลรวมมีความแข็งแรงสูงก็มีผลให้คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้สูงขึ้นด้วย มวลรวมต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีตความแข็งแรงของหินปูนมีค่าประมาณ 700 – 1500 กก./ ซม.²

- รูปร่างและลักษณะผิว (PARTICLE SHAPE AND SURFACE TEXTURE) รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดมากกว่าของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว มวลรวมที่มีผิวหยาบมีรูปร่างแบนยาวจะต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์มากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรูปร่างกลมมน หรือเหลี่ยมที่ระดับความสามารถเท่าได้ (WORKABILITY) เดียวกัน มวลรวมที่มีรูปร่างแบนและยาวมีโอกาสที่จะแตกหักเนื่องจากแรงตัดได้ง่ายกว่ามวลรวมที่มีรูปร่างกลมหรือเหลี่ยม ส่งผลให้กำลังอัด (STRENGTH) ของคอนกรีตลดต่ำลงเช่นเดียวกับมวลรวมที่มีผิวเรียบสลับทำให้แรงยึดเหนี่ยว ระหว่างก้อนโดยเพสต์น้อยลงทำให้การแตกหักของคอนกรีตจะเกิดขึ้นในบริเวณส่วนที่เป็นซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำให้กำลังยึดเกาะน้อยกว่าความสามารถรับกำลังอัดของมวลรวม ดังนั้นมวลรวมที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นแฉกเหลี่ยมคม ไม่เป็นแผ่นแบนหรือชิ้นยาวควรมีผิวหยาบหรือด้านเพื่อช่วยมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนดีขึ้น

- ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (CHEMICAL STABILITY) มวลรวมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอก มวลรวมบางประเภทจะทำปฏิกิริยากับด่าง (ALKALI) ในปูนซีเมนต์เกิดเป็นวุ้นและขยายตัวก่อให้เกิดรอยร้าว โดยทั่วไปในคอนกรีตเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ALKALI – AGGREGATE REACTION (AAR)

- ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (MAXIMUM SIZE OF AGGREGATE) ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม วัดจากขนาดตะแกรงอันที่ใหญ่กว่าถัดไปจากตะแกรงที่มีเปอร์เซ็นต์ของมวลรวมที่ค้างมากกว่าหรือเท่ากับ 15% มวลรวมขนาดใหญ่ต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมที่มีขนาดเล็ก เพื่อให้การเทได้ (WORKABILITY) เท่ากัน เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสโดยรอบน้อยกว่าเมื่อน้ำหนักของมวลรวมเท่ากัน

ดังนั้นถ้าให้ปริมาณซีเมนต์และค่ายุบตัว (SLUMP) เท่ากัน คอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมขนาดใหญ่ก็จะให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่ามวลรวมขนาดเล็ก แต่ทั้งนี้คุณภาพของหินต้องเป็นไปตามข้อกำหนดควรระวังเรื่องของ MICRO- CRACKING ซึ่งมีลักษณะเป็นรอยร้าวขนาดเล็กๆ เกิดจากกรรมวิธีการผลิตหินมักจะเกิดขึ้นกับหินที่มีขนาดใหญ่ หินที่มี MICRO-CRACKING เมื่อนำมาผสมทำคอนกรีตก็จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงได้ (ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปมักจะมีขนาดไม่เกิน (40 มิลลิเมตร)

- ขนาดคละ (GRADATION) ขนาดคละ คือ การกระจายของขนาดต่างๆ ของอนุภาค มวลรวมในคอนกรีตประกอบด้วย มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด ซึ่งจะต้องมีขนาดใหญ่ เล็ก คละกันไป คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละดีจะมีส่วนผสมที่เข้ากันสม่ำเสมอ เทเข้าแบบได้ง่าย ไม่ออกหินออกทราย ทำให้แน่นได้ง่าย การปาดแต่งผิวหน้า กำลังอัดและความทนทานยังเป็นไปตามข้อกำหนด

มวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 ประมาณ 95-100% เราเรียกว่า “ มวลรวมหยาบ ” ซึ่งได้แก่ หิน กรวด เป็นต้น

มวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 ประมาณ 95-100% เราเรียกว่า “ มวลรวมละเอียด ” ซึ่งได้แก่ ทราย หินบดละเอียด เป็นต้น

มวลรวมที่มีขนาดคละดีจะทำให้ช่องว่างเหลือน้อยที่สุดทำให้ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสตน้อยที่สุดซึ่งช่วยให้คอนกรีตมีราคาต่ำลงได้

คอนกรีตที่มีมวลรวมละเอียดมากเกินไป จะทำให้ความสามารถในการเทได้ (WORKABILITY) น้อยลง จึงทำให้น้ำและเพสตันให้มากขึ้นแต่ก็ส่งผลต่อกำลังของคอนกรีต

คอนกรีตที่มีมวลรวมหยาบมากเกินไปแม้ว่าความสามารถในการเทได้ (WORKABILITY) จะดีแต่ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาการแยกตัว (SEGREGATE) ของคอนกรีตมวลรวมที่มีขนาดคละดีก็จะส่งผลให้คอนกรีตมี WORKABILITY ดี , STRENGTH ดี และราคาต่ำด้วย

มวลรวมที่มีขนาดคละดี หมายถึง มวลรวมที่มีมวลรวมหยาบและละเอียดขนาดต่างๆ กัน คละเคล้ากันให้เหลือช่องว่างน้อยที่สุด

อัตราส่วนของทรายต่อมวลรวม (S/A) อยู่ในช่วง 0.40-0.50 โดยน้ำหนักหินที่ใช้มี SIZE NUMBER 6 (หินกลาง) และ SIZE NUMBER 7 (หินเล็ก) นำมารวมกันในอัตราส่วน SIZE

NO.6 /SIZE NO.7 เท่ากับ 50-65% โดยน้ำหนัก

- ค่าความละเอียด (FINENESS MODULUS) , (F.M.) โมดูลัสความละเอียดเป็นค่าที่บอกความละเอียดของทรายหาได้โดยการรวมค่าเปอร์เซ็นต์ต่างสะสม (CUMULATIVE PERCENTAGES RETAINED) บนตะแกรงเบอร์ 4,8,16,30,50 และ 100 แลวหารด้วย 100

- ทรายสำหรับผลิตคอนกรีต ควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดตั้งแต่ 2.2 - 3.2
- ค่า F.M. น้อย (F.M. 2.2) แสดงว่า ทรายละเอียด
- ค่า F.M. มาก (F.M. 3.2) แสดงว่า ทรายหยาบ
- ค่า F.M. ที่เหมาะกับงานคอนกรีต = 2.7

ทรายที่มีความละเอียด (F.M. 2.2) จำเป็นต้องใช้จำนวนมากเพื่อให้ได้ความสามารถที่ (WORKABILITY) ที่เท่ากันเนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า เมื่อน้ำหนักเท่ากันถ้าทรายมีความหยาบมากเกินไป (F.M. 3.2) ก็จะทำให้ความสามารถในการแทรกประสานเข้าไปในช่องระหว่างมวลรวมหยาบไม่เพียงพอ ต้องใช้ปริมาณเพสต์เพื่อเข้าไปแทนที่ช่องว่างมากขึ้นอันทำให้คอนกรีตที่ได้มีราคาสูงขึ้นด้วย

- ความชื้นและการดูดซึม (MOISTURE AND ABSORPTION) มวลรวมมีรูพรุนภายในบางส่วนติดต่อกับผิวนอกจึงสามารถดูดความชื้นและน้ำบางส่วนดังนั้นมวลรวมที่เก็บอยู่ในสภาพธรรมชาติจึงมีความชื้นต่างๆ กันไปหากมวลรวมอยู่ในสภาพแห้งก็จะดูดน้ำผสมเข้าไปทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จริงลดลง หากเปียกชื้นก็ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จริงสูงกว่าที่ควรจะเป็น

อาจแบ่งสภาพความชื้นออกได้เป็น 4 ลักษณะ ดังนี้

- อบแห้ง (OVEN-DRY) ความชื้นถูกขับออกด้วยความร้อนในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่

- แห้งในอากาศ (AIR-DRY) ผิวแห้งแต่อาจมีน้ำในรูพรุน

- อิ่มตัวผิวแห้ง (SATURATED SURFACE-DRY) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำแต่ผิวแห้ง

- เปียก (WET) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำ และมีน้ำบนผิวด้วย

- ความถ่วงจำเพาะ (SPECIFIC GRAVITY) ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมคืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของมวลรวมต่อความหนาแน่นของน้ำ

หรือ ถ.พ. ของมวลรวม = น้ำหนักมวลรวม / น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน

ถ.พ. ทราย = 2.65

ถ.พ. หิน = 2.70

ถ.พ. ซีเมนต์ = 3.15

ค่า ถ.พ. ใช้ในการแปลงน้ำหนักของวัตถุนั้นให้เป็นปริมาตร

- หน่วยน้ำหนัก และช่องว่าง (UNITWEIGHT AND VOID) หน่วยน้ำหนัก คือน้ำหนักของมวลรวมในขนาดคละที่ต้องการต่อหน่วยปริมาตร หน่วยน้ำหนักจะบอกถึงปริมาตรและช่องว่างระหว่างมวลรวมที่มวลรวมน้ำหนักหนึ่งๆ จะบรรจุลงได้ หน่วยน้ำหนักของมวลรวมที่ใช้อยู่ทั่วไปในประเทศไทยมีค่า 1,400-1,600 กก./ลบ.เมตร การนำเอามวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดมาผสมกันด้วยอัตราส่วนต่างๆ จะมีผลต่อหน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสม

5. น้ำสำหรับใช้ผสมคอนกรีต น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการผสมคอนกรีต เพราะนอกจากจะมีผลต่อความสามารถในการเทของคอนกรีตสดและต่อกำลังตลอดจนความทนทานของคอนกรีต น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตควรมีความสะอาด ไม่มีสารเจือปน เช่น กรด ด่าง และสารอินทรีย์ อื่น ๆ โดยปกติน้ำส่วนใหญ่ในธรรมชาติที่ไม่มีการปนเปื้อนจากน้ำเสียของอาคารบ้านเรือน ถือว่ามีคุณภาพดีสำหรับการใช้ผสมคอนกรีต

หน้าที่หลักของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต

1.) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมกับปูนซีเมนต์และทำปฏิกิริยาทางเคมี

2.) ทำหน้าที่เคลือบผิวของหินและทรายให้เปียก เพื่อให้ปูนซีเมนต์ยึดเกาะโดยรอบผิวของหินและทราย

3.) ทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นให้วัสดุทั้ง 3 (ปูน ทราย หิน) เกิดความเหลว สามารถเทและเขย่าเข้าแบบหล่อต่าง ๆ ได้

สารต่างๆที่เจือปนอยู่ในน้ำ จะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการก่อตัวและกำลังตลอดจนความทนทานของคอนกรีต ได้แก่ ฟูนหรือผง น้ำมัน กรด ต่าง เกือบต่าง สารอินทรีย์ต่างๆ รวมทั้งน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม

วิธีสังเกตอย่างง่าย ๆ ว่าน้ำนั้นผสมคอนกรีตได้หรือไม่ ดังนี้

ความสะอาด ดูความใส สภาพบ่อน้ำต้องไม่มีสารเน่าเปื่อย ปฏิกูล ตะไคร่น้ำ โคลนหรือสารอินทรีย์เจือปนอยู่มาก สีเป็นตัวบ่งบอกถึงสารที่ผสมอยู่ในน้ำกลืนน้ำต้องไม่มีกลิ่นเหม็นหรืออุจุน รสขม ดูแล้วต้องไม่ฝาดหรือเปรี้ยว

6. การบ่มคอนกรีต การบ่มหรือบำรุงคอนกรีต (Curing) เป็นการควบคุมและป้องกันมิให้น้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ระเหยออกมาจากคอนกรีตที่เทลงแบบหล่อและแข็งตัวแล้วเร็วเกินไป เพื่อให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในการรับแรงและความทนทานตามต้องการ

หลังจากเทคอนกรีตและทิ้งไว้จนผิวหน้าคอนกรีตหมาดแข็งปราศจากรอยแล้วจะต้องทำการบ่มทันทีด้วยวิธีที่ถูกต้อง โดยปกคลุมผิวมิให้ถูกแดดหรือลมร้อนและมีให้ถูกรบกวนหรือสะท้อนโดยเฉพาะภายใน 24 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีและมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ อีกทั้งป้องกันการสูญเสียน้ำจากคอนกรีตที่เทใหม่ ๆ มิฉะนั้นคอนกรีตจะเกิดการหดตัวเร็ว ทำให้เกิดแรงดึงผิวที่กำลังจะแห้งเป็นผลให้เกิดรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต ช่วงระยะเวลาที่ป้องกันและรักษาความชื้นนี้ไว้ภายหลังจากเทคอนกรีตลงแบบหล่อด้วย เรียกว่าระยะเวลาการบ่มคอนกรีต (Curing period)

กำลังของคอนกรีตจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทรายเท่าที่ยังมีความชื้นให้ซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำได้ต่อไปอีก กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วในระยะแรกและค่อยๆช้าลงเวลาต่อมา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นละอุมหุมิที่เหมาะสม แต่คอนกรีตจะให้กำลังสูงขึ้นหากบ่มขึ้นตลอดเวลา ซึ่งสภาพของงานก่อสร้างจริงไม่อาจจะบ่มขึ้นตลอดเวลาๆได้เพราะมีข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาก่อสร้างและค่าใช้จ่าย ฉะนั้นจึงควรทำการบ่มขึ้นให้ต่อเนื่องกันตั้งแต่ต้นประมาณ 7-14 วัน เพื่อให้คอนกรีตมีกำลังประมาณ 70 % ของกำลังอัดที่ต้องการ

วิธีการบ่มคอนกรีต (Curing Method)

วิธีการบ่มคอนกรีตขึ้นอยู่กับสภาพการโดยเฉพาะของคอนกรีตที่สร้างขึ้นอย่างไรก็ดีควรคำนึงถึงวิธีการที่ประหยัดที่สุดและมีผลดีที่สุดสำหรับงานนั้นๆ เป็นสำคัญ

การบ่มคอนกรีตมี 3 วิธี

1. วิธีบ่มโดยเพิ่มความชื้นให้กับคอนกรีต (Replacing)

วิธีบ่มโดยเพิ่มความชื้นให้กับคอนกรีต คือการให้ความชื้นแก่ผิวคอนกรีตโดยตรง ในระยะแรกที่คอนกรีตเริ่มแข็งตัว เพื่อทดแทนการระเหยของน้ำออกจากคอนกรีตซึ่งทำได้หลายวิธี

1.1 การขังหรือหล่อน้ำ (Ponding) การขังหรือหล่อน้ำจะใช้วิธีทำทาบด้วยดินเหนียวหรือท่ออิฐกั้นก็ได้ ใช้ได้ดีกับงานบนพื้นราบ เช่น แผ่นพื้น ดาดฟ้า พื้นถนน และ ทางเท้าแต่ไม่เหมาะ

สำหรับแผ่นพื้นที่มีการก่อสร้างต่อไป เพราะจะลำบากในการทำงานต่อไป ข้อระวังคือ ต้องคอยตรวจสอบไม่ให้ทำนบที่กันไว้พัง ซึ่งจะให้น้ำรั่วออกและแห้งเป็นเหตุให้การบ่มขาดตอนไป และอย่าให้น้ำที่ใช้บ่มมีอุณหภูมิต่ำกว่าคอนกรีตเกิน 10 องศาเซลเซียส เพราะอาจจะทำให้ผิวคอนกรีตแตกร้าวได้ ข้อเสียของวิธีนี้คือ ต้องมีภาระในการเก็บล้างเมื่อเสร็จงาน

1.2 การฉีดพ่นหรือรดน้ำ จะต้องคอยฉีดหรือรดน้ำให้ผิวคอนกรีตเปียกชุ่มทั่วกันตลอดเวลา ไม่ใช่ทำเป็นระยะๆ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการแตกร้าว เนื่องจากผิวคอนกรีตแห้งและเปื่อยสลับกันบ่อยครั้ง วิธีนี้ใช้ได้กับคอนกรีตทุกชนิดทั้งในแนวราบหรือเอียง แต่จะสิ้นเปลืองน้ำ จึงไม่เหมาะกับบริเวณที่ขาดแคลนน้ำ หรือบนชั้นสูงๆ ที่น้ำไหลเบา ข้อควรระวังคือ น้ำอาจไปชะเอาผิวคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวดี สึกกร่อนเสียหายได้

1.3 การใช้วัสดุเปียกชั้นคลุม (Wet Covering) อาจใช้ผ้าใบ กระจสบ่านหรือวัสดุคอกม่น้ำอื่น คลุมให้ทั่ว แล้วรดน้ำให้ชุ่มอยู่เสมอ ข้อสำคัญ คือ การคลุมต้องคลุมหลวม กันให้มากและต้องรดน้ำให้เปียกชุ่มอยู่เสมอ ควรคลุมทันทีที่คอนกรีตแข็งตัว วิธีนี้ได้ผลดีมากถ้าคอยตรวจให้น้ำชุ่มอยู่เสมอ ข้อดีคือ ราคาถูก คลุมได้ทั้งแนวตั้งและแนวราบ

สำหรับงานสร้างถนน และทางเท้า ซึ่งมีจะถูกแดด และลมโดยตรง จะทำให้ผิวหน้าเกิดการแตกร้าวเนื่องจากแห้งเร็วเกินไป อาจใช้ดินที่ไม่มีหินปน ฟางข้าว ขี้เลื่อย ทราย หรือแกลบ ถมคลุมไว้ทันทีที่ผิวหน้าแห้งพอ ให้หนาประมาณ 5 - 15 เซนติเมตร แล้วฉีดน้ำให้ชุ่มจะช่วยให้เป็นอย่างดี ข้อควรระวังคือ สิ่งที่ใช้คลุมต้องปราศจากสารที่เป็นอันตรายต่อปูนซีเมนต์ หรือทำให้ผิวคอนกรีตต่าง

2. วิธีบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต (Preventing Loss of Moisture) เป็นวิธีที่ใช้การผิวกวของคอนกรีต ป้องกันมิให้ความชื้นจากเนื้อคอนกรีตเล็ดลอดออกไปได้ ซึ่งมีวิธีการและวัสดุที่ใช้ในการการบ่มแบบนี้ต่าง ๆ กัน คือ

2.1 การใช้กระดาษกันน้ำซึม (Waterproof Papers) ลักษณะเป็นกระดาษเหนียวสองชั้นยึดติดกันด้วยกาวพวยกยางมะตอย และเสริมความเหนียวด้วยใยแก้ว จะยึดหดตัวไม่มากนักเมื่อเปียกและแห้ง สีกระดาษที่ใช้มีสีอ่อนและใช้ปิดคอนกรีตให้สนิทเป็นเวลา 72 ชั่วโมง มักนิยมใช้กับพื้นราบ ข้อควรระวัง บริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นต่อแผ่นของกระดาษต้องติดแน่นด้วยกาว เทป หรือทรายก็ได้ และกระดาษต้องไม่ชำรุด

2.2 การใช้แผ่นผ้าพลาสติกปิดคลุม (Plastic Film) มีวิธีการคล้ายกับการใช้กระดาษกันน้ำ แต่มีข้อดี คือ เนื่องจากผ้าพลาสติกเบาบาง จึงสามารถใช้ได้กับโครงสร้างทุกชนิด ข้อควรระวัง คือ เนื่องจากผ้าพลาสติกนี้บางและเบาบางจึงเกิดการชำรุดได้ง่าย ต้องคอยประรอยฉีกขาด และต้องหาของหนักทับเพื่อป้องกันไม่ให้ลมพัดปลิว

2.3 การบ่มโดยใช้ไม้แบบ (Forms) ไม้แบบที่เปียกและแบบโลหะจะช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดี ถ้าหากผิวคอนกรีตส่วนบนที่เปิดนั้นยังคงเปียกอยู่ โดยมีน้ำไหลซึมลงมาระหว่างคอนกรีตกับแบบได้ ในสภาพเช่นนี้เท่านั้นที่อาจจะทิ้งแบบหล่อให้ติดกับคอนกรีตให้นานเท่าที่ต้องการเมื่อถอดแบบแล้วจึงบ่มด้วยวิธีอื่นต่อไป

2.4 การใช้สารเคมีเคลือบผิวคอนกรีต (Sealing Compound) โดยการพ่นสารเคมีบนผิวคอนกรีตซึ่งจะกลายเป็นเยื่อบางๆ คลุมผิวไว้ ป้องกันการระเหยของน้ำได้อย่างดี การบ่มวิธีนี้เหมาะกับงานที่ลำบากในการใช้วิธีอื่น เช่น ลานบิน หลังคากว้างๆ ถนน หลังคาเปลือกบาง ทั้งนี้เพราะสิ้นเปลืองมากกว่าวิธีอื่น

การพ่นต้องทำทันทีขณะที่ผิวคอนกรีตยังชื้นอยู่ จะพ่นครั้งเดียวหรือสองครั้งก็ได้โดยต้องพ่นให้ทั่วถึงตลอด ข้อควรระวัง คือ สารเคมีนี้ทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตที่จะทำการเทใหม่เสียไป บางชนิดอาจทำให้ฉาบปูนไม่ติด จึงไม่ควรใช้ในส่วนที่ต้องการต่อเติมหรือฉาบปูน

3. วิธีบ่มโดยการเร่งกำลัง

ในสองวิธีแรกที่กล่าวในตอนต้นเป็นวิธีการบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิปกติ แต่วิธีนี้เป็นการบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำ (Steam Curing) โดยให้ความชื้นและความร้อนกับคอนกรีตที่หล่อเสร็จใหม่ๆ ซึ่งจะทำให้คอนกรีตไม่ขาดน้ำ เช่นเดียวกับการบ่มธรรมดา แต่ช่วยเร่งปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้นโดยรวดเร็ว ลดการหดตัว และเพิ่มความต้านทานต่อสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต การบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำใช้ได้กับคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ทุกประเภทรวมทั้งคอนกรีตที่ใช้สารผสมเพิ่ม นิยมใช้กันมากในงานอุตสาหกรรมคอนกรีตสำเร็จรูป เช่น เสาเข็ม เสาเข็มไฟฟ้า ฯลฯ กล่าวคือ ช่วยให้สามารถถอดคอนกรีต ออกจากแบบหล่อได้เร็วขึ้น ทำให้ประหยัดจำนวนไม้แบบที่จะต้องใช้ซึ่งมีราคาสูงมากขึ้นเรื่อยๆ และไม่เปลืองที่กองเก็บผลิตภัณฑ์อีกด้วย

โดยทั่วไปการบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำทำได้สองวิธี คือบ่มด้วยไอน้ำที่ความดันต่ำ และบ่มด้วยไอน้ำที่ความดันสูง สำหรับวิธีหลังจะต้องมีหม้อหรือเตาบ่มชนิดใช้กับความดัน เช่น หม้ออบไอน้ำออโตเคลฟว์ ซึ่งใช้กับคอนกรีตขนาดเล็ก ส่วนวิธีแรกนั้นเป็นการบ่มคอนกรีตที่ความดันของบรรยากาศด้วยไอน้ำที่มีความชื้นสูงจนอิมดามีอุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส การบ่มอาจกระทำในห้องบ่มซึ่งสร้างไว้ถาวร ใช้บ่มผลิตภัณฑ์คอนกรีตหล่อสำเร็จรูปชนิดต่างๆ เช่น เสาเข็ม เสาไฟฟ้า คอนกรีตบล็อก ฯลฯ

สิ่งสำคัญในการบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำคือ ช่วงเวลาในการดำเนินการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ ซึ่งถ้าปฏิบัติไม่ถูกต้อง จะเป็นเหตุให้คอนกรีตเสียหายหรือไม่เกิดกำลังตามที่ต้องการ ช่วงเวลาในการดำเนินการนี้แบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ

1. ช่วงเวลาก่อนให้ไอน้ำ นับจากเมื่อหล่อคอนกรีตเสร็จไปจนถึงเวลาที่จะเพิ่มอุณหภูมิให้กับคอนกรีต เพื่อทิ้งให้คอนกรีตแข็งตัวเต็มที่เสียก่อน โดยปกติทิ้งไว้ 2-5 ชั่วโมง
2. ช่วงเวลาเพิ่มอุณหภูมิ นับจากเมื่อเริ่มเพิ่มอุณหภูมิให้กับคอนกรีต ไปจนถึงเวลาที่อุณหภูมิของการบ่มขึ้นถึงอุณหภูมิสูงสุดที่กำหนด อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 10-30 องศาเซลเซียส ต่อชั่วโมง ปกตินิยมใช้อัตราเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง การเพิ่มอุณหภูมิต้องเพิ่มด้วยอัตราที่คงที่สม่ำเสมอโดยตลอด อุณหภูมิสูงสุดของการบ่มไม่ควรเกินกว่า 80 องศาเซลเซียส ฉะนั้นโดยทั่วไปแล้วช่วงเวลานี้จะอยู่ที่ระหว่าง 2-4 ชั่วโมง
3. ช่วงเวลารักษาอุณหภูมิที่คงที่ นับจากเมื่ออุณหภูมิของการบ่มได้ถูกเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุด ไปจนถึงเวลาที่คอนกรีตมีกำลังเกิดเท่าที่ต้องการ ในช่วงเวลานี้อุณหภูมิของการบ่มจะต้องควบคุมให้อยู่ที่จุดอุณหภูมิสูงสุดตลอดเวลา ระยะเวลาที่ใช้ในช่วงนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมคอนกรีต ประเภท

ของปูนซีเมนต์ที่ใช้และอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการบ่ม ปกติใช้เวลาประมาณ 12-18 ชั่วโมง (6-12 ชั่วโมง สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว)

4. ช่วงเวลาลดอุณหภูมิ หลังจากที่ยบ่มคอนกรีตจนมีกำลังถึงขีดที่ต้องการแล้วค่อยๆ ลดอุณหภูมิของคอนกรีตลงจนถึงอุณหภูมิปกติ ปกติใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง การลดอุณหภูมิทันที อาจเป็นเหตุให้คอนกรีตเกิดความเสียหายได้

7. การผสมคอนกรีต เป็นการนำปูนซีเมนต์ หิน ทรายและน้ำรวมทั้งสารเคมีผสมเพิ่มต่างๆ และวัสดุผสมอื่นๆ มาผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่กำหนดเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีเนื้อเดียวกัน สม่ำเสมอและมีคุณสมบัติในการทำงานที่เหมาะสมเพื่อนำไปสู่คอนกรีตที่มีคุณภาพดี

วิธีการผสมคอนกรีตโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

1. การผสมด้วยมือ เหมาะสมกับงานที่ไม่เคร่งครัดกับคุณภาพมากนักส่วนผสมที่ได้ไม่สม่ำเสมอ วิธีผสมนิยมทำโดยเกลี่ยทรายลงไปก่อนเทพูนซีเมนต์ผสมคลุกเคล้ากับทรายให้เข้ากันแล้วจึงเกลี่ยส่วนผสมนี้ออกเป็นรูปวงกลมเหมือนปากปล่องภูเขาไฟ ใสหินลงไปบริเวณตรงกลาง แล้วค่อยๆ ใส่น้ำลงไปให้ทั่วปล่อยให้ น้ำค่อยๆ ซึมลงไปแล้วจึงใช้จอบผสมให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกันดี ขณะทำการผสมจะนิยมเติมน้ำลงไปเพื่อช่วยในการทำงาน ควรเติมน้ำใส่ให้หมดภายใน 30 นาทีนับตั้งแต่เติมน้ำในครั้งแรก

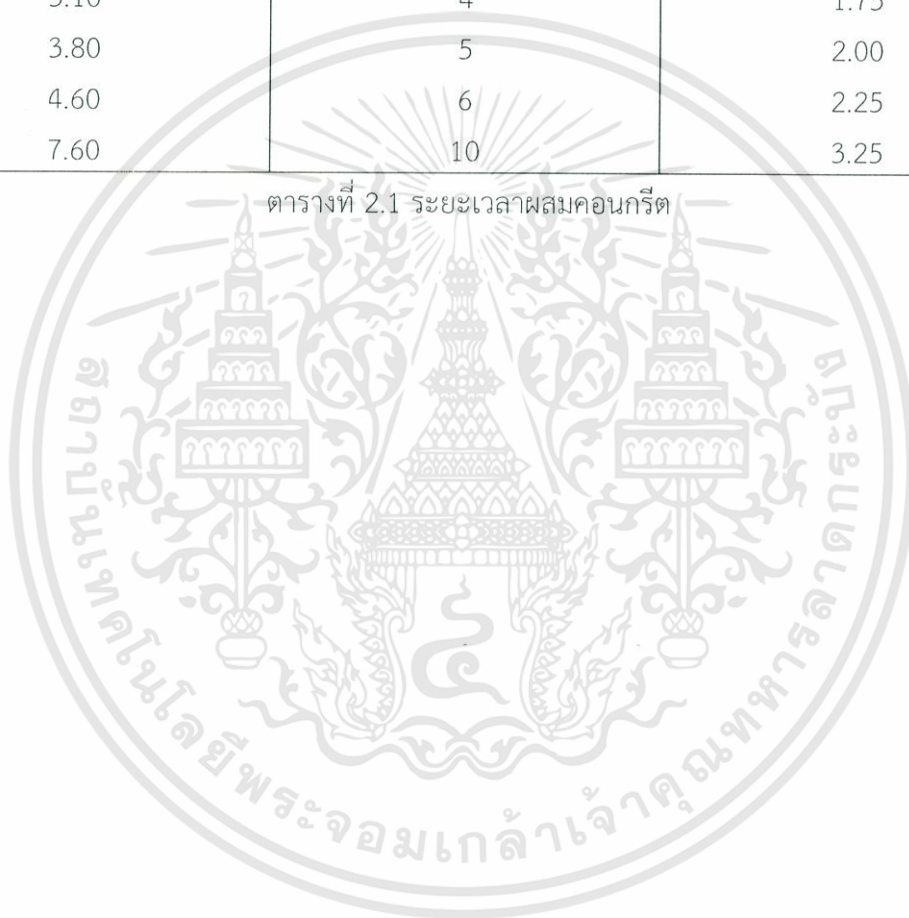
2. ผสมด้วยเครื่องผสม หน้าที่สำคัญของเครื่องผสมคือ การคลุกเคล้าวัสดุผสมกับเนื้อซีเมนต์เพื่อทำให้มีเนื้อสม่ำเสมอเข้ากันดี อาศัยการหมุนตัวของโมที่มีเหล็กก้นอยู่ภายใน โดยการใช้แหล่งพลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ เครื่องผสมนี้มีหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปคือโมผสมชนิดเอียง ที่ออกแบบสำหรับการผสมปูนซีเมนต์ครั้งละ 1 ถุง (การป้อนวัสดุลงในเครื่องผสมคอนกรีตไม่มีกฎเกณฑ์ในการจัดลำดับการป้อนวัสดุลงในโมผสม)

ระยะเวลาในการผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีตในสนามมีแนวโน้มที่จะทำให้การผสมรวมเร็ว แต่หัวใจสำคัญของการผสมคอนกรีตคือการกระจายส่วนประกอบต่างๆ ให้มีเนื้อสม่ำเสมอ ระยะเวลาผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องและขนาดของเครื่องผสม ความเร็วรอบของการหมุนและปริมาณในการผสมคอนกรีต โดยทั่วไประยะเวลาในการผสมไม่ควรน้อยกว่า 1-1.25 นาที และควรเติมน้ำให้หมดภายในเวลา 0.25 นาที ของระยะเวลาในการผสมทั้งหมด ตารางด้านล่างจะแสดงระยะเวลาการผสมที่น้อยสุดตามข้อเสนอแนะของ ACI 304-73 และ ASTM Standard C 94-83

ความจุของเครื่องผสม		ระยะเวลาผสม (นาที)
ลบ.เมตร	ลบ.หลา	
0.80	1 หรือน้อยกว่า	1.00
1.50	2	1.25
2.30	3	1.50
3.10	4	1.75
3.80	5	2.00
4.60	6	2.25
7.60	10	3.25

ตารางที่ 2.1 ระยะเวลาผสมคอนกรีต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต

การปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต (Mix Design) เป็นการหาอัตราส่วนของวัสดุผสมแต่ละอย่างของคอนกรีตสำหรับงานต่างๆ เพื่อให้คอนกรีตมี

1. ความชื้นเหลวพอเหมาะเพื่อง่ายต่อการทำงาน
2. กำลังและความทนทานตามต้องการ
3. ราคาที่ประหยัด

การหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตมีหลายวิธี 1. วิธีทดสอบผสม 2. วิธีของ ACI ซึ่งวิธีทั้ง 2 เป็นวิธีที่นิยมมาก แต่ในการผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนที่คำนวณได้จะให้ผลเป็นไปตามความต้องการย่อมเป็นไปได้ยาก หลังจากคำนวณแล้วต้องทำการทดสอบผสมจริงดูด้วย เพื่อตรวจสอบและปรับแต่งสัดส่วนให้ได้คอนกรีตตามที่ต้องการ

ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในการหาปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต มีปัจจัยต่อไปนี้

1. กำลังต้านทานแรงอัด (Strength) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต เพราะการต้านทานแรงอื่นๆของคอนกรีต ล้วนเป็นสัดส่วนกับกำลังต้านทานแรงอัด
2. อัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูน (Water-Cement ratio) มีผลต่อกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์มีค่ามากกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตก็จะต่ำ ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์มีค่าน้อยกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตก็จะสูง
3. ความทนทาน (Durability) โดยทั่วไปคอนกรีตมีกำลังพอในภาวะปกติ จะมีความทนทานพอสมควร แต่คอนกรีตที่อยู่ในภาวะที่รุนแรง จะมีความทนทานจะน้อยลง แต่เนื่องจากการกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูน นั้นแสดงว่า ความทนทานของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนด้วย
4. ความสามารถในการเทได้ (Workability) คือ คอนกรีตสด ที่มีความชื้นเหลวที่สามารถเทเข้าแบบได้สะดวกและทำให้แน่นตัวโดยใช้พลังงานน้อยที่สุด หากคอนกรีตสดเหลวเกินไป มีผลให้เกิดการแยกตัวในขณะลำเลียงและเทคอนกรีต แล้วยังทำให้คอนกรีตมีโอกาสแตกร้าวง่าย
5. ขนาดโตสุดของหิน ในการทำงานคอนกรีตเสริมเหล็ก ความกว้างของหน้าตัดที่จะเทคอนกรีตและระยะห่างของเหล็กเสริมนั้น จะเป็นตัวกำหนดขนาดที่โตที่สุดของหิน ซึ่งการใช้หินขนาดโตที่สุดเท่าที่จะโตได้เพื่อต้องการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยลงและการใช้น้ำลดลง ดังนั้นจึงทำให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้นและได้คอนกรีตในราคาที่ประหยัดกว่า อย่างไรก็ตามขนาดของหินไม่ควรโตกว่าสามในสี่ส่วนของระยะห่างของช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมและต้องไม่เกินกว่าหนึ่งในห้าเท่าของด้านแคบที่สุดของส่วนโครงสร้างที่จะเท
6. ส่วนขนาดคละและลักษณะรูปร่างของวัสดุผสมส่วนผสมที่มีทรายหยาบอยู่มากจะทำให้ทำงานยาก แต่ถ้ามีทรายละเอียดอยู่มากจะทำให้สิ้นเปลือง ถ้าส่วนของขนาดคละของหินไม่ดีจะต้องใช้ทรายมากขึ้นเพื่อช่วยการทำงานให้ง่ายขึ้น แต่ถ้าทรายขาดขนาดใดขนาดหนึ่งไปจะทำให้การแต่งหน้าหลังเทคอนกรีตยากขึ้น เนื่องจากการฉาบหน้าคอนกรีตนั้นทรายละเอียดจะต้องเข้าไปอุดตามช่องว่าง การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายขนาดควรรอยู่ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐาน เพื่อที่จะได้คอนกรีตที่เหลว ที่มีความสามารถเทได้ โดยใช้ปริมาณน้ำผสมน้อยลง จึงได้กำลังอัดประลัยตามที่ต้องการ ส่วนลักษณะรูปร่างและคุณสมบัติของวัสดุผสม เช่น ลักษณะผิว รูปร่าง ความละเอียด ความชื้น ความถ่วงจำเพาะ หน่วงน้ำหนัก ตลอดจนสิ่งที่เจือปนมากับวัสดุที่ใช้ในการผสม มีผลโดยตรงกับอัตราส่วนระหว่างวัสดุผสมต่อปูนซีเมนต์ ในการคำนวณส่วนผสมจำเป็นต้องรู้อะไรถึงชนิดและประเภทของวัสดุที่นำมาใช้ผสม และต่อมาจะอธิบายถึงทรายที่เหมาะสมสำหรับทำคอนกรีตจะต้องมีเม็ดคัมและสะอาด ขนาดของทรายมีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต ถ้ามีขนาดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 16 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 50 มากเกินไป (เกินกว่า 45 เปอร์เซ็นต์) จะทำให้เกิดฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้ามีทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 มากเกินไป ปริมาณฟองอากาศจะลดลง ทรายที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 100 จะเป็นตัวเพิ่มความยึดเหนี่ยวของคอนกรีตและช่วยไม่ให้ฟองอากาศต้องสูญเสียไปในระหว่างการผสม การเทคอนกรีตและการฉาบแต่งหน้า อีกทั้งหินที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนบาง ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ทำคอนกรีต ผิวของหินที่ขรุขระมากจะทำให้ต้องการน้ำมากขึ้นในการผสม

7. ปริมาณของวัสดุผสมในคอนกรีต มักเลือกใช้ปริมาณวัสดุผสมให้สูง แต่อยู่ในเกณฑ์ที่จะสามารถทำงานได้ง่ายโดยใช้ปริมาณน้ำผสมให้ต่ำและให้ได้กำลังอัดคอนกรีตตามที่ต้องการ อีกทั้งเมื่อใช้วัสดุผสมเยอะก็จะทำให้ราคาประหยัดอีกด้วย อัตราส่วนระหว่างทรายต่อหินนั้นเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงส่วนผสมที่มีทรายมากเกินไป (หินน้อย) จำช่วยให้ทำงานได้ง่ายแต่จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวง่าย ไม่ทนทานและสิ้นเปลือง ส่วนผสมที่มีหินมาก (ทรายน้อย) จะทำให้คอนกรีตเป็นรูปทรง เนื้อไม่แน่นและทำงานยาก อัตราส่วนผสมระหว่างทรายต่อหินควรรอยู่ระหว่าง 33 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก สำหรับส่วนผสมที่ใช้ปูนซีเมนต์มากเกินไปจะทำให้คอนกรีตแตกร้าวง่าย ไม่ทนทานและสิ้นเปลืองเช่นกัน

2.3.1. ปฏิภาคนส่วนผสมของคอนกรีตโดยวิธีทดลองผสม

การหาปฏิภาคนส่วนผสมของคอนกรีต อาจทำได้โดยวิธีการลองผสม (Trial Mix Method) ซึ่งเป็นการหาอัตราส่วนผสมโดยตรง เพื่อรักษาอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์หรือให้ได้กำลังตามที่ต้องการ สัดส่วนขนาดละเอียดของวัสดุผสมเป็นตัวประกอบสำคัญในการหาสัดส่วนที่จะให้ได้ความสามารถในการเทได้ตามต้องการและค่าใช้จ่ายต่ำ

วิธีทดลองผสมทั้งในห้องปฏิบัติการและสนาม กระทำดังนี้

1. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ ที่ต้องใช้ในการผสมเพื่อให้ได้กำลังต้านทานแรงอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีต (อาจเลือกจากตาราง 2 ตาราง คือ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนัก ที่ยอมให้ใช้ได้และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต)
2. เลือกชนิดและขนาดโตสุดของหิน
3. ค่าการยุบตัวที่เหมาะสมสำหรับงานประเภทต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าต่างๆที่ถูกเลือกใช้นี้จะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ เทปูนซีเมนต์ที่ซังไว้ลงบนภาคผสมและเติม ปริมาณน้ำที่เตรียมไว้ทำการผสม จะได้ซีเมนต์เพลสที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ตามที่ต้องการ จากนั้นทำการชั่งหินและทรายที่อยู่ในสภาวะอ้อมตัวผิวแห้ง เติมหินและทรายลงซีเมนต์เพลสจำนวนหนึ่ง ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันและวัดค่าการยุบตัว ถ้าหากค่าการยุบตัวมากเกินไป ให้เติมหินและทรายลงไปอีก แต่ถ้าการยุบตัวย่นเกินไป ให้เติมน้ำและปูนซีเมนต์ลงไปเพิ่มโดยยังคงรักษาอัตราส่วนของน้ำต่อ ปูนซีเมนต์ไว้คงที่ เพื่อให้ได้ค่าความชื้นเหลวตามที่ต้องการ จากนั้นก็วัดหาปริมาณของหินและทรายที่ นำไปใช้จริง หาอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินซึ่งอาจเปรียบเทียบโดยน้ำหนักหรือปริมาตรก็ได้

หลังจากที่ได้สัดส่วนที่ให้ความชื้นเหลวตามที่ต้องการแล้วในครั้งแรกก็ทำการทดลองผสมอีก หลายๆครั้ง โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณปูนซีเมนต์หรืออัตราส่วนของทรายต่อหิน (โดยยังคงรักษาอัตราส่วน น้ำต่อปูนซีเมนต์และความชื้นเหลวไว้คงที่) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนซีเมนต์กับ อัตราส่วนของทรายต่อหิน สัดส่วนผสมที่ดีที่สุดคือส่วนผสมที่ใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์น้อยที่สุด ส่วนผสม คอนกรีตที่มีซีเมนต์เพลสและทรายไม่เพียงพอจะทำให้หินทำงานได้ยากส่งผลให้ผิวหยาบและเป็นรังผึ้ง ในทางกลับถ้าซีเมนต์เพลสและทรายมากเกินไปจะทำให้ปริมาตรคอนกรีตที่ได้น้อยและคอนกรีตที่ได้มักจะมีรูพรุน ดังนั้นต้องพยายามใช้หินมากที่สุดเท่าที่จะมากได้โดยมีทรายในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่า ความชื้นเหลวที่ต้องการ จากนั้นทำการหล่อแท่งทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกำลังอัดตามที่ต้องการ

การทดลองในห้องปฏิบัติการ อาจให้ผลไม่ตรงกับเมื่อนำไปใช้ เนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น การ ลำเลียงวัสดุ, การระเหยของน้ำ, การเทและสภาวะอากาศ เป็นต้น ดังนั้นการหาสัดส่วนผสมต้องใช้ทั้ง ความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของคอนกรีต รวมไปถึงข้อมูลจากการทดลองด้วย

2.3.2 ปฏิภาคนส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก

สำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก ที่ไม่จำเป็นต้องหาปฏิภาคนส่วนผสมของคอนกรีตดังกล่าวข้างต้น สถาบันคอนกรีตของอเมริกาได้เสนอและปฏิภาคนส่วนผสมของคอนกรีตที่ไม่กระจายกักฟองอากาศตามตาราง ปฏิภาคนส่วนผสมคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก ซึ่งจะให้คอนกรีตที่มีความแข็งแรงและความทนทานเพียงพอ ถ้าไม่ใช่ปริมาณน้ำมากจนเกินไป

ขนาดโตสุด ของหิน (นิ้ว)	ปฏิภาคน ส่วนผสมแบบ	น้ำหนักของวัสดุที่ใช้ผสมทำคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร (กก.)		
		ปูนซีเมนต์	ทรายแห้ง	หินย่อยหรือกรวด
1/2	A	400	820	865
	B	400	785	900
	C	400	755	930
3/4	A	370	785	995
	B	370	755	1025
	C	370	720	1060
1	A	355	720	1120
	B	355	690	1155
	C	355	655	1185
3/2	A	320	720	1200
	B	320	690	1235
	C	320	655	1265
2	A	305	720	1625
	B	305	690	1300
	C	305	655	1330

ตารางที่ 2.2 ปฏิภาคนส่วนผสมคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก

จากตารางดังกล่าว ได้ให้ปฏิภาคนส่วนผสมของคอนกรีตไว้ 3 แบบ สำหรับขนาดโตสุดของหินแต่ละขนาดและได้แนะนำว่าเมื่อเริ่มงานใหม่ๆ ให้ใช้ปฏิภาคนส่วนผสมแบบ B ก่อน ซึ่งถ้าทำการผสมแล้วปรากฏว่ามีทรายมากเกินไปก็ให้เปลี่ยนไปใช้ปฏิภาคนส่วนผสมแบบ C หรือถ้ามีทรายน้อยเกินไปก็ให้ใช้ปฏิภาคนส่วนผสมแบบ A ปฏิภาคนส่วนผสมที่ให้ไว้สำหรับทราบอบแห้ง ซึ่งจำเป็นจะต้องปรับส่วนผสมหากทรายอยู่ในสภาพเปียกชื้น ทั้งนี้หากทรายชื้นให้เพิ่มค่าในตารางอีก 1 กก. และถ้าทรายเปียกให้เพิ่มค่าในตารางอีก 2 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาปริมาณวัสดุที่ใช้ผสมแต่ละครั้ง

สัดส่วนในการผสมของคอนกรีตออกเป็น อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหิน เช่น 1:2:4 แต่ไม่ทราบว่าอัตราส่วนดังกล่าวว่าเป็นสัดส่วนโดยปริมาตรหรือน้ำหนัก เพื่อป้องกันความสับสน ควรที่จะระบุว่าเป็นอัตราส่วนดังกล่าวว่าเป็นอัตราส่วนโดยปริมาตรหรือน้ำหนักและอีกอย่างหนึ่งที่ควรระบุคือ ปริมาณโดยน้ำที่ใช้ผสมเพราะมีผลต่อค่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต การหาปริมาตรวัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีตทำได้หลายวิธี เช่น โดยใช้วิธีปริมาตรเนื้อแท้

วิธีปริมาตรเนื้อแท้

เนื่องจากปริมาตรทั้งหมดของวัสดุเปลี่ยนแปลงไปตามส่วนขนาดและอัตราความแน่นของวัสดุ และปริมาตรที่แท้จริงของเนื้อวัสดุในน้ำหนักที่กำหนดให้ค่าหนึ่งของวัสดุก็เปลี่ยนแปลงไปตามความถ่วงจำเพาะ เพื่อจัดความไม่แน่นอน ในการคำนวณหาปริมาณวัสดุจึงควรใช้ปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุ โดย

$$\text{ปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุ} = \frac{W}{G \times \gamma_w}$$

W = น้ำหนักของวัสดุ

G = ความถ่วงจำเพาะ

γ_w = หนอยน้ำหนักของน้ำ

โดยใช้วิธีหน่วยน้ำหนัก

สูตร

$$\text{ปริมาตรคอนกรีตที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมดของวัสดุสำหรับซีเมนต์ 1 ถู}}{\text{หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเป็น กก. ต่อ ลบ.ม.}}$$

2.3.3 ปฏิภาศส่วนผสมของคอนกรีตโดยวิธีของACI

การคำนวณปฏิภาศส่วนผสมของคอนกรีตโดยวิธีของสถาบันคอนกรีตของอเมริกา ACI จะได้ผลค่อนข้างแน่นอนตามวิธีนี้จะต้องทราบถึงคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่ใช้ทำคอนกรีต เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ, หน่วยน้ำหนัก, ค่าโมดูลัสความละเอียดและเปอร์เซ็นต์การดูดซึม เป็นต้น

วิธีการคำนวณ

1. เลือกค่ายู่บตัวที่เหมาะสมกับประเภทของงาน

ค่าการยู่บตัวต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับประเภทของงาน เพื่อให้การลำเลียงได้สะดวก ซึ่งสามารถเลือกใช้จากตารางที่ 2.3

ประเภทของงาน	ค่าความยู่บตัว(ซม.)	
	ค่าสูงสุด*	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	8	2
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างได้ น้ำ	8	2
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10	2
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10	2
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8	2
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	8	2

* อาจเพิ่มได้อีก 2 ซม. สำหรับการทำคอนกรีตให้แน่นตัวโดยวิธีอื่น นอกเหนือจากการใช้เครื่องสั่น (Vibrator)

ตารางที่ 2.3 ค่ายู่บตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ

2. เลือกขนาดโตสุดของหิน

ขนาดโตสุดของหิน ไม่เกิน 1/5ของส่วนที่แคบที่สุดของแบบ หรือ 1/3 ของแผ่นพื้น หรือ 3/4 ของระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม หรือหาได้จากตารางที่ 2.4 เพื่อเหมาะสมกับงานประเภทต่างๆ

ขนาดความ หนาของ โครงสร้าง (ซม.)	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม							
	คาน ผนัง เสา คสล.		ผนังคอนกรีตไม่เสริม เหล็ก		พื้นถนน คสล. รับ น้ำหนักมาก		พื้นคอนกรีต รับ น้ำหนักน้อย	
	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5-15	1/2-3/4	12.5-20	3/4	20	3/4-1	20-25	3/4-3/2	20-40
15-30	3/4-3/2	20-40	3/2	40	3/2	40	3/2-3	40-75
30-75	3/2-3	40-75	3	75	3/2-3	40-75	3	75
มากกว่า 75	3/2-3	40-75	6	150	3/2-3	40-75	3-6	75-150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

3. ประมาณปริมาณน้ำที่ผสมและปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 2.5 เป็นตารางที่ให้หาปริมาณน้ำที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีต ซึ่งขึ้นอยู่กับค่ายุบตัวที่กำหนด

ขนาดโตสุดของหิน รูปร่างและส่วนขนาดคละของวัสดุผสมและยังให้ปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้นในคอนกรีต

ค่าความ ยุบตัว	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม ³ สำหรับวัสดุผสมขนาดต่างๆ							
	3/8" (10มม.)	1/2" (12.5มม.)	3/4" (20มม.)	1" (25มม.)	3/2" (40มม.)	2" (50มม.)	3" (75มม.)	6" (150มม.)
คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายฟองอากาศ								
3-5	205	200	185	180	160	155	145	125
8-10	225	215	200	195	175	170	160	140
15-18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณ ฟองอากาศ (%)โดย ปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตที่มีสารกระจายฟองอากาศ								
3-5	180	175	165	160	145	140	135	120
8-10	200	190	180	175	160	155	150	135
15-18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณ ฟองอากาศ (%)โดย ปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

หมายเหตุ ปริมาณน้ำที่แสดงนี้เป็นปริมาณสูงสุดสำหรับหินที่รูปร่างดี ช่วยให้ทำงานได้ง่ายและลดต้นทุนได้ตามข้อกำหนด

ตารางที่ 2.5 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ

4. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์

อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ขึ้นอยู่กับสภาพของคอนกรีตที่นำไปใช้งานและกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องการ ซึ่งตารางที่ 2.6 ให้ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่มากที่สุดสำหรับงานประเภทงานและสภาวะแวดล้อมต่างๆ ส่วนตารางที่ 2.7 ให้ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่มากที่สุดสำหรับค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยคอนกรีตและให้เลือกใช้อัตราส่วนที่ต่ำสุดซึ่งหาได้จากทั้ง 2 ตาราง ดังนี้

สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง		
ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลาหรือมีการเยือกแข็งและการละลายของน้ำสลับกันบ่อยๆ(เฉพาะคอนกรีตกระจายกักฟองอากาศนั้น)	โครงสร้างในน้ำเค็ม
โครงสร้างบาง ๆ ที่มีเหล็กหุ้มบางกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างอื่นๆทั้งหมด	0.5	0.45*

*ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดทนซัลเฟต (ประเภทสองหรือประเภทห้า) อาจเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นี้ได้อีก 0.05 ตารางที่ 2.6 อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้

กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน (กก./ซม. ²)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

หมายเหตุ ค่าที่ได้จากตารางนี้ สำหรับแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน $\varnothing 15 \times 30$ ซม. ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นแบบลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าในตารางประมาณ 20%

ตารางที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

5. คำนวนปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้

เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีตและอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนักทำให้สามารถหาค่าปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีต

สูตร

$$\text{ปริมาณปูนซีเมนต์} = \frac{\text{ปริมาณน้ำ}}{\text{อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์}}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. คำนวณปริมาณวัสดุผสมหยาบ

ตารางที่ 2.8 แสดงปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นในส่วนผสมต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายและขนาดโตสุดของหินที่ใช้

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีตสำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่างๆกัน			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8" (10 มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2" (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4" (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1" (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
3/2" (40 มม.)	0.76	0.74	0.72	0.70
2" (50 มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75 มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6" (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

หมายเหตุ ค่าที่กำหนดนี้เป็นค่าสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป สำหรับงานคอนกรีตที่ทำได้ง่ายกว่า เช่น ถนน พื้น เป็นต้น อาจเพิ่มค่าเหล่านี้ขึ้นได้อีก 10%

ตารางที่ 2.8 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

เมื่อได้ค่าปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นในส่วนผสม ต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตรทำให้หาค่าปริมาณวัสดุผสมหยาบ จากสูตร

$$\text{น้ำหนักของหินแห้ง} = \text{ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ} \times \text{หน่วยน้ำหนักของหิน}$$

7. คำนวณปริมาณวัสดุผสมละเอียด

การหาปริมาณของวัสดุผสมละเอียดจะทำได้ 2 วิธี

7.1 ประมาณจากหน่วยน้ำหนักคอนกรีตสด

$$\text{น้ำหนักทราย} = \text{น้ำหนักของคอนกรีตสด} - \text{น้ำหนักของส่วนผสมต่างๆ (ยกเว้นทราย)}$$

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดสามารถหาได้จากสมการ

$$U = 10G_a(100 - A) + C \left(1 - \frac{G_a}{G_c} \right) - W(G_a - 1)$$

เมื่อ U = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสด กก./ม.³

G_a = ความถ่วงจำเพาะของหินและทรายรวมกัน ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

G_c = ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ ปกติใช้ 3.15

A = ปริมาณฟองอากาศ, เปอร์เซ็นต์

W = ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม, กก. /ม.³

C = ปริมาณปูนซีเมนต์, กก. /ม.³

หน่วยน้ำหนักโดยประมาณของคอนกรีต สดที่มีและไม่มีสารกระจายฟองอากาศตามขนาดโตสุดของหิน หาได้จากตารางที่ 2.9 ที่ได้เกิดจากการคำนวณข้างต้น

ขนาดโตสุดของหิน (นิ้ว)	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสด , กก./ม. ³	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
3/8" (10 มม.)	2285	2190
1/2" (12.5 มม.)	2315	2235
3/4" (20 มม.)	2355	2280
1" (25 มม.)	2375	2315
3/2" (40 มม.)	2420	2355
2" (50 มม.)	2445	2375
3" (75 มม.)	2465	2400
6" (150 มม.)	2505	2435

ตารางที่ 2.9 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ

ประมาณจากปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุ

ปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุ หาได้จากสมการ

$$\text{ปริมาตรเนื้อแท้} = \frac{W}{G \times \gamma_w}$$

เมื่อ W = น้ำหนักวัสดุ

G = ความถ่วงจำเพาะ

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ

ปริมาตรของทรายหาได้จากสมการ

$$\text{ปริมาตรทราย} = \text{ปริมาตรของคอนกรีต} - \text{ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม (ยกเว้นทราย)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การผสมคอนกรีต

อุปกรณ์

- 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- 2) น้ำ
- 3) ทรายแม่น้ำ
- 4) หินคละ
- 5) เครื่องผสมคอนกรีต
- 6) กระบะตวงขนาด 20x20x25 cm



รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



รูปที่ 3.2 น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ทรายแม่น้ำ



รูปที่ 3.4 หินคละ



รูปที่ 3.5 เครื่องผสมคอนกรีต



รูปที่ 3.6 กระบะตวงขนาด 20x20x25 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการผสม

1. ออกแบบและสร้างกระบะตวงจากไม้อัดแข็ง หนา 1.5 เซนติเมตร ขนาด 20x20x25 เซนติเมตร หรือ 0.01 ลบ.ม. เพื่อให้ได้การตวงที่มีความแน่นอน สำหรับการใส่หาปริมาตรสัดส่วนตวง ปูน หิน ทรายและน้ำ ในการผสมคอนกรีต

2. การผสมคอนกรีตจะทำการผสมด้วยเครื่องผสมคอนกรีตชนิดผสมเอียงสำหรับการผสมต่อปูนซีเมนต์ครึ่งละ 1 ถุง หรือ 50 กิโลกรัม โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1.) เติมหินคละประมาณ 10% เพื่อลองกันเครื่องผสมคอนกรีตไม่ให้คอนกรีตติดกันเครื่องผสม

2.2.) เติมหินทรายและปูนลงในเครื่องผสมคอนกรีต เปิดเครื่องผสมคอนกรีตเพื่อตีทรายและปูนให้เข้ากัน

2.3.) เติมน้ำโดยประมาณ 70% ของน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการผสม

2.4.) เติมหินส่วนที่เหลืออีกประมาณ 90% ลงในเครื่องผสมคอนกรีต

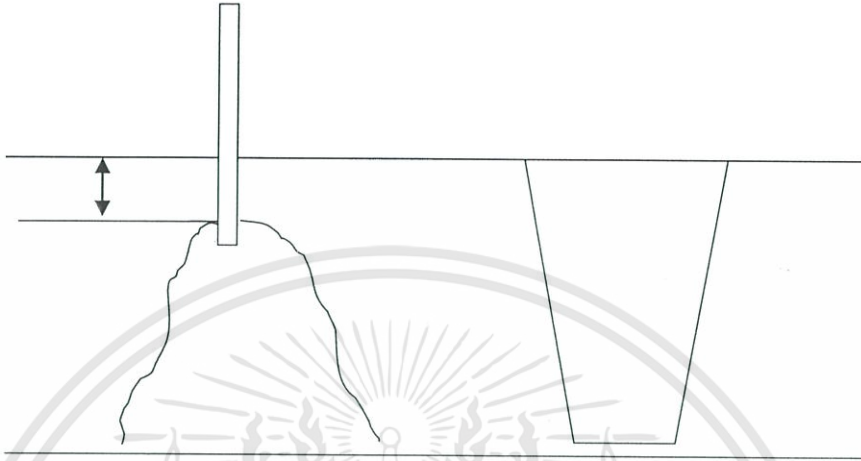
2.5.) เติมน้ำส่วนที่เหลืออีกประมาณ 30% ในขณะที่ป้อนหินลงในเครื่องผสมคอนกรีต

3.2 การทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test)

มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. นำกรวยและแผ่นเหล็กรองจุ่มน้ำให้เปียก
2. วางกรวยบนที่แห้งและสะอาด ใช้เท้าเหยียบที่ปลายกรวยทั้ง 2 ข้างเพื่อไม่ให้กรวยเคลื่อนที่
3. ตักคอนกรีตใส่ในกรวยประมาณ 1/3 โดยปริมาตร แล้วกระทุ้ง 25 ครั้ง
4. ตักคอนกรีตใส่กรวยครั้งที่ 2 อีกประมาณ 2/3 โดยปริมาตร และกระทุ้ง 25 ครั้ง
5. ตักคอนกรีตใส่กรวยจนเต็ม กระทุ้งอีก 25 ครั้ง ปาดคอนกรีตส่วนที่ล้นออกมาโดยให้ปากกรวยเรียบ
6. ยกกรวยขึ้นในแนวตั้งภายในเวลา 5-10 วินาที หลีกเลียงอย่าให้เนื้อคอนกรีตกระเทือน
7. กลับด้านกรวยขึ้น วางเหล็กกระทุ้งบนกรวย วัดระยะจากยอดกองคอนกรีตถึงเหล็กกระทุ้งคือค่าการยุบตัว (slump) วัดค่าการยุบตัวให้มีความละเอียดถึง 5 มม.

ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ได้ในการทดลอง



รูปที่ 3.7 การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต

3.3 การเก็บตัวอย่างคอนกรีต

การเก็บตัวอย่างคอนกรีต โดยการใช้แบบเก็บตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก (Cylinder) เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ซึ่งใช้กับวัสดุผสมขนาดไม่โตกว่า 50 มม. เก็บตัวอย่าง 15 ชุดต่อ 1 อัตราส่วนการผสม มีวิธีเก็บดังนี้

1. ประกอบแบบหล่อ ใช้การประกอบด้วยการยึดสกรูให้แน่น ใช้ผ้าชุบน้ำมันทาภายในบาง ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตติดกับแบบ แล้วนำแบบหล่อนี้วางบนพื้นราบ
2. ตักคอนกรีต ใส่ลงในแบบหล่อโดยแบ่งใส่เป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรโดยประมาณ $\frac{1}{3}$ ของปริมาตรของแบบหล่อรูปร่างทรงกระบอกกระทิงคอนกรีตชั้นละ 25 ครั้ง โดยใช้ด้านปลายบนของเหล็กกระทิงให้ทั่วพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตและให้เหล็กเสยเข้าไปในคอนกรีตชั้นล่างเล็กน้อย ชั้นบนต้องใส่คอนกรีตให้สูงกว่าขอบแบบตลอดเวลาที่กระทิง
3. ปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบแล้วคลุมด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันน้ำระเหย ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบหล่อออก เขียนรายละเอียดของก้อนปูนก่อนนำไปบ่ม
4. นำแท่งตัวอย่างคอนกรีตไปบ่มจนคอนกรีตมีอายุตามที่ต้องการคือ 7 วัน 14 วันและ 28 วัน



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก

3.4 การบ่มคอนกรีต

- ใช้การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีตเป็นการบ่มที่เพิ่มความชื้นให้กับผิวคอนกรีตโดยตรงโดยวิธีการซังหรือหล่อน้ำ (PONDING)



รูปที่ 3.9 การบ่มคอนกรีตแบบซังหรือหล่อน้ำ (PONDING)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีตเพื่อป้องกันมิให้ความชื้นจากคอนกรีตระเหยออกจากเนื้อคอนกรีตโดยใช้แผ่นพลาสติกคลุมหรือห่อไว้ (PLASTIC SHEETING)



รูปที่ 3.10 การบ่มคอนกรีตโดยใช้แผ่นพลาสติกห่อ (PLASTIC SHEETING)

3.5 ขั้นตอนการทดสอบกำลังอัดประลัย

ทดสอบโดยใช้หลักตามมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสำหรับตัวอย่างทรงกระบอก ASTM C39 Test Method for COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS

1 ทำการวัดขนาดของแต่ละด้านของก้อนตัวอย่างคอนกรีตโดยใช้เวอร์เนียในการวัดเพื่อความละเอียดของการอ่านค่า



รูปที่ 3.11 การวัดตัวอย่างคอนกรีต

2. นำก้อนตัวอย่างคอนกรีตไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกค่า



รูปที่ 3.12 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการ Cap ก้อนตัวอย่างคอนกรีตทั้งหัวและท้ายให้เรียบร้อย โดยให้ผิวทั้งสองด้านของตัวอย่างคอนกรีตเรียบ



รูปที่ 3.13 การ Cap คอนกรีต

4. นำก้อนตัวอย่างคอนกรีตเข้าเครื่อง Compressometer วางกึ่งกลางของแท่งทดสอบโดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด



รูปที่ 3.14 การติดตั้งตัวอย่างในเครื่อง Compressometer

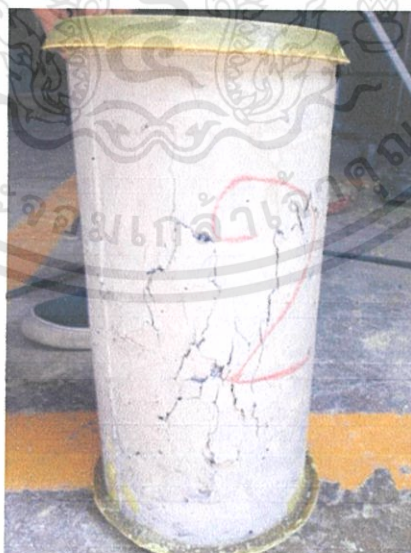
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปิดเครื่องทดสอบโดยในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราส่วนสม่ำเสมอ อัตราที่ใช้ คือ 1.4-3.4 กก./ตร.ซม./วินาที



รูปที่ 3.15 การทดสอบก่อนตัวอย่างคอนกรีตในเครื่อง Compressometer

6. กดก้อนตัวอย่างคอนกรีตจนแตกและทำการจดบันทึกค่ากำลังอัดประลัยสูงสุดของตัวอย่างคอนกรีตที่ได้



รูปที่ 3.16 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตหลังจากทดสอบในเครื่อง Compressometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาตรของคอนกรีตที่จะผสมได้} = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุรวม}}{\text{ปริมาตรคอนกรีตต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตร}}$$

$$\text{กำลังอัดประลัยของคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักกำลังอัดประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}}$$

หน่วยที่ใช้ คือ กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร (ksc.) และ นิวตัน / ตารางมิลลิเมตร (N/mm²)

$$\% \text{การลดลงของกำลังอัดประลัย} = \frac{\text{กำลังอัดประลัยที่บ่มน้ำ} - \text{กำลังอัดประลัยที่บ่มพลาสติก}}{\text{กำลังอัดประลัยที่บ่มน้ำ}}$$

*บ่มน้ำ คือ บ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต

บ่มพลาสติก คือ บ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต

บทที่ 4

การวิเคราะห์และผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และผลการทดลองของผู้วิจัย เพื่อดูว่าอัตราส่วนในการผสมคอนกรีตในแต่ละอัตราส่วนมีค่ากำลังอัดประลัย ค่ายุบตัวและปริมาตรของส่วนผสม(ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) ที่ใช้เพื่อให้ได้ปริมาตรคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

4.2 ผลการทดลองกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

ผลการทดลองกำลังอัดประลัยของคอนกรีตจะทำให้ทราบว่า การบ่มคอนกรีตทั้ง 2 แบบ และอัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่แตกต่างกันจะทำให้ผลการทดสอบค่ากำลังประลัยที่ต่างกัน ในแต่ละอัตราส่วนผสมคอนกรีต



ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกวดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1A	7	15	30.2	13.022	2441.286	176.625	34971.458	197.998
2A	7	15	30.1	12.869	2420.617	176.625	35182.467	199.193
3A	7	15.1	30	12.828	2388.989	178.988	28964.322	161.823
ค่าเฉลี่ย					2416.964			186.338
4A	14	15	30.2	12.812	2401.916	176.625	40753.313	230.734
5A	14	15	30.5	13.026	2418.015	176.625	41564.730	235.328
6A	14	15.1	30.4	13.040	2396.517	178.988	32971.458	184.211
ค่าเฉลี่ย					2405.483			216.757
7A	28	15	30.2	12.886	2415.789	176.625	42029.562	237.959
8A	28	15	30.2	12.938	2425.538	176.625	43370.031	245.549
9A	28	15	30.3	12.827	2396.792	176.625	40091.743	226.988
ค่าเฉลี่ย					2412.706			236.832

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อัตรา (ช.ม.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ช.ม.)	ความสูง (ช.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ช.ม.)	หน้าตัดกดสูงสุด (กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ช.ม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1B	7	15	30	12.713	2399.245	176.625	34002.039	192.510
2B	7	15	30.1	12.624	2374.534	176.625	35136.595	198.933
3B	7	15	30.2	12.797	2399.104	176.625	32981.651	186.733
ค่าเฉลี่ย					2390.961			192.725
4B	14	15.1	29.9	12.865	2403.893	178.988	41900.102	234.095
5B	14	15	30	12.822	2419.816	176.625	41607.543	235.570
6B	14	15	30.2	12.718	2384.293	176.625	40647.299	230.133
ค่าเฉลี่ย					2402.667			233.266
7B	28	15.1	30.2	13.009	2406.653	178.988	39685.015	221.719
8B	28	15	30.3	13.010	2430.986	176.625	44170.234	250.079
9B	28	14.9	30	12.633	2416.257	174.278	46500.510	266.818
ค่าเฉลี่ย					2417.965			246.205

ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1C	7	15	30	12.499	2358.858	176.625	31728.848	179.640
2C	7	15.1	30.2	12.707	2350.783	178.988	35442.406	198.016
3C	7	15	30.1	12.702	2389.205	176.625	35967.380	203.637
ค่าเฉลี่ย					2366.282			193.764
4C	14	15	30.1	12.566	2363.624	176.625	43028.542	243.615
5C	14	15.2	30.3	12.822	2333.223	181.366	43864.424	241.855
6C	14	15	30	12.719	2400.377	176.625	31689.093	179.415
ค่าเฉลี่ย					2365.742			221.628
7C	28	15	30.1	12.680	2385.067	176.625	48821.611	276.414
8C	28	15	30.1	12.671	2383.374	176.625	41033.639	232.321
9C	28	14.9	30.1	12.539	2390.310	174.278	44381.244	254.658
ค่าเฉลี่ย					2386.250			254.464

ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดลองกำลังอัดเฉลี่ยของอัตราส่วน 1:3:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.62 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อัตรา (%)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1D	7	15.1	30.1	13.180	2446.388	178.988	29041.794	162.256
2D	7	15	30.2	13.072	2450.659	176.625	30247.706	171.254
3D	7	15.1	30	13.105	2440.575	178.988	33592.253	187.679
ค่าเฉลี่ย					2445.874			173.729
4D	14	15	30	12.909	2436.235	176.625	37701.325	213.454
5D	14	15.1	30	12.917	2405.564	178.988	31775.739	177.530
6D	14	15	30.2	12.841	2407.353	176.625	41624.873	235.668
ค่าเฉลี่ย					2416.384			208.884
7D	28	15	30.2	13.040	2444.660	176.625	43851.172	248.273
8D	28	15	30.1	13.046	2453.910	176.625	39710.499	224.829
9D	28	15.1	30	12.966	2414.689	178.988	43395.515	242.450
ค่าเฉลี่ย					2437.753			238.517

ตารางที่ 4.4 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักเบดคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1E	7	15.1	30.4	12.905	2371.706	178.988	30571.865	170.804
2E	7	15.2	30.3	12.941	2354.878	181.366	37387.360	206.143
3E	7	15.1	30.4	13.035	2395.598	178.988	38843.017	217.015
ค่าเฉลี่ย					2374.061			197.987
4E	14	15	30.1	12.835	2414.222	176.625	43408.767	245.768
5E	14	15	30.3	13.006	2430.239	176.625	44658.512	252.844
6E	14	15.2	30	13.175	2421.433	181.366	31815.494	175.421
ค่าเฉลี่ย					2421.965			224.678
7E	28	15.2	30	12.955	2381.000	181.366	51293.578	282.817
8E	28	15	29.9	13.134	2486.988	176.625	45745.158	258.996
9E	28	15	30	13.081	2468.695	176.625	34980.632	198.050
ค่าเฉลี่ย					2445.561			246.621

ตารางที่ 4.5 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1F	7	15	30	12.746	2405.473	176.625	24527.013	138.865
2F	7	15	29	12.568	2453.669	176.625	24927.625	141.133
3F	7	15	30	12.665	2390.186	176.625	24768.603	140.233
ค่าเฉลี่ย					2416.443			140.077
4F	14	15	30.2	12.925	2423.101	176.625	29598.369	167.577
5F	14	15.1	30.1	12.697	2356.737	178.988	30823.649	172.211
6F	14	15	30.3	12.770	2386.141	176.625	29777.778	168.593
ค่าเฉลี่ย					2388.659			169.461
7F	28	15.1	30.1	12.676	2352.839	178.988	33710.499	188.340
8F	28	14.9	30	12.633	2416.257	174.278	35591.233	204.221
9F	28	15	30.2	12.906	2419.539	176.625	34053.007	192.798
ค่าเฉลี่ย					2396.211			195.120

ตารางที่ 4.6 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1I	7	15	30	12.597	2377.353	176.625	18008.155	101.957
2I	7	15.1	30.2	12.508	2313.968	178.988	24477.064	136.753
3I	7	15	30.2	13.009	2438.848	176.625	18087.666	102.407
ค่าเฉลี่ย					2376.723			113.706
4I	14	15.1	30	12.630	2352.115	178.988	21829.766	121.962
5I	14	15	30.2	12.738	2388.043	176.625	19196.738	108.686
6I	14	15	29.8	12.533	2381.149	176.625	24213.048	137.087
ค่าเฉลี่ย					2373.769			122.579
7I	28	15	29.9	12.562	2378.677	176.625	28799.185	163.053
8I	28	15	30.1	12.396	2331.648	176.625	32468.909	183.830
9I	28	14.9	30	12.468	2384.698	174.278	26075.433	149.620
ค่าเฉลี่ย					2365.007			165.501

ตารางที่ 4.7 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอักษร	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด(ตร.ซม.)	หน้าตัดคดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย(กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1H	7	15.2	30.4	13.097	2375.425	181.366	18814.475	103.737
2H	7	15	30.3	12.663	2366.147	176.625	17262.997	97.738
3H	7	15.2	30.3	13.044	2373.621	181.366	12279.307	67.704
ค่าเฉลี่ย					2371.731			89.727
4H	14	15	30	12.999	2453.220	176.625	21744.139	123.109
5H	14	15	30.3	13.320	2488.911	176.625	25520.897	144.492
6H	14	15	30	12.599	2377.731	176.625	24386.340	138.068
ค่าเฉลี่ย					2439.954			135.223
7H	28	15.1	30.1	12.872	2389.219	178.988	26991.845	150.803
8H	28	15	30.2	12.981	2433.599	176.625	26152.905	148.070
9H	28	15.2	30.2	13.060	2384.402	181.366	19202.854	105.879
ค่าเฉลี่ย					2402.407			134.917

ตารางที่ 4.8 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)		ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	น้ำหนักหน้หนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	น้ำหนักตักตสูงที่สุด(กก.)	น้ำหนักแรงอัดประลัย (กก./ซม.²)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10A	7	15.2	30.1	12.929	2368.327	181.366	43978.593	242.485
11A	7	15	30.2	12.944	2426.663	176.625	43552.497	246.582
ค่าเฉลี่ย					2397.495			244.533
12A	14	15	30.2	13.025	2441.848	176.625	52448.522	296.948
13A	14	15	30	12.898	2434.159	176.625	36030.581	203.995
ค่าเฉลี่ย					2438.003			250.472
14A	28	15.1	30.1	13.200	2450.100	178.988	59812.436	334.170
15A	28	14	30.2	12.903	2776.886	153.860	52420.999	340.706
ค่าเฉลี่ย					2613.493			337.438

ตารางที่ 4.9 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดเฉลี่ย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10B	7	15	30.2	12.892	2416.914	176.625	37938.838	214.799
11B	7	15.1	30	12.831	2389.548	178.988	37386.340	208.876
ค่าเฉลี่ย					2403.231			211.838
12B	14	15.1	30.1	12.770	2370.287	178.988	44199.796	246.943
13B	14	15.2	29.9	12.801	2360.565	181.366	46939.857	258.812
ค่าเฉลี่ย					2365.426			252.878
14B	28	15	30	12.880	2430.762	176.625	48780.836	276.183
15B	28	15	30	12.759	2407.926	176.625	50746.177	287.310
ค่าเฉลี่ย					2419.344			281.747

ตารางที่ 4.10 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ตรม.)	ความสูง(ตรม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดเบตตสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ตรม.) ²
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10C	7	15	30.1	12.713	2391.274	176.625	37458.716	212.080
11C	7	15	30.1	12.723	2393.155	176.625	36472.987	206.500
ค่าเฉลี่ย					2392.215			209.290
12C	14	15.1	30.2	12.701	2349.673	178.988	47216.106	263.795
13C	14	15.1	30.1	12.633	2344.857	178.988	45902.141	256.454
ค่าเฉลี่ย					2347.265			260.124
14C	28	15	30	12.659	2389.054	176.625	52523.955	297.376
15C	28	15	30	12.708	2398.301	176.625	48993.884	277.389
ค่าเฉลี่ย					2393.678			287.382

ตารางที่ 4.11 ตารางผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.62 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักหน่วยปริมาตร (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงต่อหน่วยปริมาตร (กก./ซม. ²)
การป่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10D	7	15	30	13.069	2466.431	176.625	49225.280	278.699
11D	7	15	30.1	12.929	2431.903	176.625	32885.831	186.190
ค่าเฉลี่ย					2449.167			232.445
12D	14	15.1	30	13.182	2454.915	178.988	53622.834	299.589
13D	14	15.1	30	13.270	2471.304	178.988	41718.654	233.081
ค่าเฉลี่ย					2463.109			266.335
14D	28	15.1	30.1	13.199	2449.915	178.988	48257.900	269.616
15D	28	15	30	12.923	2438.877	176.625	47236.493	267.439
ค่าเฉลี่ย					2444.396			268.527

ตารางที่ 4.12 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การป่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10E	7	15.1	30.3	13.040	2404.426	178.988	46295.617	258.652
11E	7	15	30	12.896	2433.782	176.625	48418.960	274.134
ค่าเฉลี่ย					2419.104			266.393
12E	14	15.1	30.2	12.912	2388.708	178.988	53056.065	296.423
13E	14	14.9	30.2	13.046	2478.724	174.278	53463.812	306.773
ค่าเฉลี่ย					2433.716			301.598
14E	28	15	30.2	12.951	2427.975	176.625	56398.573	319.313
15E	28	15.1	30.1	13.051	2422.444	178.988	60253.823	336.636
ค่าเฉลี่ย					2425.209			327.974

ตารางที่ 4.13 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับ	อาคาร (ชั้น)	ขนาดพื้นที่ฐาน ตารางเมตร (ตร.ม.)	ความสูง(ตร.ม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	เพิ่มน้ำหนัก (ตร.ม.)	น้ำหนักคอกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10F	7	15	30	12.691	2395.093	176.625	25585.117	144.856
11F	7	15	30	13.047	2462.279	176.625	26560.652	150.379
ค่าเฉลี่ย					2428.686			147.617
12F	14	15.2	30.1	12.882	2359.717	181.366	31085.627	171.397
13F	14	15	30.2	12.821	2403.603	176.625	32719.674	185.249
ค่าเฉลี่ย					2381.660			178.323
14F	28	15	30.1	12.910	2428.329	176.625	38364.934	217.211
15F	28	15	30	12.744	2405.096	176.625	40451.580	229.025
ค่าเฉลี่ย					2416.712			223.118

ตารางที่ 4.14 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกวดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10I	7	15	30	12.442	2348.101	176.625	20925.586	118.475
11I	7	15	29.5	12.402	2380.222	176.625	22032.620	124.742
ค่าเฉลี่ย					2364.162			121.609
12I	14	15.1	30	12.727	2370.180	178.988	25549.439	142.744
13I	14	15	30	12.622	2382.071	176.625	22477.064	127.259
ค่าเฉลี่ย					2376.125			135.001
14I	28	15.1	30.1	12.802	2376.226	178.988	26095.821	145.797
15I	28	15.1	30.1	12.803	2376.412	178.988	22124.363	123.608
ค่าเฉลี่ย					2376.319			134.702

ตารางที่ 4.15 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยเนื้อหนักเบตตอสปริง (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การป่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10H	7	15	30	12.980	2449.634	176.625	24232.416	137.197
12H	14	15	30.2	13.123	2460.220	176.625	25588.175	144.873
14H	28	15	30.2	13.040	2444.660	176.625	28834.862	163.255
15H	28	15.1	30.2	12.989	2402.953	178.988	39244.648	219.259
ค่าเฉลี่ย					2423.806			191.257

ตารางที่ 4.16 ตารางผลการทดลองกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การป่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกวดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1A	7	15	30.2	13.022	2441.286	176.625	34971.458	197.998
2A	7	15	30.1	12.869	2420.617	176.625	35182.467	199.193
3A*	7	15.1	30	12.828	2388.989	178.988	28964.322	161.823
ค่าเฉลี่ย					2416.964			198.596
4A	14	15	30.2	12.812	2401.916	176.625	40753.313	230.734
5A	14	15	30.5	13.026	2418.015	176.625	41564.730	235.328
6A*	14	15.1	30.4	13.040	2396.517	178.988	32971.458	184.211
ค่าเฉลี่ย					2405.483			233.031
7A	28	15	30.2	12.886	2415.789	176.625	42029.562	237.959
8A	28	15	30.2	12.938	2425.538	176.625	43370.031	245.549
9A*	28	15	30.3	12.827	2396.792	176.625	40091.743	226.988
ค่าเฉลี่ย					2412.706			241.754

*หมายเหตุ เป็นการทดลองที่ผิดพลาดอาจเกิดได้จากความไม่ชำนาญของผู้ทดลอง

ตารางที่ 4.17 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)

การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.54Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่ตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1B	7	15	30	12.713	2399.245	176.625	34002.039	192.510
2B	7	15	30.1	12.624	2374.534	176.625	35136.595	198.933
3B	7	15	30.2	12.797	2399.104	176.625	32981.651	186.733
ค่าเฉลี่ย					2390.961			192.725
4B	14	15.1	29.9	12.865	2403.893	178.988	41900.102	234.095
5B	14	15	30	12.822	2419.816	176.625	41607.543	235.570
6B	14	15	30.2	12.718	2384.293	176.625	40647.299	230.133
ค่าเฉลี่ย					2402.667			233.266
7B*	28	15.1	30.2	13.009	2406.653	178.988	39685.015	221.719
8B	28	15	30.3	13.010	2430.986	176.625	44170.234	250.079
9B	28	14.9	30	12.633	2416.257	174.278	46500.510	266.818
ค่าเฉลี่ย					2417.965			258.449

*หมายเหตุ เป็นการทดลองที่ผิดพลาดอาจเกิดได้จากความไม่ชำนาญของผู้ทดลอง

ตารางที่ 4.18 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)

การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกุดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1C	7	15	30	12.499	2358.858	176.625	31728.848	179.640
2C	7	15.1	30.2	12.707	2350.783	178.988	35442.406	198.016
3C	7	15	30.1	12.702	2389.205	176.625	35967.380	203.637
ค่าเฉลี่ย					2366.282			193.764
4C	14	15	30.1	12.566	2363.624	176.625	43028.542	243.615
5C	14	15.2	30.3	12.822	2333.223	181.366	43864.424	241.855
6C*	14	15	30	12.719	2400.377	176.625	31689.093	179.415
ค่าเฉลี่ย					2365.742			242.735
7C	28	15	30.1	12.680	2385.067	176.625	48821.611	276.414
8C*	28	15	30.1	12.671	2383.374	176.625	41033.639	232.321
9C	28	14.9	30.1	12.539	2390.310	174.278	44381.244	254.658
ค่าเฉลี่ย					2386.250			265.536

*หมายเหตุ เป็นการทดลองที่ผิดพลาดอาจเกิดได้จากความไม่ชำนาญของผู้ทดลอง
 ตารางที่ 4.19 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
 การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.62 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกวดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1D	7	15.1	30.1	13.180	2446.388	178.988	29041.794	162.256
2D	7	15	30.2	13.072	2450.659	176.625	30247.706	171.254
3D	7	15.1	30	13.105	2440.575	178.988	33592.253	187.679
ค่าเฉลี่ย					2445.874			173.729
4D	14	15	30	12.909	2436.235	176.625	37701.325	213.454
5D*	14	15.1	30	12.917	2405.564	178.988	31775.739	177.530
6D	14	15	30.2	12.841	2407.353	176.625	41624.873	235.668
ค่าเฉลี่ย					2416.384			224.561
7D	28	15	30.2	13.040	2444.660	176.625	43851.172	248.273
8D*	28	15	30.1	13.046	2453.910	176.625	39710.499	224.829
9D	28	15.1	30	12.966	2414.689	178.988	43395.515	242.450
ค่าเฉลี่ย					2437.753			245.361

*หมายเหตุ เป็นการทดลองที่ผิดพลาดอาจเกิดได้จากความไม่ชำนาญของผู้ทดลอง

ตารางที่ 4.20 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)

การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกุดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1E*	7	15.1	30.4	12.905	2371.706	178.988	30571.865	170.804
2E	7	15.2	30.3	12.941	2354.878	181.366	37387.360	206.143
3E	7	15.1	30.4	13.035	2395.598	178.988	38843.017	217.015
ค่าเฉลี่ย					2374.061			211.579
4E	14	15	30.1	12.835	2414.222	176.625	43408.767	245.768
5E	14	15	30.3	13.006	2430.239	176.625	44658.512	252.844
6E*	14	15.2	30	13.175	2421.433	181.366	31815.494	175.421
ค่าเฉลี่ย					2421.965			249.306
7E	28	15.2	30	12.955	2381.000	181.366	51293.578	282.817
8E	28	15	29.9	13.134	2486.988	176.625	45745.158	258.996
9E*	28	15	30	13.081	2468.695	176.625	34980.632	198.050
ค่าเฉลี่ย					2445.561			270.907

*หมายเหตุ เป็นการทดลองที่ผิดพลาดอาจเกิดได้จากความไม่ชำนาญของผู้ทดลอง
 ตารางที่ 4.21 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
 การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกวดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1F	7	15	30	12.746	2405.473	176.625	24527.013	138.865
2F	7	15	29	12.568	2453.669	176.625	24927.625	141.133
3F	7	15	30	12.665	2390.186	176.625	24768.603	140.233
ค่าเฉลี่ย					2416.443			140.077
4F	14	15	30.2	12.925	2423.101	176.625	29598.369	167.577
5F	14	15.1	30.1	12.697	2356.737	178.988	30823.649	172.211
6F	14	15	30.3	12.770	2386.141	176.625	29777.778	168.593
ค่าเฉลี่ย					2388.659			169.461
7F	28	15.1	30.1	12.676	2352.839	178.988	33710.499	188.340
8F	28	14.9	30	12.633	2416.257	174.278	35591.233	204.221
9F	28	15	30.2	12.906	2419.539	176.625	34053.007	192.798
ค่าเฉลี่ย					2396.211			195.120

ตารางที่ 4.22 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1I	7	15	30	12.597	2377.353	176.625	18008.155	101.957
2I*	7	15.1	30.2	12.508	2313.968	178.988	24477.064	136.753
3I	7	15	30.2	13.009	2438.848	176.625	18087.666	102.407
ค่าเฉลี่ย					2376.723			102.182
4I	14	15.1	30	12.630	2352.115	178.988	21829.766	121.962
5I	14	15	30.2	12.738	2388.043	176.625	19196.738	108.686
6I*	14	15	29.8	12.533	2381.149	176.625	24213.048	137.087
ค่าเฉลี่ย					2373.769			115.324
7I	28	15	29.9	12.562	2378.677	176.625	28799.185	163.053
8I	28	15	30.1	12.396	2331.648	176.625	32468.909	183.830
9I	28	14.9	30	12.468	2384.698	174.278	26075.433	149.620
ค่าเฉลี่ย					2365.007			165.501

*หมายเหตุ เป็นการทดลองที่ผิดพลาดอาจเกิดได้จากความไม่ชำนาญของผู้ทดลอง

ตารางที่ 4.23 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)

การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกวดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต								
1H	7	15.2	30.4	13.097	2375.425	181.366	18814.475	103.737
2H	7	15	30.3	12.663	2366.147	176.625	17262.997	97.738
3H*	7	15.2	30.3	13.044	2373.621	181.366	12279.307	67.704
ค่าเฉลี่ย					2371.731			100.738
4H	14	15	30	12.999	2453.220	176.625	21744.139	123.109
5H	14	15	30.3	13.320	2488.911	176.625	25520.897	144.492
6H	14	15	30	12.599	2377.731	176.625	24386.340	138.068
ค่าเฉลี่ย					2439.954			135.223
7H	28	15.1	30.1	12.872	2389.219	178.988	26991.845	150.803
8H	28	15	30.2	12.981	2433.599	176.625	26152.905	148.070
9H*	28	15.2	30.2	13.060	2384.402	181.366	19202.854	105.879
ค่าเฉลี่ย					2402.407			149.436

*หมายเหตุ เป็นการทดลองที่ผิดพลาดอาจเกิดได้จากความไม่ชำนาญของผู้ทดลอง
 ตารางที่ 4.24 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
 การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ศูนย์กลาง(ซม.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต(กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด(ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย(กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต									
10A	7	15.2	30.1	12.929	2368.327	181.366	43978.593	242.485	
11A	7	15	30.2	12.944	2426.663	176.625	43552.497	246.582	
ค่าเฉลี่ย					2397.495			244.533	
12A	14	15	30.2	13.025	2441.848	176.625	52448.522	296.948	
13A*	14	15	30	12.898	2434.159	176.625	36030.581	203.995	
ค่าเฉลี่ย					2438.003			296.948	
14A	28	15.1	30.1	13.200	2450.100	178.988	59812.436	334.170	
15A	28	14	30.2	12.903	2776.886	153.860	52420.999	340.706	
ค่าเฉลี่ย					2613.493			337.438	

*หมายเหตุ เป็นการทดลองที่ผิดพลาดอาจเกิดได้จากความชำนาญของผู้ทดลอง

ตารางที่ 4.25 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)

การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.54Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10B	7	15	30.2	12.892	2416.914	176.625	37938.838	214.799
11B	7	15.1	30	12.831	2389.548	178.988	37386.340	208.876
ค่าเฉลี่ย					2403.231			211.838
12B	14	15.1	30.1	12.770	2370.287	178.988	44199.796	246.943
13B	14	15.2	29.9	12.801	2360.565	181.366	46939.857	258.812
ค่าเฉลี่ย					2365.426			252.878
14B	28	15	30	12.880	2430.762	176.625	48780.836	276.183
15B	28	15	30	12.759	2407.926	176.625	50746.177	287.310
ค่าเฉลี่ย					2419.344			281.747

*หมายเหตุ เป็นการทดลองที่ผิดพลาดอาจเกิดได้จากความไม่ชำนาญของผู้ทดลอง

ตารางที่ 4.26 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)

การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10C	7	15	30.1	12.713	2391.274	176.625	37458.716	212.080
11C	7	15	30.1	12.723	2393.155	176.625	36472.987	206.500
ค่าเฉลี่ย					2392.215			209.290
12C	14	15.1	30.2	12.701	2349.673	178.988	47216.106	263.795
13C	14	15.1	30.1	12.633	2344.857	178.988	45902.141	256.454
ค่าเฉลี่ย					2347.265			260.124
14C	28	15	30	12.659	2389.054	176.625	52523.955	297.376
15C	28	15	30	12.708	2398.301	176.625	48993.884	277.389
ค่าเฉลี่ย					2393.678			287.382

ตารางที่ 4.27 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:3 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.62 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10D*	7	15	30	13.069	2466.431	176.625	49225.280	278.699
11D	7	15	30.1	12.929	2431.903	176.625	32885.831	186.190
ค่าเฉลี่ย					2449.167			186.190
12D*	14	15.1	30	13.182	2454.915	178.988	53622.834	299.589
13D	14	15.1	30	13.270	2471.304	178.988	41718.654	233.081
ค่าเฉลี่ย					2463.109			233.081
14D	28	15.1	30.1	13.199	2449.915	178.988	48257.900	269.616
15D	28	15	30	12.923	2438.877	176.625	47236.493	267.439
ค่าเฉลี่ย					2444.396			268.527

*หมายเหตุ เป็นการทดลองที่ผิดพลาดอาจเกิดได้จากความไม่ชำนาญของผู้ทดลอง
 ตารางที่ 4.28 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:1.5:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
 การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.54 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	คุณสมบัติของปูนซีเมนต์	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	น้ำหนักคอกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10E	7	15.1	30.3	13.040	2404.426	178.988	46295.617	258.652
11E	7	15	30	12.896	2433.782	176.625	48418.960	274.134
ค่าเฉลี่ย					2419.104			266.393
12E	14	15.1	30.2	12.912	2388.708	178.988	53056.065	296.423
13E	14	14.9	30.2	13.046	2478.724	174.278	53463.812	306.773
ค่าเฉลี่ย					2433.716			301.598
14E	28	15	30.2	12.951	2427.975	176.625	56398.573	319.313
15E	28	15.1	30.1	13.051	2422.444	178.988	60253.823	336.636
ค่าเฉลี่ย					2425.209			327.974

ตารางที่ 4.29 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:2:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.6 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดคดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10F	7	15	30	12.691	2395.093	176.625	25585.117	144.856
11F	7	15	30	13.047	2462.279	176.625	26560.652	150.379
ค่าเฉลี่ย					2428.686			147.617
12F	14	15.2	30.1	12.882	2359.717	181.366	31085.627	171.397
13F	14	15	30.2	12.821	2403.603	176.625	32719.674	185.249
ค่าเฉลี่ย					2381.660			178.323
14F	28	15	30.1	12.910	2428.329	176.625	38364.934	217.211
15F	28	15	30	12.744	2405.096	176.625	40451.580	229.025
ค่าเฉลี่ย					2416.712			223.118

ตารางที่ 4.30 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:4 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกวดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10I	7	15	30	12.442	2348.101	176.625	20925.586	118.475
11I	7	15	29.5	12.402	2380.222	176.625	22032.620	124.742
ค่าเฉลี่ย					2364.162			121.609
12I	14	15.1	30	12.727	2370.180	178.988	25549.439	142.744
13I	14	15	30	12.622	2382.071	176.625	22477.064	127.259
ค่าเฉลี่ย					2376.125			135.001
14I	28	15.1	30.1	12.802	2376.226	178.988	26095.821	145.797
15I*	28	15.1	30.1	12.803	2376.412	178.988	22124.363	123.608
ค่าเฉลี่ย					2376.319			145.797

*หมายเหตุ เป็นการทดลองที่ผิดพลาดอาจเกิดได้จากความไม่ชำนาญของผู้ทดลอง
 ตารางที่ 4.31 ตารางการกำลังอัดประลัยของอัตราส่วน 1:3:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
 การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	อายุ(วัน)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	หน้าตัดกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดปลาย (กก./ซม. ²)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต								
10H	7	15	30	12.980	2449.634	176.625	24232.416	137.197
12H	14	15	30.2	13.123	2460.220	176.625	25588.175	144.873
14H	28	15	30.2	13.040	2444.660	176.625	28834.862	163.255
15H	28	15.1	30.2	12.989	2402.953	178.988	39244.648	219.259
ค่าเฉลี่ย					2423.806			191.257

ตารางที่ 4.32 ตารางการกำลังอัดปลายของอัตราส่วน 1:2:5 (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต 0.714 Water Cement Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

จากการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับการผสมคอนกรีตโดยปริมาตรนั้น ทำให้ทราบถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีต คือ อัตราส่วนในการผสมคอนกรีต, วิธีการบ่มคอนกรีตและรวมถึงการนำคอนกรีตใส่แบบหล่ออีกด้วย

อัตราส่วนในการผสมคอนกรีต

1. หิน การที่เราใส่หินที่มากหรือน้อยเกินไปจะทำให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตไม่ดีเท่าที่ควร คือ การที่ใส่หินมากเกินไปจะทำให้การยึดเกาะของเนื้อมอร์ต้าไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำให้หินเกิดการแยกตัวออกมาจากเนื้อมอร์ต้ามันเองหรือ มุมในการเรียงตัวของหินอาจจะทับกันในแนวที่จะทำให้เกิดการพังทลายได้ง่ายเมื่อทำการใส่ลงแบบ ในทางกลับกันถ้าใส่หินน้อยเกินไปจะทำให้กำลังอัดประลัยขึ้นกับเนื้อของมอร์ต้าเป็นส่วนใหญ่ แต่กำลังอัดประลัยที่ได้ค่อนข้างจะน้อยกว่าและค่อนข้างที่จะสิ้นเปลืองด้วย

2. ทราย การที่ใส่ทรายมากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพการยึดเกาะกันระหว่างปูนซีเมนต์และทรายลดลง กล่าวคือจะทำให้มอร์ต้ามันร่วนจึงทำให้ประสิทธิภาพลดลงนั่นเอง

3. น้ำ การที่ใส่น้ำมากจะทำให้ประสิทธิภาพในการเทมากขึ้นตามปริมาณน้ำแต่กำลังอัดประลัยจะน้อยลง ส่วนการที่ใส่น้ำน้อยจะทำให้ประสิทธิภาพในการเทลดลงแต่กำลังอัดประลัยจะมากขึ้น ตามเปอร์เซ็นต์น้ำต่อปูนซีเมนต์นั่นเอง

วิธีการบ่มคอนกรีต

จากการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับการบ่มคอนกรีต ที่ทำการศึกษามี 2 วิธี คือ

1. การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต
2. การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต

จากที่ได้ทดลองแล้วพบว่า การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต จะทำให้ประสิทธิภาพของกำลังอัดประลัยดีกว่าการบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต ถึง 28.35% และการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดประลัยใน 7, 14 และ 28 วัน ก็ดีกว่าเช่นกัน

4.4 ผลการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต

การยุบตัวของคอนกรีตตามอัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 4.33 ค่าการยุบตัว โดยค่าการยุบตัวจะขึ้นกับอัตราส่วนผสม (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)

อัตราส่วน (น้ำ:ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)	ค่าการยุบตัว
1:1.5:3 0.54(w/c)	8.8
1:2:3 0.6(w/c)	8.3
1:3:3 0.62(w/c)	5.7
1:1.5:4 0.54(w/c)	5.3
1:2:4 0.6(w/c)	6.7
1:3:4 0.714(w/c)	5.2
1:3:5 0.714(w/c)	9.8
1:2:5 0.714(w/c)	11.7

ตารางที่ 4.33 ค่าการยุบตัว

4.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต

จากการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต ทำให้ทราบว่าวัสดุต่างๆ มีผลต่อคอนกรีตดังตารางที่ 4.34 ตารางการวิเคราะห์วัสดุที่มีผลต่อค่าการยุบตัว

	มาก	น้อย
หิน*	ค่ายุบตัวต่ำ	ค่ายุบตัวสูง
ทราย	ค่ายุบตัวต่ำ	ค่ายุบตัวสูง
น้ำ	ค่ายุบตัวสูง	ค่ายุบตัวต่ำ

*หากเราใส่หินในอัตราส่วนที่ 5 หรือมากกว่านั้น จะทำให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีต มีค่าที่ไม่แน่นอน เนื่องจากเมื่อหินมีมากเกินไปจะทำให้เนื้อมวลตัวไม่เคลือบที่ผิวของหินทุกก้อน หินก็จะแยกตัวออกมาทำให้การทดสอบค่าไม่ไม่ได้ยากมากแต่ถ้าทดสอบได้ก็จะไม่แน่นอน

ตารางที่ 4.34 ตารางการวิเคราะห์วัสดุที่มีผลต่อค่ายุบตัว

4.6 วิเคราะห์ผลการหาปริมาณ

อัตราส่วน	วัสดุ	ปริมาณก่อนผสม (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	ปริมาณหลังผสม โดยใช้ปูนจำนวน1ถุง (ลบ.ม.)
1	ปูน	0.036	50	
1.5	ทราย	0.054	78.3	
3	หิน	0.108	183.6	
	รวม		311.9	0.13

ตารางที่ 4.35 ตารางปริมาณของอัตราส่วน 1:1.5:3 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
จากตารางทำให้ทราบว่า ปูน1ถุง ได้ปริมาณ 0.13 ลบ.ม. เฉพาะจะทำให้ทราบว่า 1 ลบ.ม.ใช้ปูน
 $1/0.13=7.694$ ถุง

อัตราส่วน	วัสดุ	ปริมาณก่อนผสม (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	ปริมาณหลังผสม โดยใช้ปูนจำนวน1ถุง (ลบ.ม.)
1	ปูน	0.036	50	
2	ทราย	0.072	104.4	
3	หิน	0.108	183.6	
	รวม		338	0.141

ตารางที่ 4.36 ตารางปริมาณของอัตราส่วน 1:2:3 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
จากตารางทำให้ทราบว่า ปูน1ถุง ได้ปริมาณ 0.141ลบ.ม.เฉพาะจะทำให้ทราบว่า 1 ลบ.ม.ใช้ปูน
 $1/0.141= 7.100$ ถุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วน	วัสดุ	ปริมาตรก่อนผสม (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	ปริมาตรหลังผสม โดยใช้ปูนจำนวน1ถุง (ลบ.ม.)
1	ปูน	0.036	50	
3	ทราย	0.108	156.6	
3	หิน	0.108	183.6	
	รวม		390.2	0.163

ตารางที่ 4.37 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:3:3 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
จากตารางทำให้ทราบว่า ปูน1ถุง ได้ปริมาตร 0.163ลบ.ม.เฉพาะจะทำให้ทราบว่า 1 ลบ.ม.ใช้ปูน
 $1/0.163=6.151$ ถุง

อัตราส่วน	วัสดุ	ปริมาตรก่อนผสม (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	ปริมาตรหลังผสม โดยใช้ปูนจำนวน1ถุง (ลบ.ม.)
1	ปูน	0.036	50	
1.5	ทราย	0.054	78.3	
4	หิน	0.144	244.8	
	รวม		373.1	0.155

ตารางที่ 4.38 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:1.5:4 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
จากตารางทำให้ทราบว่า ปูน1ถุง ได้ปริมาตร 0.155 ลบ.ม. เฉพาะจะทำให้ทราบว่า 1 ลบ.ม.ใช้
ปูน $1/0.155=6.433$ ถุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วน	วัสดุ	ปริมาตรก่อนผสม (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	ปริมาตรหลังผสม โดยใช้ปูนจำนวน1ถุง (ลบ.ม.)
1	ปูน	0.036	50	
2	ทราย	0.072	104.4	
4	หิน	0.144	244.8	
	รวม		399.2	0.166

ตารางที่ 4.39 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:2:4 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
จากตารางทำให้ทราบว่า ปูน1ถุง ได้ปริมาตร 0.166ลบ.ม. เฉพาะจะทำให้ทราบว่า 1 ลบ.ม.ใช้
ปูน $1/0.166=6.012$ ถุง

อัตราส่วน	วัสดุ	ปริมาตรก่อนผสม (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	ปริมาตรหลังผสม โดยใช้ปูนจำนวน1ถุง (ลบ.ม.)
1	ปูน	0.036	50	
3	ทราย	0.108	156.6	
4	หิน	0.144	244.8	
	รวม		451.4	0.188083333

ตารางที่ 4.40 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:3:4 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)
จากตารางทำให้ทราบว่า ปูน1ถุง ได้ปริมาตร 0.188 ลบ.ม. เฉพาะจะทำให้ทราบว่า 1 ลบ.ม.ใช้
ปูน $1/0.188= 5.317$ ถุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วน	วัสดุ	ปริมาตรก่อนผสม (ลบ.ม.)	น้ำหนัก(กก.)	ปริมาตรหลังผสม โดยใช้ปูนจำนวน1ถุง (ลบ.ม.)
1	ปูน	0.036	50	
2	ทราย	0.072	104.4	
5	หิน	0.18	306	
	รวม		460.4	0.191

ตารางที่ 4.41 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:2:5 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)

จากตารางทำให้ทราบว่า ปูน1ถุง ได้ปริมาตร 0.191 ลบ.ม. เฉพาะจะทำให้ทราบว่า 1 ลบ.ม.ใช้
ปูน $1 / 0.191 = 5.212$ ถุง

อัตราส่วน	วัสดุ	ปริมาตรก่อนผสม (ลบ.ม.)	น้ำหนัก(กก.)	ปริมาตรหลังผสม โดยใช้ปูนจำนวน1ถุง (ลบ.ม.)
1	ปูน	0.036	50	
3	ทราย	0.108	156.6	
5	หิน	0.18	306	
	รวม		512.6	0.214

ตารางที่ 4.42 ตารางปริมาตรของอัตราส่วน 1:3:5 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน)

จากตารางทำให้ทราบว่า ปูน1ถุง ได้ปริมาตร 0.214ลบ.ม. เฉพาะจะทำให้ทราบว่า 1 ลบ.ม.ใช้
ปูน $1/0.214=7.694$ ถุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 วิเคราะห์ปริมาณคอนกรีตในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

อัตราส่วน	ปูน (ลบ.ม.) (จำนวนถุง)	ทราย (ลบ.ม.)	หิน (ลบ.ม.)	น้ำ (ลบ.ม.)	fc' บ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต	fc' บ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต	ค่าการยุบตัว (เซนติเมตร) (28 วัน) (ksc)
1:1.5:3	0.277(7.694)	0.416	0.831	0.208	330	240	8.8
1:2:3	0.256(7.100)	0.512	0.768	0.205	280	250	8.3
1:3:3	0.221 (6.151)	0.663	0.663	0.192	280	260	5.7
1:1.5:4	0.232(6.433)	0.348	0.928	0.174	260	240	5.3
1:2:4	0.216 (6.012)	0.432	0.864	0.173	320	270	6.5
1:3:4	0.191 (5.317)	0.573	0.764	0.191	220	190	5.2

ตารางที่ 4.43 ตารางปริมาณที่ใช้ในการผสมคอนกรีตเพื่อให้ได้ 1 ลูกบาศก์เมตร

ค่ากำลังอัดประลัยของ คอนกรีตผสมเสร็จ(ksc.)	อัตราส่วน	
	บ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อ คอนกรีต	บ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้ คอนกรีต
180	1:3:4	-
210	-	1:3:4
240	1:1.5:3,1:1.5:4	-
250	1:2:3,1:3:3,1:2:4	1:1.5:4
280	-	1:3:3,1:2:3
320	-	1:2:4,1:1.5:3

ตารางที่ 4.44 ตารางแสดงผลอัตราส่วนและค่ากำลังอัดประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

คอนกรีตผสมเสร็จ เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญและถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณภาพที่สม่ำเสมอ สะดวกในการใช้และประหยัดเวลาในการก่อสร้างทำให้การก่อสร้างในปัจจุบันนิยมใช้คอนกรีตผสมเสร็จในการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามการประมาณการในการสั่งคอนกรีตผสมเสร็จนั้นอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของการประมาณปริมาณของคอนกรีตผสมเสร็จไม่เพียงพอต่อความต้องการจึงทำให้จำเป็นต้องผสมเพิ่มเพื่อให้พอดีต่อความต้องการและจากการขยายตัวของชุมชนมีอัตราเพิ่มมากขึ้นในทุกพื้นที่ทำให้ความต้องการที่พิศอกาศัยเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การก่อสร้างมีการขยายตัวตามไปด้วย แต่การคมนาคมที่มีการขยายตัวที่ช้ากว่าทำให้การขนส่งเป็นไปด้วยความลำบากเข้าถึงยากจึงจำเป็นต้องมีการผสมคอนกรีตเอง ซึ่งไม่สามารถควบคุมคุณสมบัติของกำลังอัดประลัยให้เป็นไปตามความต้องการ อีกทั้งยังทำให้ค่าการยุบตัวไม่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

การผสมคอนกรีตโดยที่ไม่มีความรู้เพียงพอจะส่งผลให้คอนกรีตที่ได้นั้นมีกำลังอัดประลัยและค่าการยุบตัวที่ได้ไม่ตรงต่อความต้องการ ซึ่งจะส่งผลให้โครงสร้างที่ได้นั้นอาจเกิดความเสียหายเนื่องจากคุณภาพของคอนกรีตมีกำลังอัดประลัยที่น้อยเกินกว่าความต้องการ จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยได้สังเกตเห็นความสำคัญของการผสมคอนกรีตโดยปริมาตร เนื่องจากอัตราส่วนของการผสมคอนกรีตส่งผลโดยตรงต่อการรับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ทั้งยังมีผลต่อค่าการยุบตัวของคอนกรีตอีกด้วย โดยทั่วไปมักใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหิน 1 : 2 : 4 ในการผสมคอนกรีตเพิ่มเติม ส่งผลทำให้ไม่สามารถควบคุมกำลังอัดประลัยและค่าการยุบตัวได้ตามต้องการ เพื่อให้ได้คุณสมบัติกำลังอัดประลัยและค่าการยุบตัวให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งาน ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาวิจัยถึงอัตราส่วนผสมของคอนกรีตในอัตราส่วนต่างๆ ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของการผสมคอนกรีตที่สามารถควบคุมกำลังอัดประลัยและได้ค่าการยุบตัวที่เหมาะสม ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นถึงปริมาตรและอัตราส่วนผสมคอนกรีต

จากการที่ได้ทำการศึกษาวิจัยพบว่าอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินที่เหมาะสมมีดังนี้

- การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต
 - อัตราส่วน 1 : 2 : 4 จะได้กำลังอัดประลัยเท่ากับ 270 ksc
 - อัตราส่วน 1 : 1.5 : 3 จะได้กำลังอัดประลัยเท่ากับ 240 ksc
- การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต
 - อัตราส่วน 1 : 2 : 4 จะได้กำลังอัดประลัยเท่ากับ 320 ksc
 - อัตราส่วน 1 : 1.5 : 3 จะได้กำลังอัดประลัยเท่ากับ 330 ksc

ค่าการยุบตัวที่ 7.5 ± 2.5 เซนติเมตร ซึ่งกำลังอัดประลัยและค่าการยุบตัวนั้นอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามการเลือกอัตราส่วนนั้นควรเลือกให้เหมาะสมกับประเภทของงานก่อสร้าง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการที่ได้ผสมคอนกรีต ความสูงของเครื่องผสมคอนกรีตมีความสูงที่มาก ทำให้การทำงานมีความยากลำบาก จึงควรที่จะมีแท่นยืนที่มีความสูงพอสมควรเพื่อที่จะได้ทำงานสะดวกยิ่งขึ้น โดยแท่นยืนนั้นควรมีความสูงอยู่ในช่วงระหว่าง 50 – 70 เซนติเมตร ค่าที่ได้ใช้ในการทดสอบเบื้องต้นโดยค่าความสูงของผู้วิจัย เฉลี่ยอยู่ที่ 171 เซนติเมตร
2. การผสมคอนกรีตควรควบคุมปริมาณน้ำที่ผสมให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม



บรรณานุกรม

1. วินิต ซ่อวิเชียร. (2539). คอนกรีตเทคโนโลยี Concrete technology. กรุงเทพมหานคร:ป.สัมพันธ์พาณิชย์.
2. แผนกวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่ Department of Building Construction. (2554). เข้าถึงได้จาก: <http://mixdesign.cmtc.ac.th/project8/index.html> (27 สิงหาคม 2556).
3. คอนกรีตเทคโนโลยี บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด
เข้าถึงได้จาก: <http://www.tpipolene.co.th/Document/concrete/manual.pdf>

