สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษากำลังอัดของพื้นคอนกรีตที่ระดับความลึกต่างๆเนื่องจากการบ่มที่ผิวบนของแผ่นพื้น

THE STUDY STRENGTH OF CONCRETE DUE TO CURING AT SEVERAL DEPTH LEVELS OF FLAT SLAB

T042414

โดย

นายทศพนธ์ เติมสุขนิรันดร

นายธนัช รุ้งวงศ์ศรี

นายสิริชัย ประสิทธิ์แสงอารีย์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42414
วัน, เดือน, ปี 20 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY STRENGTH OF CONCRETE DUE TO CURING AT SEVERAL DEPTH LEVELS OF FLAT SLAB

BY

MR.THOSSAPHON TERMSUKNIRUNDORN

MR.THANAT RUNGWONGSRI

MR.SIRICHAI PRASITTSANGAREE

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษากำลังอัดของพื้นคอนกรีตที่ระดับความลึกต่างๆเนื่องจากการบ่มที่ผิวบนของแผ่นพื้น			
นักศึกษา	นายทศพนธ์	เติมสุขนิรันดร	รหัสประจำตัว	40010268
	นายธนัช	รุ้งวงศ์ศรี	รหัสประจำตัว	40010296
	นายสิริชัย	ประสิทธิ์แสงอารีย์	รหัสประจำตัว	40010855
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		สาขาวิชา	วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา			
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์			

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ.ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์ อ.เกษม อมันตกุล อ.สุรัตน์ หวังเจริญ อ.ถนอม ศรีวรษา	

ภาควิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.แดง เหรียญสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 2 เดือน เมษายน พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษากำลังอัดของพื้นคอนกรีตที่ระดับความลึกต่างๆเนื่องจากการบ่มที่ผิวของแผ่นพื้น
	THE STUDY STRENGTH OF CONCRETE DUE TO CURING AT SEVERAL DEPTH LEVELS OF FLAT SLAB
นักศึกษา	นายทศพนธ์ เติมสุขนิรันดร
	นายธนัช รุ้งวงศ์ศรี
	นายสิริชัย ประสิทธิ์แสงอารีย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษากำลังอัดของพื้นคอนกรีต เนื่องจากการบ่มที่ผิว ที่ระดับความลึกต่างๆ โดยจะศึกษาโครงสร้างจำลองแผ่นพื้นคอนกรีตขนาด 75x90x30 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูง) ทำการบ่มด้านบน 28 วัน และทำการถอดแบบท้องพื้นออกที่ระยะเวลา 7วันนับตั้งแต่เริ่มเทคอนกรีต แล้วทำการสุ่มเจาะคอนกรีตแผ่นพื้นตัวอย่างประมาณ 15 ตัวอย่างเพื่อนำมาตัดแท่งคอนกรีตที่ระดับความลึกต่างๆ และนำไปทดสอบหาค่ากำลังอัดประลัยจะได้ค่ากำลังอัดประลัย นอกจากนั้นยังทำการหล่อแท่งคอนกรีตในท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.3 เซนติเมตร และนำไปทดสอบหาปริมาณน้ำในแต่ละระดับความลึก แล้วนำมาเขียนกราฟในแต่ละระดับความลึกเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ อันจะนำไปใช้ประโยชน์เป็นข้อมูลในการบ่มคอนกรีต และปรับปรุงกำลังของคอนกรีตให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าการบ่มมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตที่ระดับบนมีค่ามากกว่าที่ระดับล่าง แต่มีปัจจัยสำคัญอีกหลายประการที่ทำให้กำลังของระดับล่างมากกว่าระดับบน เช่น ความหนาแน่นของคอนกรีต การเยิ้ม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	THE STUDY STRENGTH OF CONCRETE DUE TO CURING AT SEVERAL DEPTH LEVELS OF FLAT SLAB
Name	:	MR.THOSSAPHON TERMSUKNIRUNDORN
		MR.THANAT RUNGWONGSRI
		MR.SIRICHAI PRASITTSANGAREE
Field	:	CONSTRUCTION ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	SAKCHAI SCARNUPONG

ABSTRACT

This special project is study in strength of slab concrete at several depth levels due to curing . We use 75 x 90 x 30 cm. Models 28 days top cure and taking off bottom of formworks at 7 days from pouring concrete then, we core 15 samples , cut the cylinder at several depths (5 depths) , tested the compressive strength and cast concrete in PVC for find the water in each depth. Plot graphs and study relative of them in order to improve strength of concrete to be a better or use to be the information for the construct . From The research , curing is more effective to the topside than bottom side but there still have many causes that make the bottom side stronger than topside,such as concrete density , bleeding etc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมก่อสร้าง โดยศึกษาเรื่องซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลและวัสดุอุปกรณ์ต่างๆในการทำโครงงานนี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณแก่บุคคลและสถานที่ต่าง ๆ ต่อไปนี้

1. อาจารย์ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างสูงต่อโครงงานพิเศษนี้
2. อาจารย์สุรัตน์ หวังเจริญ อาจารย์เกษม อมันตกุล อาจาย์ถนอม ศรีวรษา คณะกรรมการคุมสอบที่ได้ให้ข้อคิดเห็น ที่มีประโยชน์ต่อโครงงานนี้
3. อาจารย์ประจำภาควิชาโยธาและเจ้าหน้าที่ทุก ๆ ท่านที่ได้แนะนำและให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน
4. อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
5. หอสมุดกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาและอาจารย์ประจำภาคอื่นที่ได้ให้ความรู้แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และพี่ ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดาและมารดาของข้าพเจ้าที่ได้สละทุนทรัพย์และคอยยืนเคียงข้างเป็นกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นายทศพนธ์ เติมสุขนิรันดร
นายธนัช รุ้งวงศ์ศรี
นายสิริชัย ประสิทธิ์แสงอารีย์

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูป	ฎ
1	**บทนำ**	
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ที่มาของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
	1.4. ขอบเขตของการศึกษา	2
	1.5. วิธีการศึกษา	2
	1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
2	**วรรณกรรมปริทัศน์**	
	2.1. หลักทั่วไปของคอนกรีต	
	2.1.1. เกณฑ์กำหนดของคอนกรีต	4
	2.1.2. ธรรมชาติของคอนกรีต	4
	2.1.3. ปริมาณอากาศ	5
	2.1.4. การทรุดตัว	6
	2.1.5. องค์ประกอบของเพสท์	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.1.6. กระบวนการแข็งตัว	9
	2.1.7. การหดตัวและการพองตัว	10
	2.1.8. ความร้อนอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ	12
	2.2. การบ่มคอนกรีต	13
	2.2.1. การบ่มคอนกรีตภายใต้อุณหภูมิทั่วไป	13
	2.3. การเยิ้ม	25
	2.3.1. ความหมายของการเยิ้ม	25
	2.3.2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเยิ้ม	26
	2.4. ความสามารถซึมผ่านได้	26
	2.5. ความผันแปรของกำลังอัดในโครงสร้าง	31
	2.5.1. สาเหตุความผันแปรของกำลังอัด	31
3	**ขั้นตอนดำเนินการทดลอง**	
	3.1. กล่าวนำ	37
	3.1.1. การทดสอบหาความสัมพันธ์ของกำลังอัดของพื้นคอนกรีตที่ระดับความลึกต่างๆ	37
	3.1.2. การทดสอบหาปริมาณน้ำของแท่งคอนกรีตในแต่ละชั้น	43
4	**ผลการทดลอง**	
	4.1. กล่าวนำ	44
	4.2. ผลการทดลอง	44
	4.2.1. ผลการทดลองตามหัวข้อ 3.1.1.	44
	4.2.2. ผลการทดลองตามหัวข้อ 3.1.2.	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
5	**วิเคราะห์ผลการทดลอง**	
	5.1. กล่าวนำ	54
	5.2. วิเคราะห์ผลการทดลอง	55
	5.2.1. ผลเนื่องจากความหนาแน่นของคอนกรีตแต่ละชั้น	55
	5.2.2. ผลเนื่องจากการเยิ้ม	56
	5.2.3. ผลเนื่องจากการบ่มและการซึมผ่านได้ของน้ำ	56
6	**สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ**	
	6.1. สรุปผลการทดลอง	58
	6.2. ข้อเสนอแนะ	58
	รายการอ้างอิง	59
	บรรณานุกรม	60
	ภาคผนวก ก. รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการรับกำลังของคอนกรีต	ผก1
	ภาคผนวก ข. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI	ผข2
	ภาคผนวก ค. การทดสอบคอนกรีตสด และคอนกรีตที่แข็งตัว	ผค3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	แสดงระดับการควบคุมขบวนการผลิตคอนกรีต ตามมาตรฐาน ACI	34
4.1.	สักษณะของก้อนตัวอย่างหลังจากตัดเสร็จ	44
4.2.	ผลการทดลองการหาค่าปริมาณความชื้น	49
5.4.	ตารางผลการทดลอง ความหนาแน่น น้ำหนักน้ำในคอนกรีตเทียบกับน้ำหนักคอนกรีต ค่ากำลังอัดคอนกรีต	54
ผ.ข.1.	แสดงค่าคงที่ k และร้อยละของกำลังอัดที่ต่ำกว่า f_c'	ผข4
ผ.ข.2.	แสดงตัวคูณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อจำนวนตัวอย่างน้อยกว่า 30 ค่า	ผข5
ผ.ข.3.	แสดงส่วนเผื่อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังอัด	ผข5
ผ.ข.4.	แสดงค่ายุบตัวสำหรับงานประเภทต่างๆ	ผข12
ผ.ข.5.	แสดงขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ	ผข12
ผ.ข.6.	แสดงปริมาณน้ำผสมคอนกรีต	ผข13
ผ.ข.7.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคอนกรีตกับอัตราส่วนของน้ำ / ซีเมนต์	ผข14
ผ.ข.8.	แสดงปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร	ผข14
ผ.ข.9.	แสดงน้ำหนักคอนกรีตสด	ผข15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1.	ปริมาตรของส่วนประกอบของส่วนผสมคอนกรีตชนิดธรรมดา	5
2.2.	แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก และการรั่วซึมสัมพัทธ์ของน้ำผ่านคอนกรีตภายใต้ความดัน	8
2.3.	ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และปริมาณน้ำในคอนกรีต ใช้สำหรับแสดงให้เห็นลักษณะของเส้นโค้งเท่านั้น ค่าจริงๆแตกต่างไปตามขนิดของวัสดุและภาวะการทำให้แห้ง	11
2.4.	การเพิ่มอุณหภูมิของคอนกรีตสำหรับซีเมนต์ชนิดต่างๆ เมื่อไม่มีการเสียความร้อน	12
2.5.	แสดงผลของการจำกัดความชื้นในการบ่มคอนกรีตและการพัฒนาของกำลังอัดของคอนกรีต	14
2.6.	แสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่อกำลังอัด	17
2.7.	แสดงการบ่มคอนกรีตด้วยวิธีขังน้ำ	22
2.8.	แสดงการบ่มคอนกรีตโดยใช้กระสอบชื้น	22
2.9.	แสดงการบ่มคอนกรีตโดยใช้สารเหลวบ่มคอนกรีต	23
2.10.	แสดงการบ่มคอนกรีตโดยการฉีดน้ำ	23
2.11.	แสดงการบ่มคอนกรีตโดยใช้พลาสติก	24
2.12.	การหาการเยิ้มของคอนกรีต	25
2.13.	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำกับความพรุนของคอนกรีต	27
2.14.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการซึมผ่านของน้ำกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	28
2.15.	แสดงความสามารถซึมผ่านของน้ำลดลงเมื่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่นสมบูรณ์ขึ้น	28
2.16.	คอนกรีตที่มีความพรุนเท่ากัน แต่ a) การซึมผ่านของน้ำสูงเนื่องจาก Capillaly pore เชื่อมต่อกัน b) การซึมผ่านของน้ำต่ำเนื่องจาก Capillaly pore แยกจากกัน.	29
2.17.	ขบวนการซึมผ่านของน้ำ ความชื้น และอากาศ	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.18.	แสดงการจมตัวของหิน ทราย ปูนซีเมนต์เป็นผลให้เกิดการเยิ้ม	32
2.19.	แสดงโพรงอากาศใต้มวลรวมและช่องทางที่น้ำไหลขึ้นสู่ด้านบน ซึ่งส่งผลให้กำลังของคอนกรีตแปรผัน	32
2.20.	แสดงความผันแปรของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ตลอดช่วงความสูงของโครงสร้าง	33
2.21.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความหนาแน่น และอัตราส่วนของกำลังอัด	35
2.22.	แสดงผลของการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีต	36
2.23.	แสดงความผันแปรของคุณภาพคอนกรีต	36
3.1.	แสดงภาพขณะเจาะแท่งคอนกรีต	38
3.2.	แสดงตัวอย่างหลุมที่เจาะแล้ว	39
3.3.	แสดงตัวอย่างแท่งคอนกรีตที่เจาะได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 30 ซม.	39
3.4.	แสดงเครื่องตัดคอนกรีต	40
3.5.	แสดงขณะทำการตัดแท่งตัวอย่าเป็นชั้นๆ ชั้นละประมาณ 6 ซม.	40
3.6.	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ทำการแค็ปก้อนตัวอย่าง	41
3.7.	แสดงขณะทำการแค็ปก้อนตัวอย่าง	41
3.8.	แสดงเครื่อง UTM และคอมพิวเตอร์ควบคุม	42
4.1.	ผลการทดสอบกำลังของค่าเฉลี่ย 15 ตัวอย่าง	52
4.2.	ผลการทดสอบค่าเปอร์เซนต์ของน้ำที่มีแต่ละชั้นต่อน้ำหนักคอนกรีต	53
ผ.ข.1.	แผนภาพออกแบบสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา	ผข7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. กล่าวนำ

เนื่องจากงานก่อสร้างในปัจจุบันวิธีหนึ่งที่จะเป็นการรักษากำลังของคอนกรีตให้ถึงค่าที่ต้องการ และป้องการการสูญเสียน้ำภายในคอนกรีตคือ การบ่มคอนกรีต ซึ่งการบ่มคอนกรีตนั้นมีหลายวิธี แต่ในปัจจุบันการบ่มส่วนใหญ่นั้นเป็นการบ่มเพียงที่ผิวเท่านั้น แต่การระเหยของน้ำมีทั้งผิวบน ผิวล่าง ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องศึกษาถึงผลกระทบของกำลังของคอนกรีต อันเนื่องมาจากการบ่มคอนกรีตที่ผิว โดยศึกษาที่ระดับความลึกต่างๆ ว่ามีผลกระทบมากน้อยเพียงใด

1.2. ที่มาของปัญหา

จากที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้วว่าการที่เราจะหล่อคอนกรีตให้ได้คุณภาพดี ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญมากก็คือ เราจะต้องบ่มคอนกรีต ซึ่งการบ่มคอนกรีตทั่วๆไป ณ. สภาพการทำงานจริงจะบ่มเฉพาะเพียงที่ผิวบนของโครงสร้างเท่านั้น และในสภาพการก่อสร้างในปัจจุบันการทดสอบพื้นคอนกรีตเราจะเลือกจุดที่เกิดปัญหาที่สุด โดยจะเจาะจุดที่น้ำซึมมาทดสอบ จากการสำรวจของทางภาควิศวกรรมโยธาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังในการเจาะสำรวจกำลังอัดของพื้น ซึ่งผลสำรวจที่ได้ค่ากำลังอัดที่ผิวล่างของคอนกรีตมีค่าน้อยที่สุด จึงทำให้อยากทราบว่าที่ระดับล่างที่มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุดเป็นผลเนื่องมาจากการบ่มหรือไม่ จึงเป็นที่มาที่ทำให้มีการศึกษากำลังอัดของพื้นคอนกรีตที่ระดับความลึกต่าง ๆ เนื่องมาจาการบ่มที่ผิวของแผ่นพื้น

1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

จุดมุ่งหมายของการทำการศึกษาครั้งนี้เพื่อจะได้ทราบว่าค่ากำลังอัดของพื้นคอนกรีตที่ระดับความลึกต่าง ๆ ที่ได้รับการบ่มที่ผิวบนว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ เป็นในลักษณะอย่างไร และกำลังอัดที่ผันแปรเป็นผลเนื่องมาจากความหนาแน่น, การเยิ้มและการซึมผ่านได้ของน้ำผ่านคอนกรีตด้วยหรือไม่ อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4. ขอบเขตของการศึกษา

จำลองแผ่นพื้นคอนกรีตเพื่อใช้ทดสอบเป็นแผ่นพื้นขนาด 75x90x30 ซม.(กว้างx ยาว x สูง ตามลำดับ) โดยแผ่นพื้นที่ใช้ทดสอบเป็นคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็ก การบ่มจะใช้น้ำบริสุทธิ์ในการบ่ม และจะทำการบ่มเพียงที่ผิวบนเท่านั้น สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มเท่ากับ 28 วันกำหนดสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกับสภาพการก่อสร้างจริงระดับความลึกของแท่งคอนกรีตที่ทำการศึกษา จะศึกษาที่ระดับความลึกต่างๆโดยจะตัด เจาะแผ่นพื้นให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และทำการตัดเป็นชั้นๆ ชั้นละ 6 เซนติเมตรโดยประมาณ จะได้ทั้งหมด 5 ชั้น และทำการวิเคราะห์แต่ละชั้นโดยเราจะศึกษาเรื่อง กำลังอัด, การบ่ม, การเยิ้ม, ความหนาแน่นและความซึมผ่านได้ของน้ำผ่านคอนกรีต ซึ่งการศึกษาเรื่องความซึมผ่านของน้ำจะทำการหล่อคอนกรีตในท่อ PVC และทำการบ่มที่ผิวบนเป็นระยะเวลา 7 วัน

1.5. วิธีการศึกษา

มีวิธีการศึกษาหลักๆ 2 วิธีได้แก่

1). วิธีการเก็บข้อมูล

- ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลจาเนื้อหาทางทฤษฎีจากหนังสือต่างประเทศ วิทยานิพนธ์ มาตรฐานการก่อสร้าง หนังสือวารสารต่างๆ โยธาสาร เอกสาร ตำราเรียน เป็นต้น
- ทำการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรฐานและวิธีการบ่ม การเจาะคอนกรีต การตัด การเก็บแท่งตัวอย่าง การอัดและวิธีอื่นๆโดยละเอียด
- ทำการทดลองและเก็บตัวอย่างตามมาตรฐาน และบันทึกผล

2). วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

เป็นการนำผลการทดสอบที่ได้ ในขั้นตอนที่ 1). มาวิเคราะห์ ประเมินผล และ สรุปผล เพื่อจะได้เสนอแนะแนวคิดที่ได้จากการศึกษา ซึ่งจะเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยในประเด็นรายละเอียดอื่นๆที่น่าสนใจและศึกษาตลอดจนเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในงานก่อสร้างจริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของกำลังอัดคอนกรีตที่ระดับความลึกต่างๆ อันเนื่องมาจาก

1. การบ่มที่ผิวของแผ่นพื้นคอนกรีต
2. ความหนาแน่น
3. ความซึมผ่านได้ของน้ำ
4. การเยิ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. หลักทั่วไปเกี่ยวกับคอนกรีต

คอนกรีต คือวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคา และคุณสมบัติต่างๆ คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วนคือ วัสดุประสาน อันได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ผสมกับวัสดุผสมอันได้แก่ ทราย หินหรือกรวด เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น โดยหลักทั่วไปของคอนกรีตจะกล่างต่อไปนี้

2.1.1. เกณฑ์กำหนดของคอนกรีต

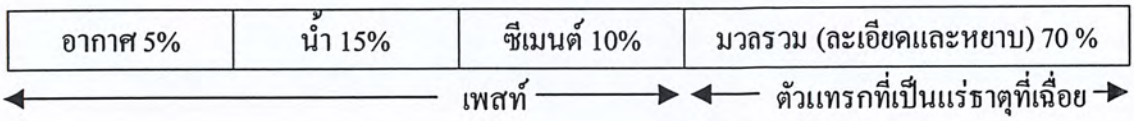
เกณฑ์กำหนดหลักของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วก็คือ จะต้องมีกำลังตามที่ต้องการ จะต้องสม่ำเสมอ น้ำไม่ซึม และทนทานต่อลมฟ้าอากาศ ความสึกหรอ และตัวทำลายอื่นๆ จะต้องไม่หดตัวมากเกินไปเมื่อถูกความเย็นหรือความแห้ง ในบางกรณีอาจจะต้องมีเกณฑ์กำหนดสำหรับคอนกรีตเป็นพิเศษเช่นกำหนดให้คอนกรีตทนทานต่อไฟและสารเคมีได้หรืออาจมีน้ำหนักเบาหรือต้องเรียบเป็นพิเศษ หรือต้องการให้มีผิวพรุนตามประสงค์ ไม่ว่าในกรณีใดๆก็ตามความรู้เบื้องต้นในเรื่องธรรมชาติของคอนกรีตจะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถปฏิบัติได้ถูกต้องตามเกณฑ์กำหนดทุกประการ และทำให้ผู้ตรวจงานสามารถรับผิดชอบได้เต็มที่

2.1.2. ธรรมชาติของคอนกรีต

คอนกรีตซึ่งผสมใหม่ๆและยังเหลวพอเทได้อยู่นั้น ส่วนที่เป็นของแข็งทั้งหมดรวมทั้งซีเมนต์จะลอยตัวอยู่ในน้ำชั่วคราว อนุภาคเล็กๆแต่ละเม็ดจะถูกคั่นด้วยน้ำเป็นชั้นบางๆ การแยกตัวของอนุภาคนี้และผลของการหล่อลื่นของชั้นน้ำรวมทั้งแรงยึดระหว่างอนุภาคที่ละเอียดที่สุด ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะเหลวพอเทได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อความสะดวกจะขอแยกคอนกรีตออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือเพสท์ และมวลรวมที่เป็นแร่ธาตุอนุภาคแต่ละชิ้นของมวลรวมจะฝังตัวและถูกหุ้มด้วยเพสท์ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดเท่ากับปริมาตรของเพสท์ บวกกับปริมาตรของมวลรวม และปริมาตรของอากาศที่อยู่ในช่องว่าง (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1. ปริมาตรของส่วนประกอบของส่วนผสมคอนกรีตชนิดธรรมดา (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

2.1.3. ปริมาณอากาศ

ในคอนกรีตจะมีอากาศอยู่ด้วยเสมอแม้จะทำให้คอนกรีตแน่นอย่างไรก็ตาม ปกติคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจะมีอากาศอยู่ไม่ถึง 2% โดยปริมาตร เมื่อกำหนดให้ความข้นเหลวของส่วนผสมและขนาดคละของมวลรวมมีจำนวนคงที่ ปริมาณอากาศจะเพิ่มสูงขึ้นหากซีเมนต์และส่วนละเอียดอื่นๆ ในส่วนผสมลดลง แต่ถ้าอัตราส่วนผสมและคุณสมบัติของมวลรวมคงที่ เมื่อปริมาณอากาศในคอนกรีตสูงขึ้น คอนกรีตจะกระด้างขึ้น อากาศในคอนกรีตมีลักษณะเป็นช่องว่างกระจายอยู่ทั่วไปช่องว่างเหล่านี้ประมาณเท่าขนาดของเม็ดทรายละเอียด และช่องว่างนี้แสดงลักษณะของส่วนผสมที่เหลวพอเทได้นั่นคือเป็น ช่องว่างอากาศตามธรรมชาติ

นอกจากช่องว่างอากาศตามธรรมชาติแล้ว อาจทำให้คอนกรีตมีช่องว่างเพิ่มขึ้นโดยการใช้สารกระจายกักฟองอากาศ ขณะผสมคอนกรีตสารเหล่านี้จะทำให้เกิดช่องว่างรูปทรงกลมเป็นจำนวนนับไม่ถ้วน ช่องว่างเหล่านี้จะอยู่ในซีเมนต์เพสท์และมีขนาดเทียบเท่ากับเม็ดซีเมนต์ขนาดใหญ่

ช่องว่างอากาศนี้ จะทำให้ส่วนผสมเหลวพอเทได้ดี เพราะว่าปริมาตรของอากาศจะทำให้ปริมาตรของเพสท์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะลดอัตราการแยกตัวของอนุภาคของมวลรวมด้วย ยิ่งกว่านั้นแรงดึงผิวรอบๆช่องว่างจะเพิ่มแรงเกาะยึดของเพสท์ให้สูงขึ้น จะเห็นผลได้ชัดเมื่อใช้สารกระจายกักฟองอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4. การทรุดตัว

เมื่อเทคอนกรีตใหม่ๆและยังไม่ถูกกระเทือนเลย ส่วนที่เป็นของแข็งจะค่อยๆทรุดตัวผ่านน้ำลงมาทำให้เหลือน้ำใสๆบนผิว กระบวนการที่เหลือน้ำไว้ให้เห็นนี้เรียกว่า " การเยิ้ม " เนื่องจากผลของการทรุดตัวทำให้พวกที่เป็นของแข็งซึ่งอยู่ส่วนล่างขององค์อาคารอัดกันแน่นขึ้นในระหว่างนี้ ส่วนที่อัดแน่นจะค่อยๆหนาขึ้นจนกระทั่งถึงผิวบน หรือจนกระทั่งหยุดการทรุดตัวเนื่องจากซีเมนต์เพสท์แข็งตัว ในกรณีหลังส่วนบนของคอนกรีตจะแน่นน้อยกว่าส่วนล่าง หมายความว่ายังคงมีปริมาณน้ำสูงอยู่ เนื่องการทรุดตัวนี้คอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้วจะมีปริมาตรน้อยกว่าเมื่อยังไม่แข็งเล็กน้อย (ในการประมาณปริมาตรที่ได้จากการผสมควรจะพิจารณาถึงความแตกต่างจุดนี้ด้วย) การทรุดตัวหรือการเยิ้มขึ้นอยู่กับความเสียดทานต่อแบบหล่อ อุณหภูมิและโดยเฉพาะก็คือองค์ประกอบและความข้นเหลวของส่วนผสม

ถ้ามวลรวมแต่ละก้อนถูกแยกด้วยเพสท์อย่างมีระเบียบดีตั้งแต่ตอนแรก เช่น ในส่วนผสมที่ใช้ซีเมนต์มาก การอัดแน่นโดยการทรุดตัวจะหยุดเมื่ออนุภาคของแข็งในเพสท์เข้ามาชิดกัน ธรรมดาการแยกตัวของมวลรวมแต่ละก้อน (ทั้งหยาบและละเอียด) ในตอนแรกเกิดขึ้นเมื่อก้อนนั้น ๆ แตะกันแบบปลายต่อปลายก่อนก่อนที่การอัดแน่นในเพสท์จะเสร็จสิ้นลง เมื่อเป็นเช่นนี้การทรุดตัวของคอนกรีตทั้งหมดก็จะหยุด แต่การทรุดตัวของอนุภาคในเพสท์จะยังคงดำเนินต่อไปภายในโพรงเล็ก ๆ หรือเซลล์ ซึ่งเกิดจากการที่อนุภาคมวลรวมเชื่อมโยงต่อกันตลอดทั้งเนื้อคอนกรีต การทรุดตัวที่ยังคงดำเนินอยู่นี้จะเป็นเหตุให้เกิดรอยร้าวเล็ก ๆ ระหว่างเพสท์และส่วนล่างของอนุภาคของมวลรวม รอยร้าวเล็ก ๆ นี้จะลดความแข็งแรงของคอนกรีตลงมากและยังทำให้น้ำซึมได้มากขึ้นด้วย แต่ตามปกติก็ไม่ร้ายแรงอะไร

ฉะนั้นหลังจากเทคอนกรีตแล้ว คอนกรีตสดจะค่อย ๆ เปลี่ยนสภาพเดิมเป็นสภาพที่ไม่ค่อยจะสม่ำเสมอจนกระทั่งเกิดการก่อตัวขึ้น โดยปกติปริมาณของการเปลี่ยนแปลงนี้น้อยมากจึงถือว่าไม่ค่อยสำคัญนักแต่ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงมากเป็นพิเศษ ผู้คำนวณหาส่วนผสมก็ควรจะหาวิธีแก้ไขเสีย

เรื่องการทรุดตัวเท่าที่กล่าวมาแล้วเกี่ยวกับคอนกรีตที่มีช่องว่างอากาศตามธรรมชาติเท่านั้น แต่ถ้าใช้การกระจายกักฟองอากาศ กระบวนการทรุดตัวจะเปลี่ยนไป โดยเฉพาะอัตราการทรุดตัวจะลดลงมาก การลดอัตราการทรุดตัวลงนี้ บางที่ก็ทำให้น้ำเยิ้มระเหยหมดไปในทันทีที่เยิ้มออกมา ฉะนั้นการใช้วิธีกระจายกักฟองอากาศจะเป็นการขจัดการเยิ้มไปในตัว อากาศที่กักกระจายนั้นไม่ค่อยมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบกระเทือนต่อปริมาณการทุดตัวทั้งหมดเท่าใดนัก แต่บางทีก็อาจทำให้การทรุดตัวช้าลงจนซีเมนต์เพสท์แข็งตัวเสียก่อน ซึ่งทำให้การทรุดตัวหยุดเสียกลางคันก่อนที่จะทรุดเสร็จ หมายความว่าอากาศที่กักกระจายนั้น จะลดทั้งปริมาณและอัตราการทรุดตัวของคอนกรีต

โดยปกติการขจัดการเยิ้มเป็นสิ่งที่ควรทำอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพราะว่าการเยิ้มทำให้การแต่งผิวทำได้ช้าลง เนื่องจากการแต่งผิวนี้ไม่ควรทำนขณะที่ผิวยังเปียกโชกอยู่ ถ้ารู้สึกว่าผิวจะแห้งเร็วเกินกว่าที่จะแต่งได้ทันก็อาจจะใช้ผ้าพลาสติกคลุมหรือใช้เครื่องพ่นละอองน้ำช่วยก็ได้ ปกติควรเตรียมแผนงานให้ดีเพื่อให้สามารถดำเนินการแต่งผิวได้เร็ว การเยิ้มมักทำให้เกิดการแยกข้างใต้ของก้อนมวลรวมซึ่งจะทำให้เสียกำลังและความสามารถต้านทานการซึมลงอย่างมาก นอกจากจะทำการเขย่าคอนกรีตซ้ำ แต่ทั้งนี้คอนกรีตจะต้องอยู่ในระยะที่ยังสามารถเขย่าให้เหลวและมีความสามรถเทได้ดีแม้ว่าในทางทฤษฎีการเยิ้จะสามารถลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลงได้ ซึ่งหมายความว่าควรจะทำให้คุณภาพของคอนกรีตดีขึ้น แต่จากที่ได้พิจารณามาโดยละเอียดแล้วเห็นว่าการเยิ้มไม่ได้ก่อให้เกิดประโยชน์แต่อย่างใด การใช้วิธีการกระจายกักฟองอากาศมักจะลดการเยิ้มลงได้ประมาณครึ่งหนึ่ง และการใช้พอสโซลานก็สามารถลดการเยิ้มได้มากเช่นเดียวกัน

ในบางกรณีโดยเฉพาะเมื่อเกิดสภาพแห้งแล้งอย่างรุนแรง การเยิ้มอาจคงดำเนินอยู่ข้างใต้ของผิวคอนกรีตที่แบนราบซึ่งผิวบนได้แห้งพอที่จะแต่งด้วยเกรียงได้แล้ว ผิวดังกล่าวนี้อาจแตกร่อนในภานหลังเนื่องจากการเยิ้มของคอนกรีตข้างใต้ซึ่งยังคงอยู่ในสภาพเหลวพอควร ทำให้เกิดเป็นน้ำชั้นบาง ๆ คั่นกลางอยู่ ในกรณีเช่นนี้การกระจายกักฟองอากาศอาจช่วยได้โดยลดน้ำเยิ้มลง ซึ่งมิฉะนั้นแล้วจะทำให้ใต้ผิวคอนกรีตแห้งช้ากว่าผิวบน การใช้สารผสมหน่วงก็ก็มักจะให้ผลในทำนองเดียวกันเนื่องสารผสมเหล่านี้ช่วยทำให้การก่อตัวของคอนกรีตช้าลง ทั้งนี้คงเนื่องมาจากผลของอากาศที่ได้จากสารผสมหน่วงซึ่งมีลิกนินผสมอยู่ การใช้สารผสมหน่วงที่มีอยู่ในปัจจุบันหรือไม่ใช้ก็ตามจะทำให้คอนกรีตสูญเสียความเหลว (หรือการยุบตัว) ได้พอ ๆ กัน แม้ว่าคอนกรีตที่ใช้สารผสมหน่วงจะทำให้การก่อตัวแรกเริ่มและการก่อตัวเสร็จช้าลง ซึ่งทำให้สามารถเขย่าคอนกรีตซ้ำในเวลาช้ากว่าปกติได้หลังจากเทเสร็จเรียบร้อยแล้ว

2.1.5. องค์ประกอบของเพสท์

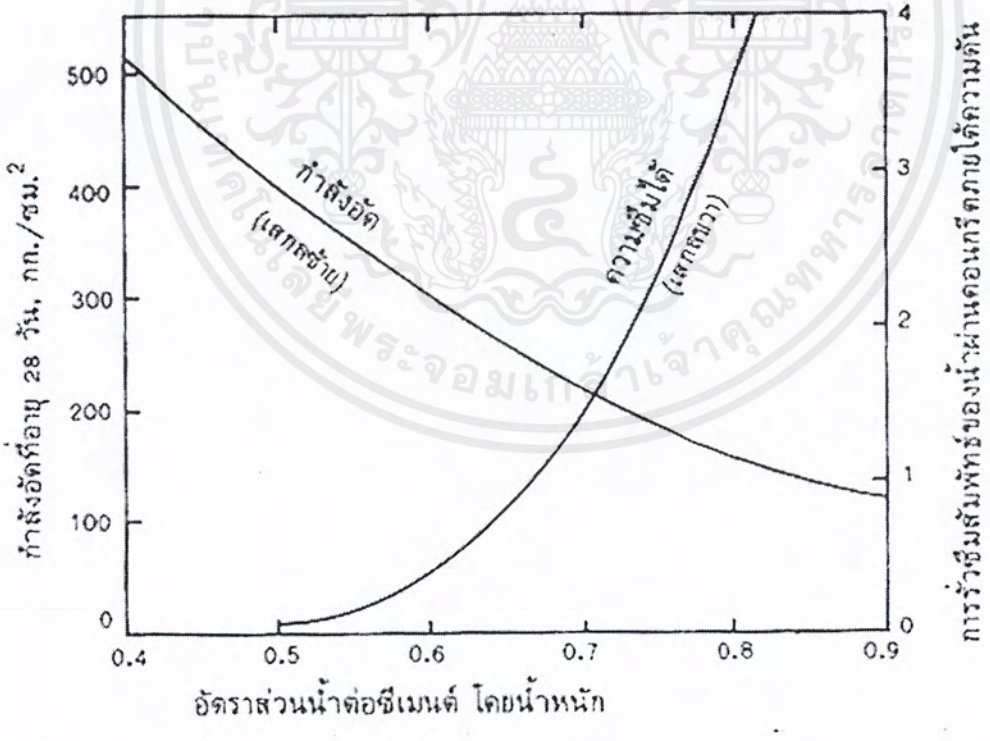
เนื่องจากเพสท์เป็นตัวหุ้มและกันอนุภาคของมวลรวมแต่ละเม็ดให้ออกห่างจากกัน กำลังของคอนกรีตจึงขึ้นอยู่กับกำลังของเพสท์นั่นเอง เพสท์จะป้องกันไม่ให้มวลรวมขัดกัน และดังนั้นจึงไม่ได้ช่วยให้คอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีกำลังสูงขึ้นแต่อย่างใด หน่วยแรงต่าง ๆ ก็ดีน้ำที่ไหลซึมก็ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือสิ่งประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับลมฟ้าอากาศก็ดีจะต้องกระทำผ่านเพสท์นี้ สารประกอบบางอย่างในเพสท์ที่แข็งตัวแล้วนี้อาจจะละลายน้ำได้ และอัตราการละลายส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับความหนแน่นของเพสท์ ถ้าเพสท์ยิ่งแน่นอัตราการละลายก็ยิ่งช้าลง ฉะนั้นเพสท์จะต้องแข็งแรงและแน่น โดยแพาะในงานคอนกรีตที่ต้องแช่น้ำอยู่ตลอดเวลา

กำลังและความแน่นของเพสท์ส่วนใหญ่ ขึ้นอยู่กับปริมาณแรกเริ่มของน้ำซึ่งบรรจุอยู่ในช่องว่างรอบเม็ดซีเมนต์ (ดูรูปที่ 2.2) และขึ้นอยู่กับขนาดของปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ปริมาณซึ่งบรรจุอยู่ในช่องว่างนี้ปกติระบุในรูปของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และต้องกำหนดให้มีการบ่มเพื่อเป็นหลักประกันว่าอย่างน้อยที่สุดจะต้องได้ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำตามที่ต้องการ

อัตราส่วนซีเมนต์ต่อน้ำนี้ เดิมมักระบุเป็นปริมาตรของน้ำเป็นลิตรต่อซีเมนต์หนึ่งถุง แต่ปัจจุบันใช้วิธีที่ดีกว่าคือระบุเป็นน้ำหนัก คือกิโลกรัมของน้ำต่อซีเมนต์หนึ่งกิโลกรัม



รูปที่ 2.2. คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำจะมีกำลังมากกว่าและจะกันน้ำซึมได้ดีกว่า (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปนี้ใช้สำหรับแสดงประกอบเพื่อให้เห็นรูปร่างของเส้นโค้งเท่านั้น ค่าต่าง ๆ จะผิดไปตามชนิดของวัสดุและสภาพของการทดสอบ

2.1.6. กระบวนการแข็งตัว

ตามที่รู้กันอยู่แล้วว่า ผลที่ได้จากปฏิกิริยาอันสำคัญก็คือ วัสดุที่ไม่มีรูปร่างแน่นอนอย่างหนึ่ง มีลักษณะคล้ายวุ้นที่เกิดจากน้ำและส่วนของเม็ดซีเมนต์ที่ละลาย ถ้ารักษาให้เพสท์ชื้นอยู่เสมอแล้ว กระบวนการนี้ซึ่งหมายถึงส่วนผสมของซีเมนต์และส่วนของวุ้นที่ตกตะกอนจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งไม่มีซีเมนต์เหลืออีก หรือจนกระทั่งช่องว่างทั้งหมดในเพสท์เต็มไปด้วยสารที่เกิดจากปฏิกริยานั้นทั้งหมดแล้ว ในส่วนผสมคอนกรีตธรรมดา ซีเมนต์จะเป็นตัวจำกัดขอบเขตของกระบวนการ

ถ้าไม่รักษาให้เพสท์นั้นชื้นอยู่ตลอดเวลา ปฏิกริยาของซีเมนต์น้ำจะหยุดเมื่อน้ำได้ระเหยออกจากเพสท์หมดแล้ว ฉะนั้นการบ่มให้เพียงพอนับว่าเป็นสิ่งสำคัญมาก

ยังไม่มีการกำหนดปริมาณของน้ำต่อหน่วยของซีเมนต์สำหรับการแข็งตัวที่พอเหมาะของซีเมนต์เพสท์ เพียงแต่ให้เพสท์นั้นอยู่ในสภาพอิ่มตัวอยู่เสมอก็พอแล้ว

เวลาที่ต้องการสำหรับการทำปฏิกริยาของซีเมนต์กับน้ำอย่างสมบูรณ์นั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสม ชนิดของซีเมนต์และอุณหภูมิโดยรอบบริเวณและสำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำกว่า 0.55 โดยน้ำหนักจะเกิดขึ้นกับการให้น้ำจากภายนอกด้วย ถ้าบ่มคอนกรีตที่ใช้กันตามธรรมดาเป็นเวลาหนึ่งเดือนโดยให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานของห้องทดลอง จะพบว่าซีเมนต์จะทำปฏิกริยากับน้ำกว่าร้อยละ 80 อย่างไรก็ดีตามสภาพในสนามคอนกรีตจะแห้งภายในไม่กี่วัน หลังจากนั้นซีเมนต์ยังคงทำปฏิกริยากับน้ำต่อไปได้โดยอาศัยน้ำที่ซึมผ่านมาจากใต้ดิน หรือจากความชื้นขณะฝนตก หรือในขณะที่ความชื้นในอาคารสูง ดังนั้น ภายใต้ภาวะแวดล้อมธรรมดา การทำปฏิกริยาของน้ำกับซีเมนต์จะยังคงมีต่อไปอีกหลายปีทีเดียว

อัตราการเพิ่มกำลังแตกต่างกับอัตราการทำปฏกริยา ที่อุณหภูมปกติปฏิกิริยาขั้นแรกจะทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงขึ้นเล็กน้อย แต่ภายใต้สภาวะมาตรฐานในห้องทดลองพบว่าซีเมนต์ชนิดที่ 1 และที่ 2 ประมาณหนึ่งของกำลังอัดสูงสุดจะเกิดขึ้นภายในสัปดาห์แรก และประมาณสามในสี่ภายในเดือนแรก เนื่องจากกำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์ ดังนั้นถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตแห้งลงปฏิกิริยาของซีเมนต์ตลอดจนการเพิ่มกำลังจะหยุดทันที ในฤดูหนาวความแห้งอาจกลับมีประโยชน์ เพราะว่าคอนกรีตที่อิ่มตัวมักจะได้รับการเสียหายจากการเยือกแข็ง

ถ้าอุณหภูมิภายนอกสูงขึ้นอัตราการทำปฏิกิริยาก็จะสูงขึ้นด้วย นอกจากนั้นยังมีผลต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของผลที่ได้จากปฏิกิริยานี้ด้วย อุณหภูมิภายนอกยิ่งสูงผลก็จะมากขึ้นตาม แต่ที่อุณหภูมิธรรมดาผลที่ได้จากปฏิกิริยาของซีเมนต์จะเป็นในรูปของสารคล้ายวุ้นเป็นส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะกลายเป็นผลึกขนาดเล็กจำนวนมาก อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นเท่าไร ปริมาณวุ้นต่อหน่วยซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยาแล้วจะน้อยลงเท่านั้น

การเปลี่ยนแปลงของวุ้นที่เกิดจากอุณหภูมิสูง จะทำให้แรงอัดสูงสุดของคอนกรีตต่ำลง นอกจากนั้นยังลดการหดตัวอันเนื่องมาจากการแห้งของคอนกรีตอีกด้วย

2.1.7. การหดตัวและการพองตัว

ถ้ารักษาคอนกรีตให้มีความชื้นอย่างสม่ำเสมอ คอนกรีตจะขยายตัวช้า ๆ เป็นเวลาหลายปี แต่ทั้งปริมาณและอัตราการขยายตัวนี้ปกติแล้วน้อยมาก จนถือได้ว่าปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง ตามธรรมดาเราไม่ได้รักษาคอนกรีตให้ชื้นอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นก็ต้องมีการเสียน้ำในตัวไปบ้าง และเพราะฉะนั้นคอนกรีตจึงมักจะหดตัวมากกว่าขยายตัว

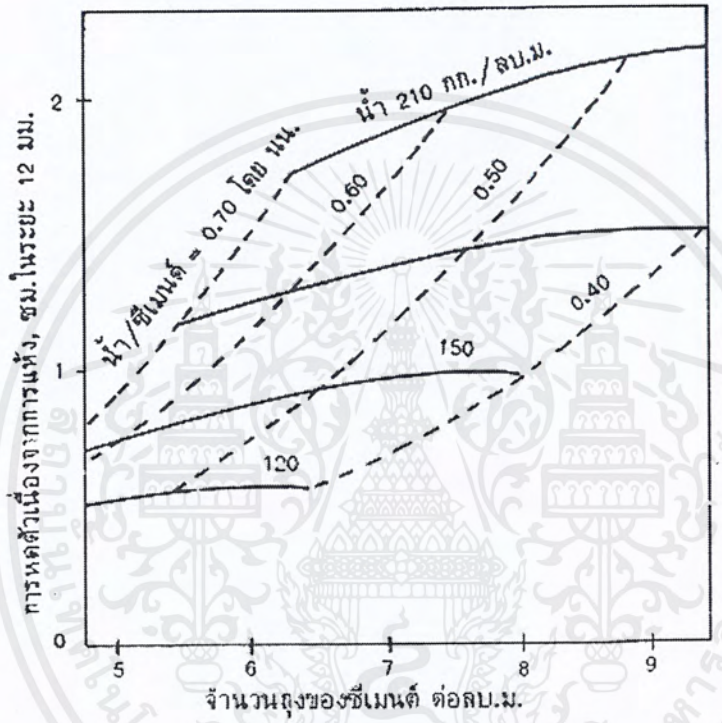
หลังจากคอนกรีตได้แห้งลงจนกระทั่งความชื้นคงที่ ภายใต้สภาพบรรยากาศอย่างหนึ่งแล้วถ้าความชื้นในอากาศลดลงคอนกรีตก็จะเสียน้ำไปบ้างหรือถ้าความชื้นสูงขึ้น คอนกรีตก็จะได้น้ำเพิ่มขึ้น เพสท์ที่แข็งตัวแล้วนั้นสามารถที่จะดูดน้ำได้ดี ฉะนั้นเพสท์และคอนกรีตจะเป็นส่วนที่หดตัวหรือพองตัวเมื่อปริมาณน้ำเปลี่ยนแปลง

ในการเปลี่ยนแปลงจากสถานะอิ่มตัวไปเป็นสถานะแห้ง (ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซนต์) คอนกรีตทั่ว ๆ ไปจะหดตัวลงประมาณ 0.6 มม.ต่อ 1 เมตร หรือประมาณร้อยละ 0.06 ซึ่งเทียบเท่ากับการหดตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง 37.8 องศาเซลเซียส

ปริมาณการหดตัวของคอนกรีต ภายใต้ภาวะการทำให้แห้งที่กำหนดให้อย่างหนึ่งขึ้นอยู่กับหลายสิ่งด้วยกัน เพสท์ที่แข็งตัวยิ่งพรุนมากเท่าไร ก็ยิ่งจะหดตัวมากเท่านั้น ถ้าใช้เพสท์ชนิดเดียวกัน คอนกรีตยิ่งมีปริมาณเพสท์มากก็จะหดตัวมาก การเติมส่วนผสมที่ละเอียดเป็นผงลงในคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติจะทำให้เกิดการหดตัวมากขึ้น คอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ กันย่อมจะหดตัวต่างกันด้วย เช่นเดียวกันกับกรณีที่ใช้มวลรวมชนิดต่าง ๆ กัน สำหรับผลเกี่ยวกับการบ่มยังไม่เป็นที่ทราบกันแน่ชัดแต่โดยทั่ว ๆ ไปการบ่มให้เลยกำหนดไปสองสามวัน จะทำให้เกิดผลดีเพียงเล็กน้อย หรืออาจไม่มีผลเลยก็ได้ ในรูปที่ 2.3 ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมดของคอนกรีตซึ่งแข็งตัวแล้วสำหรับส่วนผสมต่าง ๆ กันแต่ใช้วัสดุชนิดเดียวกันจะเห็นว่าผลอันเกิดจากปริมาณน้ำมีมากพอควร

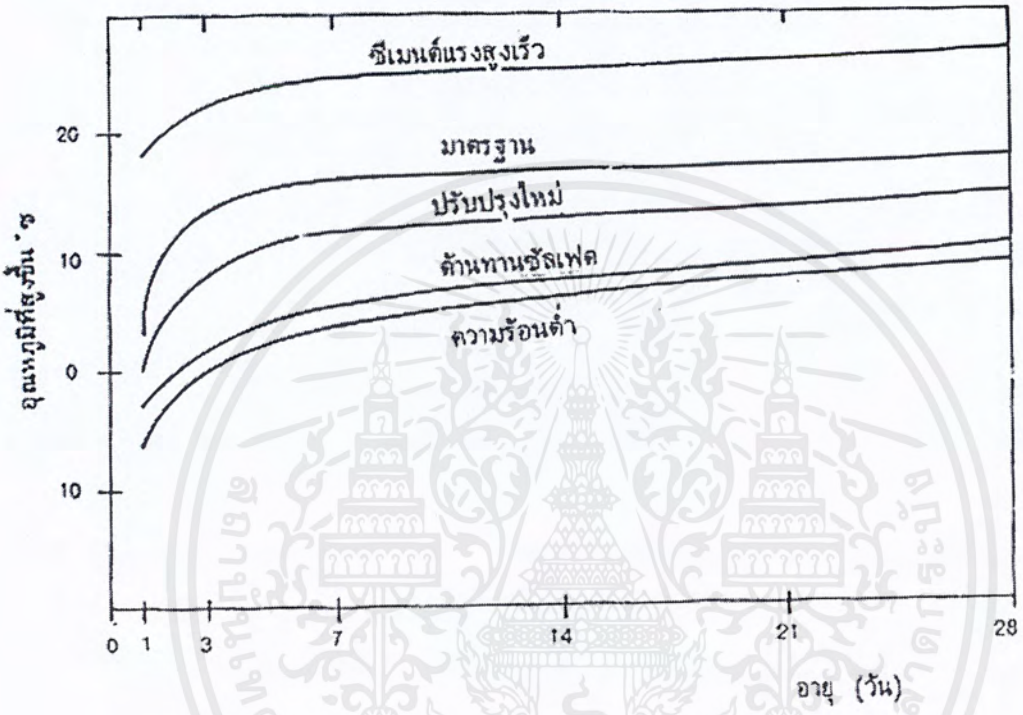


รูปที่ 2.3. ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และปริมาณน้ำในคอนกรีต ใช้สำหรับแสดงให้เห็นลักษณะของเส้นโค้งเท่านั้น ค่าจริง ๆ แตกต่างไปตามชนิดของวัสดุและภาวะการทำให้แห้ง (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

ถ้าองค์อาคารคอนกรีตถูกยึดไว้ไม่ให้หดตัว จะโดยพื้นดินก็ดี เหล็กเสริมก็ดี หรือการยึดตัวโครงสร้างกับองค์อาคารอื่น ๆ ก็ดี องค์อาคารนั้น ๆ มักจะเกิดรอยร้าวอันเป็นผลจากการหดตัวหรือผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นร่วมกัน ยิ่งกว่านั้นเมื่อผิวขององค์อาคารแห้งเร็วกว่าภายใน ก็จะเกิดหน่วยแรงชั่วคราวขึ้นซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกร้าวทั่วไป ตั้งแต่ภายนอกไปจนถึงภายในการแห้งที่ไม่เท่ากันแบบนี้จะทำให้แผ่นพื้นต่าง ๆ เช่นพื้นถนนบิดงอได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าการหดตัวเนื่องจากการแห้งจะเป็นเหตุเบื้องต้นที่ทำให้เกิดการแตกร้าวก็ตาม สิ่งสำคัญอื่น ๆ เช่นกำลังดึง ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง-ความเครียด-เวลา ลักษณะการกระจายความชื้นก็ควรจะได้รับการพิจารณาควบคู่ไปกับการหดตัวด้วย เพื่อไว้พิจารณาข้อแตกต่างของการแตกร้าวในโครงสร้างคอนกรีตชนิดต่าง ๆ กัน



รูปที่ 2.4. การเพิ่มอุณหภูมิของคอนกรีตสำหรับซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ เมื่อไม่มีการเสียความร้อน (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

2.1.8. ความร้อนอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ

ปฏิกิริยาระหว่างองค์ประกอบของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับน้ำจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นด้วย ส่วนหนึ่งของความร้อนนี้หนีผ่านเนื้อคอนกรีตออกมา แต่บางส่วนก็คงอยู่ภายในและทำให้คอนกรีตมีอุณหภูมิสูงขึ้น อุณหภูมิที่ขึ้นสูงเกินไปเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนา เพราะอาจจะทำให้คอนกรีตเสียความแข็งแรงไปได้และจะทำให้เกิดหน่วยแรงต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกิดการแตกร้าวได้ สำหรับโครงสร้างคอนกรีตส่วนมากอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นนั้นน้อยมาก และไม่ค่อยสำคัญนัก แต่อย่างไรก็ดีอุณหภูมิภายในของพื้นบาง ๆ อาจขึ้นสูงหลายองศาภายในไม่กี่ชั่วโมงหลังจากเทคอนกรีต สำหรับคอนกรีตหลา ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนหนีได้ช้ามาก อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับชนิดของซีเมนต์ และเป็นปฏิภาคกับปริมาณของซีเมนต์ในคอนกรีตด้วย

การควบคุมอุณหภูมิในคอนกรีตหลามีหลายวิธี เช่น ใช้ส่วนผสมที่อ่อนซีเมนต์ ใช้ซีเมนต์ชนิดให้ความร้อนต่ำ ใช้วัสดุที่ถูกทำให้เย็นเสียก่อน ใช้น้ำแข็งแทนน้ำบางส่วน กำหนดการเทคอนกรีตโดยให้ชั้นที่เทแล้วเย็นตัวเสียก่อนที่จะเทชั้นต่อไป และการขจัดความร้อนด้วยการฝังท่อน้ำให้น้ำเย็นไหลผ่านตลอดเวลา เป็นต้น.

2.2. การบ่มคอนกรีต

คอนกรีต ต้องถูกบำรุงรักษาอย่างดี เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีที่สุดเท่าที่ทำได้ ต้องมีการเตรียมความชื้นไว้อย่างเพียงพอสำหรับการ hydration เพื่อลดรูพรุนภายในเนื้อ จนได้ระดับความแข็งแรงและทนทานที่ต้องการ โครงสร้างคอนกรีตโดยทั่วไปแทบจะไม่พังเนื่องด้วยการไม่ได้กำลังตามที่ต้องการ แต่กำลังที่ไม่เพียงพอจะเป็นปัญหาเมื่อเราได้ถอดไม้แบบออกไปใช้งานจริง การหยุดการบ่มคอนกรีตก่อนกำหนด และเคลื่อนย้ายไม้แบบออกไปก่อนกำหนดในฤดูหนาว สิ่งก่อสร้างจะมีค่าก่อสร้างเพิ่มมากขึ้นเนื่องจาก การแตกร้าวของคอนกรีตกำลังต่ำ คอนกรีตต้องการเวลาเพื่อให้ได้กำลัง แม้ว่าจะใช้การบ่มรักษาอย่างดี ต้องรอเวลาจนกว่าจะเช็คให้แน่ใจก่อนนำแบบออก ในการสูญเสียความคงทนของคอนกรีตนั้น ในระยะยาวจะเป็นปัญหาขยายตัวออกไปภายในตัวคอนกรีต และอายุการใช้งานของอาคารก่อจะสั้นลง ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงเพียงแค่การบ่มคอนกรีตภายใต้อุณหภูมิทั่วไปเท่านั้น

2.2.1. การบ่มคอนกรีตภายใต้อุณหภูมิทั่วไป

เนื่องจากการบ่มคอนกรีตมีอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมหลายอย่างได้แก่

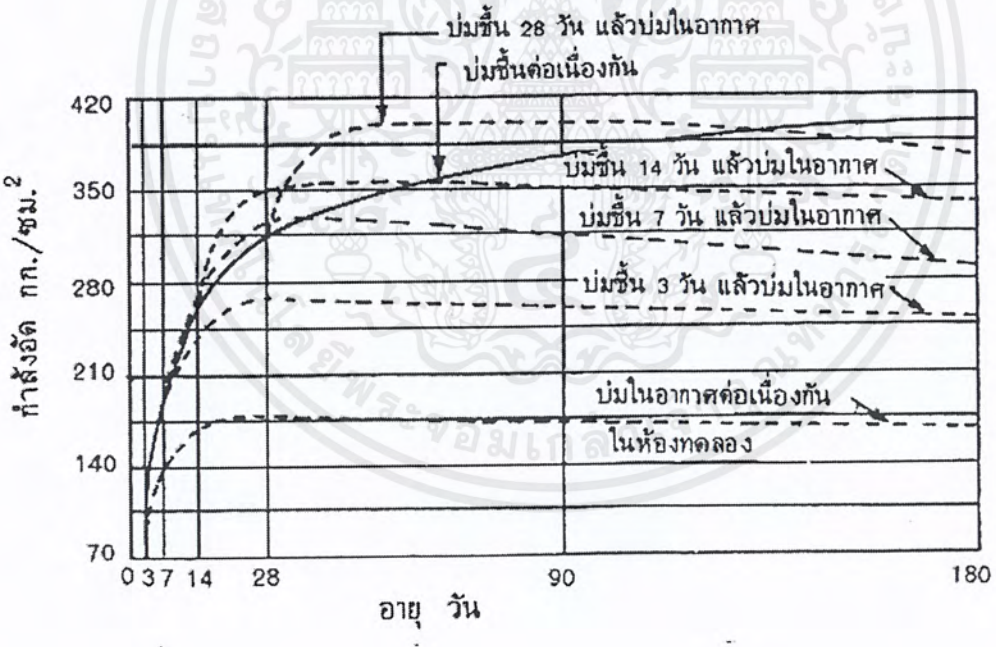
1). น้ำ

เนื่องจากน้ำจำเป็นต้องใช้สำหรับการทำปฏิกิริยา hydration กับซีเมนต์ แม้ว่า ซีเมนต์ paste จะเซ็ทตัวแล้ว แต่การ hydration ยังไม่สมบูรณ์ เพราะ grain ขนาดใหญ่ยังคงถูกปกคลุมด้วยชั้นของ C-S-H หนา ยับยั้งปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้น จึงต้องมีการบ่มคอนกรีต เพื่อให้เพิ่มการเกิดปฏิกิริยา hydration ในปริมาตรที่มากขึ้น ซึ่งจะคุ้มกับเงินที่เสียไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องด้วยซีเมนต์ซึ่งมี อัตราส่วน W/C ต่ำ การแห้งตัวของซีเมนต์ paste จะเกิดตลอดการ hydration และจะไปยับยั้งการเกิด hydration ต่อไป ถ้าไม่เพิ่มปริมาณน้ำภายนอกเข้าไป

ตามทฤษฎีกล่าวได้ว่า ในซีเมนต์ที่มีอัตราส่วน W/C มากกว่าหรือเท่ากับ 0.42 คอนกรีตจะมีการเกิด hydration โดยสมบูรณ์ โดยไม่ต้องเติมน้ำ แต่ในการทำงานจริงน้ำจะสูญเสียไปในการกลายเป็นไอหรือการดูดซับของส่วนผสมคอนกรีต ไม้แบบ หรือที่รองรับ ฉะนั้นก่อนการใช้งานควรจะทำไม้แบบและที่รองรับให้เปียกเสียก่อน เพื่อลดการดูดซับน้ำ แต่การดูดซับภายในเนื่องจากส่วนผสมยังเกิดขึ้นซึ่งทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในตกลงต่ำกว่า 80% เนื่องจากการกลายเป็นไอและการแห้งตัว การเกิด hydration จะหยุดลงและการเพิ่มของกำลังก็จะลดลงด้วย กำลังคอนกรีตจะต่ำกว่าที่มันจะเป็นไปได้ และการลดของกำลังนี้จะเกิดมากขึ้นในกรณีของคอนกรีตกำลังสูง (ค่าอัตราส่วน W/C ต่ำ) มากกว่าในคอนกรีตที่กำลังต่ำ (ค่าอัตราส่วน W/C สูง) ดังนั้นจึงมีความต้องการที่ต้องเตรียมความชื้นเพิ่มเข้าไปตลอดการบ่ม เพื่อให้การเกิดการ hydration สูงสุด



รูป 2.5. แสดงผลของการจำกัดความชื้นในการบ่มคอนกรีตและการพัฒนาของกำลังอัดของคอนกรีต (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.5. แสดงผลของการจำกัดความชื้นในการบ่มคอนกรีตและการพัฒนาของกำลังอัดของคอนกรีต เนื่องด้วยการขาดการบ่มด้วยคอนกรีต ความชื้น อัตราส่วนของกำลังจะขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากน้ำซึ่งสูญเสียไปจากคอนกรีต และกำลังจะเพิ่มขึ้นน้อยมากจนหยุดลง

ในการบ่มคอนกรีต 3 วัน จะทำให้คอนกรีตมีกำลังเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 75 ถึง 80% ของคอนกรีต 28 วัน ซึ่งได้รับการบ่มอย่างต่อเนื่อง ยิ่งไปกว่านั้นกำลังอีก 25-30%นั้นจะไม่ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเลย 28 วันแล้ว

คอนกรีตภายนอก จะสัมผัสความชื้น และการแห้งตัวซ้ำแล้วซ้ำเล่าตลอดอายุการใช้งาน ดังนั้นโอกาสที่มันจะมีการเกิด hydration ยังคงมีอยู่ แม้ว่าในความจริงการอิ่มตัวอีกครั้งของคอนกรีตจะเป็นการ hydration อีก แต่เป็นแบบ interrupted hydration ซึ่งกำลังที่เพิ่มขึ้นจะไม่มากมายเท่ากำลังที่เกิดจากการ hydration ที่ไม่มีการรบกวนโดยการบ่มคอนกรีต และเป็นการยากที่จะทำให้คอนกรีตอิ่มน้ำอีกครั้ง นอกจากการปล่อยน้ำขังไว้ ซึ่งปริมาณการเกิด hydration จะแปรผันมากและไม่สามารถคาดเดาได้ และอาจเป็นเพียงปริมาณเล็กน้อย ในคอนกรีตใหม่การเกิดการขัดจังหวะของการบ่มคอนกรีตเป็นสิ่งที่ไม่ควรเกิดขึ้น เพราะการบ่มคอนกรีตเป็นพักๆ จะทำให้คอนกรีตมีกำลังไม่พอในการยืดหยุ่นต่อแรงดึงเป็นเหตุให้เกิดรอยร้าว

2). ผลจากความชื้นสัมพัทธ์

คอนกรีตจะเกิด hydration แม้ว่าจะไม่อยู่ในสภาพความชื้นอิ่มตัวก็ตาม เพราะว่าน้ำจะถูกเก็บไว้ในช่องว่างของผิวโดยแรงตึงผิวในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 100% ซีเมนต์ยังคงสามารถละลาย ทำปฏิกิริยาจะช้า และความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดในซีเมนต์เพสท์ก็จะต่ำ มีบางส่วนของช่องว่างจะว่างเปล่าไม่มีน้ำ จะไปขัดขวางการไหลของน้ำในการเกิดปฏิกิริยา น้ำจะถูกใช้ในการ hydration กับซีเมนต์ ในพื้นที่ๆมีช่องว่างที่มีน้ำอยู่ และในปริมาณช่องว่างที่ว่างเปล่าจะเกิดการ hydration อย่างรวดเร็วจนเกิดการขาดแคลนน้ำ

การเพิ่มน้ำ น้ำจะเคลื่อนเข้าไปในพื้นที่ดังกล่าวอย่างรวดเร็ว ในระบบที่มีการอิ่มตัวอย่างสมบูรณ์ แต่จะช้ามากในกรณีที่มีการอิ่มตัวเพียงบางส่วน และในกรณีหลังนี้เองจะเป็นกรณีที่แสดงได้ว่าคอนกรีตซึ่งถูกหุ้มด้วยวัสดุป้องกันการสูญเสียความชื้น การเกิด hydration และการเพิ่มขึ้นของกำลัง จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ กว่าการเพิ่มความชื้นอย่างต่อเนื่องให้คอนกรีตกรณีที่ใช้การป้องกันความชื้นออก ความชื้นก็ไม่สามารถเข้าไปได้ด้วย และการใช้น้ำในการ hydrationก็จะน้อยตามความชื้นสัมพัทธ์

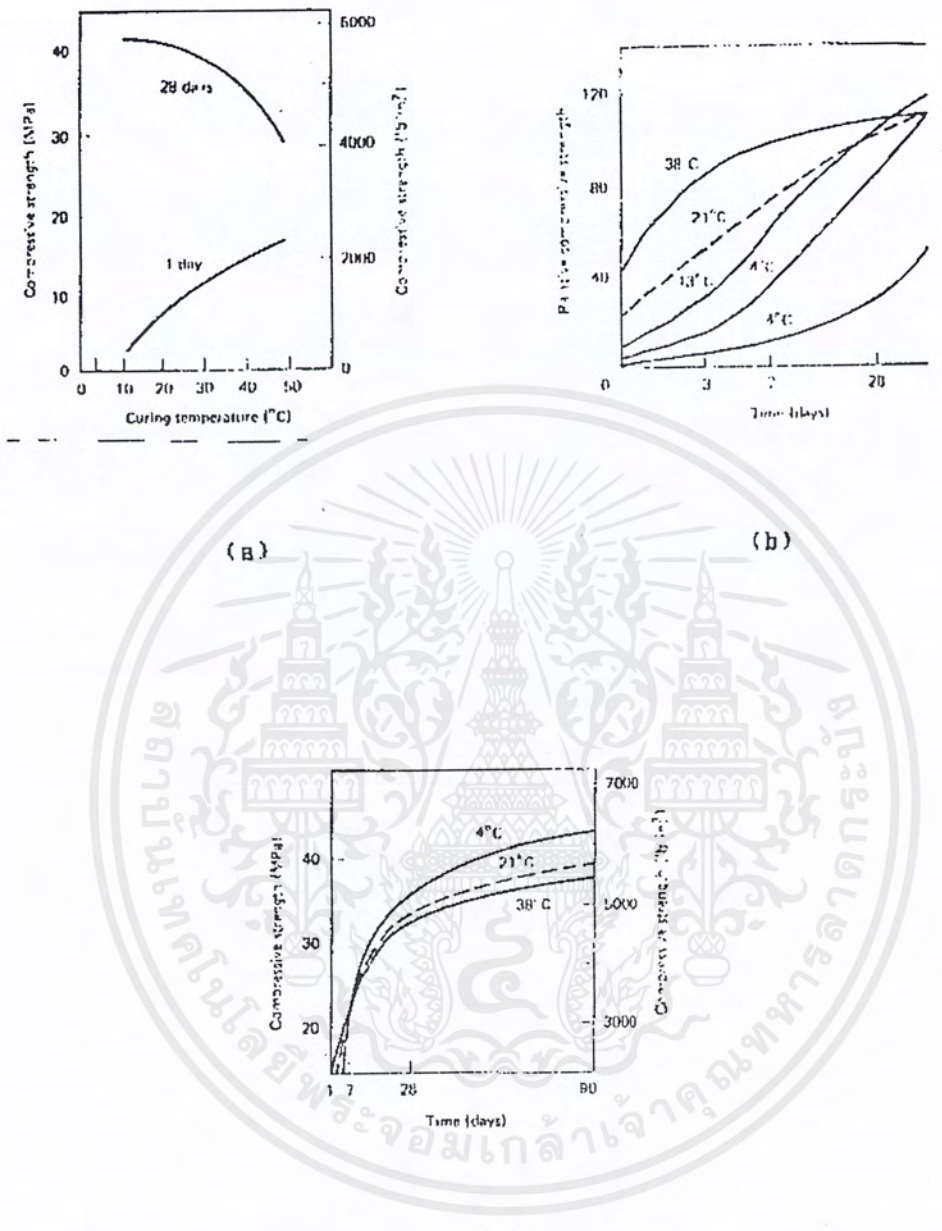
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในทำให้เกิดการ hydration ช้าตามไปด้วยถ้า R.h. ต่ำกว่า 80% การ hydration จะหยุดไปเกือบหมด ซึ่งจะสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีป้องกันความชื้นออกของคอนกรีตที่มีค่า W/C ratio ต่ำ หรือคอนกรีตที่เปิดเผยต่อสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

ระดับความชื้นสัมพัทธ์มีความสำคัญมากต่อการพัฒนาของกำลังคอนกรีตโดยเฉพาะในคอนกรีตที่พึ่งราดใหม่ อัตราการแห้งตัวของคอนกรีตจะมีอิทธิพลต่อกำลังภายหลังที่หยุดการบ่มคอนกรีตแล้ว และจะมีความสำคัญมากเมื่อมีการบ่มคอนกรีตระยะเวลาสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.6. แสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่อกำลังอัด (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

3). ผลจากอุณหภูมิ

รูปที่ 2.6. จะแสดงถึงการบ่มที่ 21 C ° แต่อุณหภูมิก็มีผลต่ออัตราการเกิดกำลังอัดของคอนกรีต ดังรูปที่ 2.6.a แสดงถึงผลกระทบของอุณหภูมิในการบ่มคอนกรีตต่อกำลังอัดภายหลัง 1- 28 วัน โดยกำลังอัดช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อมีอุณหภูมิขึ้นเนื่องจากซีเมนต์สามารถทำปฏิกิริยา hydration ได้ง่ายขึ้น แต่การที่มีการลดกำลังในเวลาต่อมาเป็นเรื่องที่ไม่สามารถอธิบายได้โดยง่าย แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42414

เป็นที่พิสูจน์ได้ว่าไม่เกี่ยวเนื่องกับโครงสร้างทางเคมีและทางฟิสิกส์ของปฏิกิริยา hydration และจะมีผลกระทบเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลเสียที่เกิดปรากฏขึ้นมาจากรูปร่างการกระจายตัวที่ไม่เป็นระเบียบของการ hydration และจะมีผลกระทบเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลเสียที่เกิดขึ้นปรากฏขึ้นมาจากรูปร่างการกระจายตัวที่ไม่เป็นระเบียบของการ hydration ในคอนกรีต

รูปที่ 2.6.b แสดงถึงผลของอุณหภูมิในการบ่มต่างๆ การอัดที่เกิดเมื่อเทไปแล้ว 90 วัน และแสดงความสัมพันธ์ ถึงช่วงเวลาการบ่มที่ต้องการไปถึงกำลังอัดที่กำหนดที่อุณหภูมิต่างๆกัน

รูปที่2.6.c แสดงถึงผลของอุณหภูมิที่เทคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆกัน และรักษาอุณหภูมิๆไว้ที่ 21 C° ตลอดการบ่มจะเกิดผลเสียคล้ายที่เกิดในรูปที่ 3.2 a ทำให้เราสังเกตได้ว่า การบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิต่ำจะเป็นผลให้กำลังอัดประลัยสูงกว่าที่อุณหภูมิสูง แม้ว่าอัตราการพัฒนากำลังภายในคอนกรีตจะต่ำก็ตาม และเมื่ออุณหภูมิในสูง กำลังอัดภายหลังก็จะต่ำ สำหรับการอัดที่ 28 วัน อุณหภูมิประมาณ 4 C° จะเป็นอุณหภูมิที่ดีที่สุด สำหรับซีเมนต์ Type 1 ดังรูป 2.6.C โดยทั่วไปแล้วกำลังดึงของคอนกรีตมีผลคล้ายคลึงกับกำลังอัด

4). เวลาของการบ่มความชื้น

โดยวัตถุประสงค์แล้วการบ่มความชื้นอย่างต่อเนื่องนานเท่าที่จะทำได้ เป็นวิธีการที่ดีที่สุดจนกระทั่งถึงกำลังที่กำหนด แต่ในความเป็นจริงโดยทั่วไปไม่สามารถทำได้ เนื่องจากแผนงานก่อสร้างที่เร่งด่วนและการประหยัดค่าก่อสร้าง ดังนั้นจึงควรมีการบ่มความชื้นในระยะเวลาที่ยอมรับได้ ดังรูปที่ 3.1 การบ่มความชื้นประมาณ 7 วัน จะทำให้กำลังขึ้นไปถึง 70 % ของการบ่มที่ 28 วัน ตามมาตรฐานของ ACI แนะนำให้ใช้ระยะเวลาประมาณ 7 วันในการบ่มความชื้น สำหรับโครงสร้างคอนกรีตโดยทั่วไป หรือบ่มจนกระทั่งได้กำลัง 70% ของกำลังอัดที่ต้องการ สำหรับคอนกรีตที่เป็นคอนกรีตมวลขนาดใหญ่ไม่เสริมเหล็กเวลาในการบ่มอย่างน้อย ควรเป็น 2 สัปดาห์ หรือ 3 สัปดาห์ (สำหรับปูนซีเมนต์ Pozzolan ชนิด low-heat) สำหรับมาตรฐาน ACI ดังกล่าวสำหรับคอนกรีตซึ่งเทและบ่มที่อุณหภูมิมากกว่า 4 C° แต่ที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ อัตราการเกิดปฏิกิริยา hydration จะต่ำกว่านี้มากหลังจากการบ่ม 7 วันแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันตรายจากการแข็งตัวเนื่องจากความเย็น ขณะที่อุณหภูมิต่ำควรระวังเป็นพิเศษ และไม่ควรปล่อยให้แข็งตัวจนกระทั่งมีกำลังอัดประมาณ 2.5 MPa หรือ 500 lb/in^2 โดยทั่วไปการบ่มความชื้น 24 ชั่วโมง ที่4 C ° จะไม่เพียงพอต่อการป้องกันการแข็งตัวของคอนกรีตเนื่องจากความเย็น ควรใช้ฉนวนความร้อนหุ้มตลอดการบ่ม เพื่อป้องกันไม่ให้สูญเสียความร้อนภายในคอนกรีต ซึ่งจะทำให้มีความร้อนเพียงพอในการทำปฏิกิริยา hydration และในขณะที่หนาวจัดมาก การเพิ่มความร้อนเข้าไปจะเป็นสิ่งที่สำคัญมาก

5). ผลจาก CO_2

ในการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปบางชนิด จะมีการใช้ CO_2 พ่นใส่ชิ้นส่วน จะทำให้ได้ชิ้นส่วนที่ได้รูปร่างและมีการเพิ่มขึ้นของ Strength อีกด้วย แต่การบ่มวิธีนี้จะมีผลต่อเฉพาะของคอนกรีตที่มีรูพรุนและมีหน้าตัดขนาดเล็ก เพื่อให้ CO_2 พุ่งผ่านตลอดทั่วคอนกรีตได้

2.2.2. วิธีในการบ่มคอนกรีต

มีวิธีการบ่มและวัสดุที่ใช้บ่มความชื้นอยู่หลายวิธีสำหรับคอนกรีต แต่เราสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1. การบ่มน้ำ - เป็นการเพิ่มความชื้นและการป้องกันการสูญเสียความชื้นของคอนกรีต
2. การบ่มโดยการปิดผิวหน้า - เป็นการป้องกันการสูญเสียความร้อนอย่างเดียว

1). การบ่มน้ำ (water curing)

การเพิ่มน้ำให้กับคอนกรีต สามารถทำได้โดยการขังน้ำ การพ่นเป็นฝอย การฉีดแบบเหวี่ยงหรือการใช้สิ่งปกคลุมอิ่มน้ำ

- การขังน้ำ

เป็นการบ่มโดยทั่วบนผิวในแนวราบโดยทำเป็นคันดินหรือทรายโดยรอบ เพื่อป้องกันน้ำไม่ให้ไหลออกแต่วิธีการนี้ในปัจจุบันไม่ค่อยใช้กัน เพราะเสียค่าแรงเพิ่มมาก และต้องการการตรวจตราโดยทั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การฉีดพ่น

เป็นการบ่มที่ได้ผลดีวิธีหนึ่ง ถ้าเรามีน้ำไว้สำรองจำนวนมากและสามารถใช้ได้ตลอดเวลา จะสามารถใช้ในการบ่มผิวทั้งแนวราบและแนวตั้ง ส่วนใหญ่ก็จะใช้ที่รดน้ำสนามหญ้าแบบเหวี่ยงและแบบซึม โดยฉีดพ่นเป็นพัก ๆ ต้องคอยระวังไม่ให้ฉีดแรงเกินไป

- การใช้วัสดุปกคลุมชั้น

เป็นการบ่มซึ่งจะรักษาปริมาณน้ำไว้ที่วัสดุปกคลุม โดยรดน้ำเพิ่มและป้องกันการกลายเป็นไอ โดยทั่วไปใช้กระสอบและวัสดุดูดซึมอื่น ๆ นิยมมากเพราะใช้ในแนวดิ่งและแนวราบ ดินชื้น ทราย ฟาง และขี้เลื่อยสามารถใช้ในการบ่มแนวราบ แต่ค่าแรงขนย้ายจะสูงกว่าวิธีอื่น

การปกคลุมด้วยวัสดุนี้สามารถคลุมทับอีกชั้น โดยวัสดุฉนวนความร้อนในหน้าหนาวด้วยวัสดุแห้งได้ การปกคลุมนี้ต้องอาศัยระยะเวลาในการให้ความชื้น โดยมันจะแห้งตัวเมื่อเวลาผ่านไป จึงควรมีการตรวจสอบไม่ให้แห้งและควรระวังที่จะเกิด ดวง ๆ บนผิวคอนกรีตเมื่อมีอินทรียสารที่ละลายน้ำได้ปนมากับวัสดุปกคลุมซึ่งอาจทำให้ไปหน่วงเวลาการแข็งตัวของผิว เช่น กรด titanic จากขี้เลื่อย

2). การบ่มโดยปิดผิวหน้า (sealed curing)

กระดาษกันน้ำ แผ่นพลาสติก และสารละลายกันซึม เป็นวิธีการบ่มโดยปิดผิวหน้าที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความสะดวกในการทำงาน และค่าแรงที่ใช้ในการบ่มต่ำ ทำให้วิธีการเหล่านั้น แทนกานใช้การบ่มน้ำแบบเก่า ไม้แบบ ก็สามารถเป็นฉนวนป้องกันไอน้ำไหลออก แต่ในแบบไม้จะไปดูดซึมน้ำจากคอนกรีตแทน ถ้าไม่รักษาให้ไม้แบบเปียกตลอดการบ่ม

กระดาษกันซึมหรือแผ่นพลาสติก ควรจะใช้เมื่อผิวหน้าแข็งตัว เพียงพอที่จะป้องกันการเสียหายในการดำเนินการปูกระดาษ หรือแผ่นพลาสติก และเมื่อเปียกทั่วตลอดทั้งผิวหน้าแล้ว แผ่นพลาสติก สามารถใช้ได้ในหลายพื้นที่ เพราะมีความยืดหยุ่นตัวสูง และสามารถใช้กับรูปร่าง ที่สลับซับซ้อนได้ แผ่นพลาสติกสามารถปูทับวัสดุที่ดูดซึมน้ำอีกทีเพื่อให้เป็นการสำรองความชื้นที่จะเสียไปในคอนกรีตอันเนื่องมาจากการกลายเป็นไอ และจะกลั่นตัวที่วัสดุปกคลุม ด้วยวิธีนี้ความชื้นจะหมุนเวียนกลับสู่คอนกรีต เพื่อพัฒนาการบ่ม ทั้งกระดาษและพลาสติกสามารถทำให้เป็นสีขาว เพื่อสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาทิตย์และลดการดูดซับความร้อนในหน้าร้อน หรือทำเป็นสีดำเพื่อเพิ่มการดูดซับความเย็นในหน้าหนาว สเป็คของวัสดุที่ใช้ตาม ASTM C 171

สารประกอบ CURING COMPOUNDS ของเหลว เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในการบ่มทางเท้าและพื้นและสามารถใช้ได้ในผิวแนวดิ่ง แต่เป็นการบ่มที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด เพราะมันไม่สามารถป้องกันการกลายเป็นไอของคอนกรีตได้ทั้งหมด แต่มันจะเกิดประโยชน์มากที่สุดเมื่อคอนกรีตมีการบ่มความชื้นไปแล้วระยะหนึ่ง ในการแต่งผิวในปัจจุบันยังนิยมใช้ทันทีตามผิวหน้าที่เซทตัวแล้วจากการใช้ SLIP-FORM

สารประกอบ CURING COMPOUNDS ส่วนใหญ่ทำมาจาก RESIN WAXES หรือ SYNTHETIC RUBBERS ละลายในสารละลาย ซึงระเหยได้หรือผสมกับน้ำ จนเมื่อสารประกอบติดที่ผิวคอนกรีต ตัวทำละลายหรือน้ำจนกลายเป็นไอจะเหลือสารดังกล่าวเคลือบผิวเป็นชั้น ซึ่งไม่ซึมน้ำ และป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้น การใช้สารประกอบที่มีสีผสมควรใช้ดังนี้คือ สีขาว ใช้ในอากาศร้อน เพื่อลดการดูดซึมความร้อน สีดำหรือเทาใช้ในหน้าหนาว เพื่อให้สีดูดซับความร้อนจากอากาศ และการใช้สีในสารประกอบ จะมีประโยชน์ในแง่ที่เราสามารถจะตรวจสอบได้ว่า เราได้ปกคลุมผิวที่จะบ่มไปครบทุกพื้นที่แล้ว

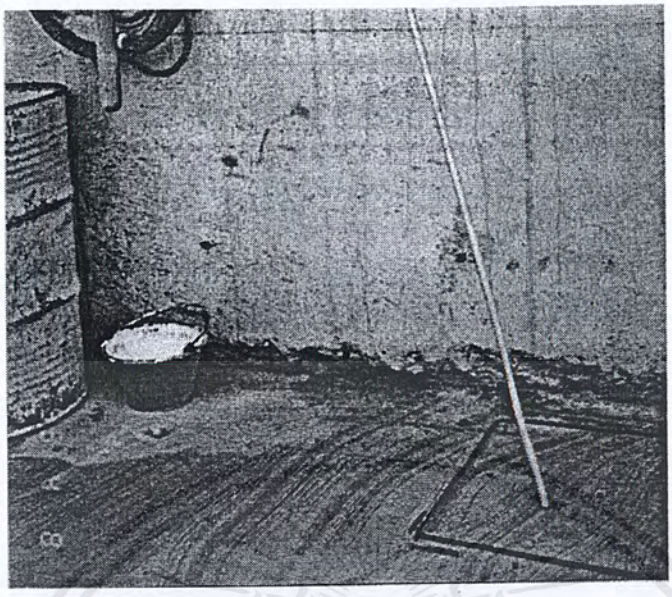
สารประกอบ CURING COMPOUNDS ไม่ควรใช้กรณีที่มีการวาง TOPPING หรือชั้นวัสดุตกแต่งอีกในภายหลัง หรือผิวที่จะต้องทาสี เพราะผิวสารประกอบจะไปขัดขวางการยึดเกาะของวัสดุกับผิวหน้า และไม่ควรใช้กับสิ่งก่อสร้าง ในกรณีที่มีหิมะตกและผิวสัมผัสกับเกลือละลายน้ำแข็ง เพราะชั้นของ CURING COMPOUNDS จะไปหน่วงการแห้งตัวของชั้นเกลือซึ่งต้านการเกิดน้ำแข็ง สเป็คของสารประกอบ CURING COMPOUNDS ใช้ตาม ASTM C 309

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

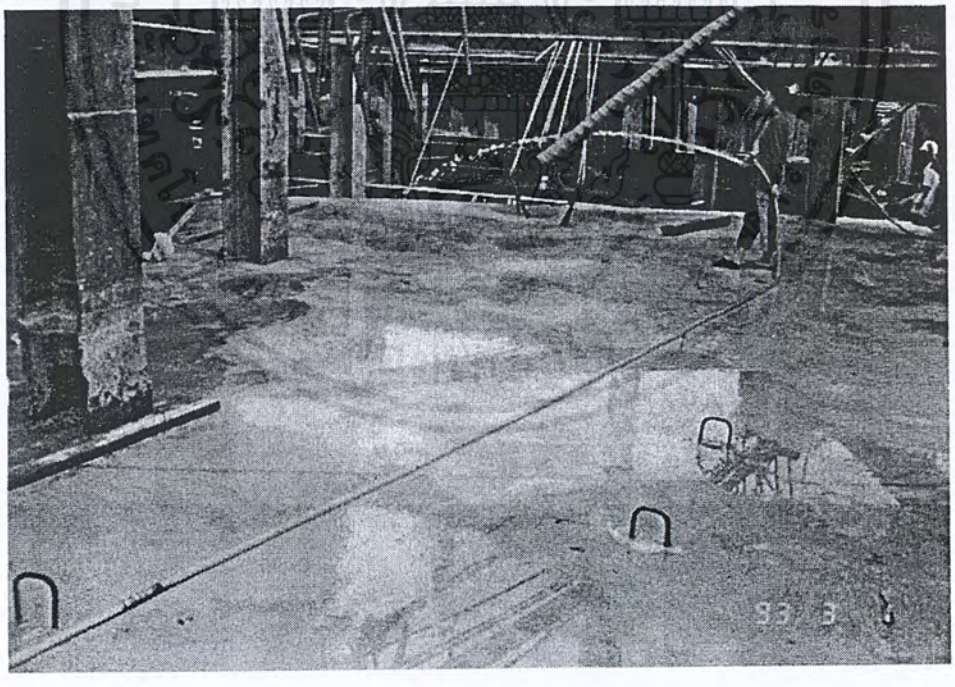
รูปที่2.7. แสดงการบ่มคอนกรีตด้วยวิธีการขังน้ำ

รูปที่2.8. แสดงการบ่มคอนกรีตโดยใช้กระสอบชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

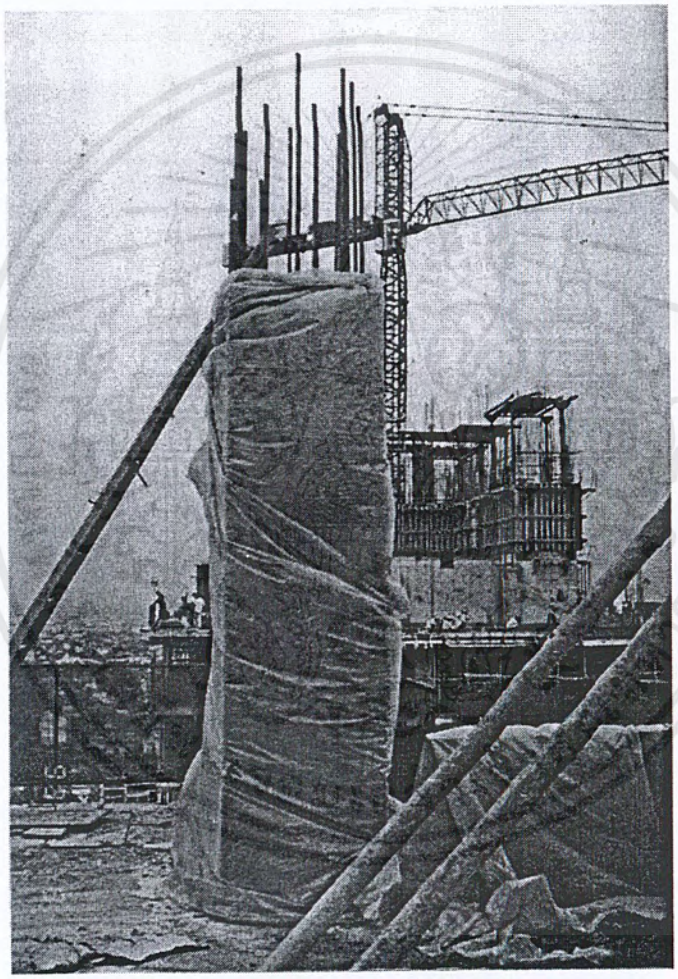


รูปที่ 2.9. แสดงการบ่มคอนกรีตโดยใช้สารเหลวบ่มคอนกรีต



รูปที่ 2.10. แสดงการบ่มคอนกรีตโดยการฉีดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



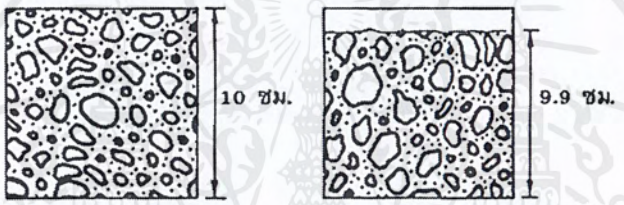
รูปที่ 2.11. แสดงการบ่มโดยใช้พลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. การเยิ้ม

2.3.1. ความหมายของการเยิ้ม

การเยิ้ม (Bleeding) คือ การคายน้ำจากส่วนผสมคอนกรีตสดซึ่งเกิดหลังจากการจี้เขย่าคอนกรีตเข้าแบบแล้วลักษณะสำคัญคือจะมีน้ำบางส่วนที่ลอยตัวขึ้นมาอยู่ที่ผิวหน้าของคอนกรีตสดเนื่องจากองค์ประกอบที่เป็นของแข็งในส่วนผสมจมตัวลงและดันน้ำที่เป็นองค์ประกอบที่เบาที่สุดให้ลอยตัวขึ้น การหาค่าการเยิ้มสามารถแสดงออกมาเป็นปริมาณซึ่งได้จากอัตราส่วนค่ายุบตัวต่อหน่วยความสูงของคอนกรีตดังแสดงในตัวอย่าง



รูปที่ 2.12. การหาการเยิ้มของคอนกรีต(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

$$\text{ค่าการเยิ้ม} = \frac{0.1}{10.0} x100 = 1\,\%$$

การเยิ้มจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพคอนกรีตใน 2 ลักษณะคือ

1. ผิวด้านบนของคอนกรีตมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดหรือมีกำลังอัดต่ำที่สุด เมื่อคอนกรีตแข็งตัวมีแนวโน้มที่จะเกิดการเป็นฝุ่นที่ผิว และถ้าต้องเทคอนกรีตทับบนผิวนี้ เช่นการเทคอนกรีตฐานรากขนาดใหญ่ จะเกิดชั้นที่อ่อนแอและเป็นรูพรุนทำให้โครงสร้างนี้ขาดความทนทาน

2. นอกจากน้ำที่ลอยตัวขึ้นมาแล้ว น้ำบางส่วนจะถูกกักไว้ใต้มวลรวมหยาบหรือเหล็กเสริม ก่อให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้าและมวลรวมหรือเหล็กเสริมลดลงอย่างมาก และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จะเกิดช่องว่างเรียงตัวในทิศทางเดียว การซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น การเยิ้มนี้จะพบได้บ่อยในงานเทคอนกรีตพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น พื้นถนน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเยิ้ม

1. ปริมาณน้ำในส่วนผสม การลดน้ำจะลดการเยิ้ม
2. คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ การเยิ้มจะลดลงเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดเพิ่มขึ้น
3. องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ ซีเมนต์ที่เป็นด่างมากหรือที่มี C_3A มากจะมีการเยิ้มน้อย
4. อุณหภูมิ
5. สัดส่วนคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปริมาณมากมีแนวโน้มจะเกิดการเยิ้มน้อยกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์น้อย
6. สารกักกระจายฟองอากาศจะลดการเยิ้ม

2.4. ความสามารถซึมผ่านได้ (Permeability)

ความสามารถซึมผ่านได้ของน้ำ คือ ความสะดวกหรือง่าย ซึ่งของเหลวหรือก๊าซสามารถซึมผ่านคอนกรีต คุณสมบัตินี้จะเป็นตัวชี้บ่งว่าคอนกรีตในโครงสร้างนั้นๆจะทนทานมากน้อยเพียงใด

ถึงแม้ว่าจะไม่มีการกำหนดวิธีการทดสอบ แต่ความสามารถซึมผ่านของน้ำ สามารถวัดได้โดยใช้น้ำที่มีความดัน ดันผ่านคอนกรีตเมื่อถึงสภาพที่คอนกรีตอิ่มตัวน้ำจะซึมผ่านคอนกรีตนั้นออกมา ทำการวัดปริมาณน้ำนี้ในช่วงเวลาหนึ่ง รวมทั้งวัดความหนาของคอนกรีต โดยความสามารถซึมผ่านของน้ำจะถูกแสดงออกมาในรูปของสัมประสิทธิ์ การซึมผ่านของน้ำ ดังสมการของ Darcy

$$\frac{dq}{dt} = \frac{k\Delta hA}{L} \tag{2.1}$$

$\frac{dq}{dt}$ คือ อัตราการไหลของน้ำ

A คือ ขนาดหน้าตัดของตัวอย่าง

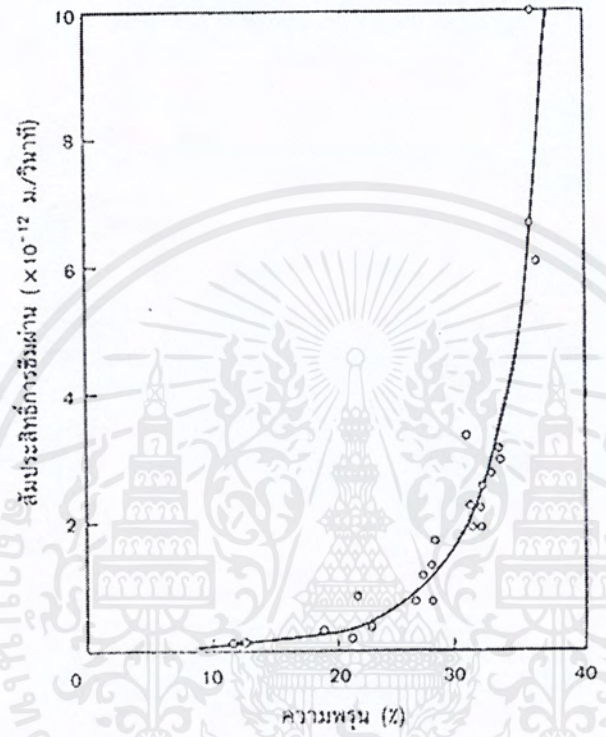
Δh คือ การลดลงของ Hydraulic Head

L คือ ความหนาของก้อนตัวอย่าง

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ มีหน่วยเป็น ม/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

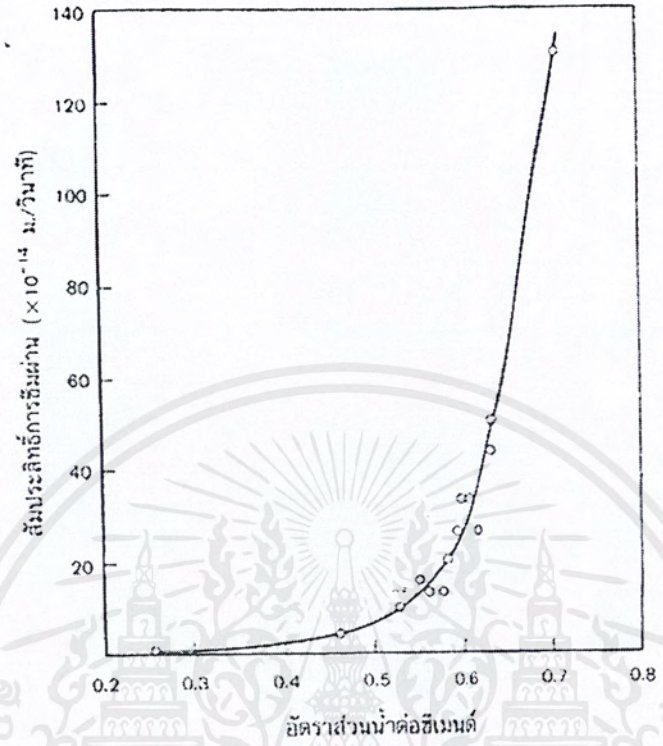
ในรูปที่ 2.13. แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ และความพรุนภายในเนื้อคอนกรีต



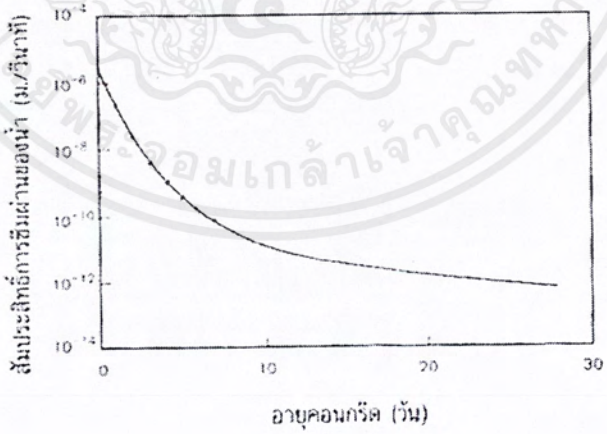
รูปที่ 2.13. ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำกับความพรุนของคอนกรีต (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

สำหรับคอนกรีตที่ใช้หินทั่ว ๆ ไป ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ จะถูกควบคุมโดยความพรุนของซีเมนต์เพสต์ โดยความพรุนจะมากน้อยขึ้นกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น รูปที่ 2.14. แสดงให้เห็นว่า ณ. ความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาที่กำหนด ความสามารถซึมผ่านได้จะต่ำ สำหรับเพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่ W/C ต่ำกว่า 0.60 ซึ่งช่องทางไหลของน้ำ จะถูกแบ่งหรือทำให้แยกออกไม่ต่อเนื่องกัน ในส่วนผสมที่กำหนด W/C ให้ความสามารถซึมผ่านจะลดลงถ้าปูนซีเมนต์มีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูป 2.15.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



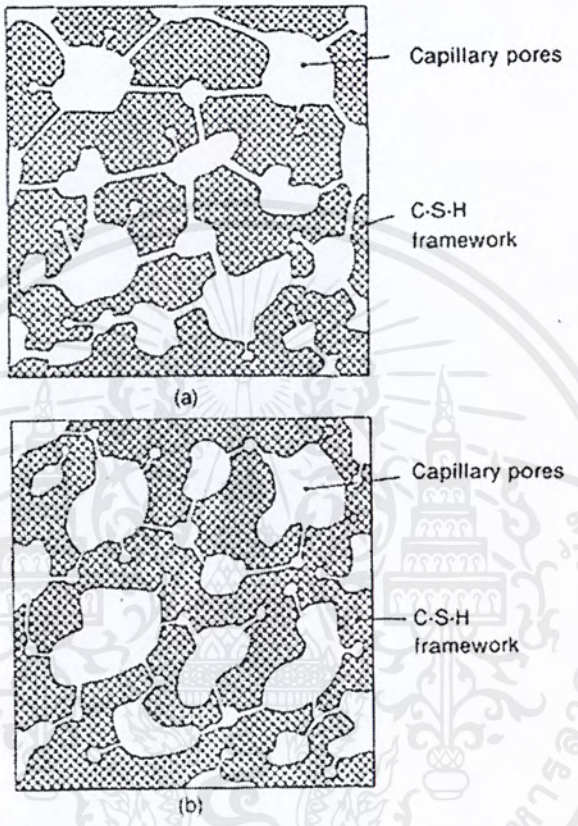
รูปที่ 2.14. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการซึมผ่านของน้ำกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์



รูปที่ 2.15. แสดงความสามารถซึมผ่านของน้ำลดลงเมื่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่นสมบูรณ์ขึ้น(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถซึมผ่านได้ของน้ำไม่ใช่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความพรุนของเนื้อคอนกรีต ในรูปที่ 2.16. แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตทั้ง 2 มีความพรุนเท่ากัน แต่มีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.16. คอนกรีตที่มีความพรุนเท่ากัน แต่ a) การซึมผ่านของน้ำสูง เนื่องจาก Capillary Pore เชื่อมต่อกัน b) การซึมผ่านของน้ำต่ำ เนื่องจาก Capillary Pore แยกจากกัน
(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

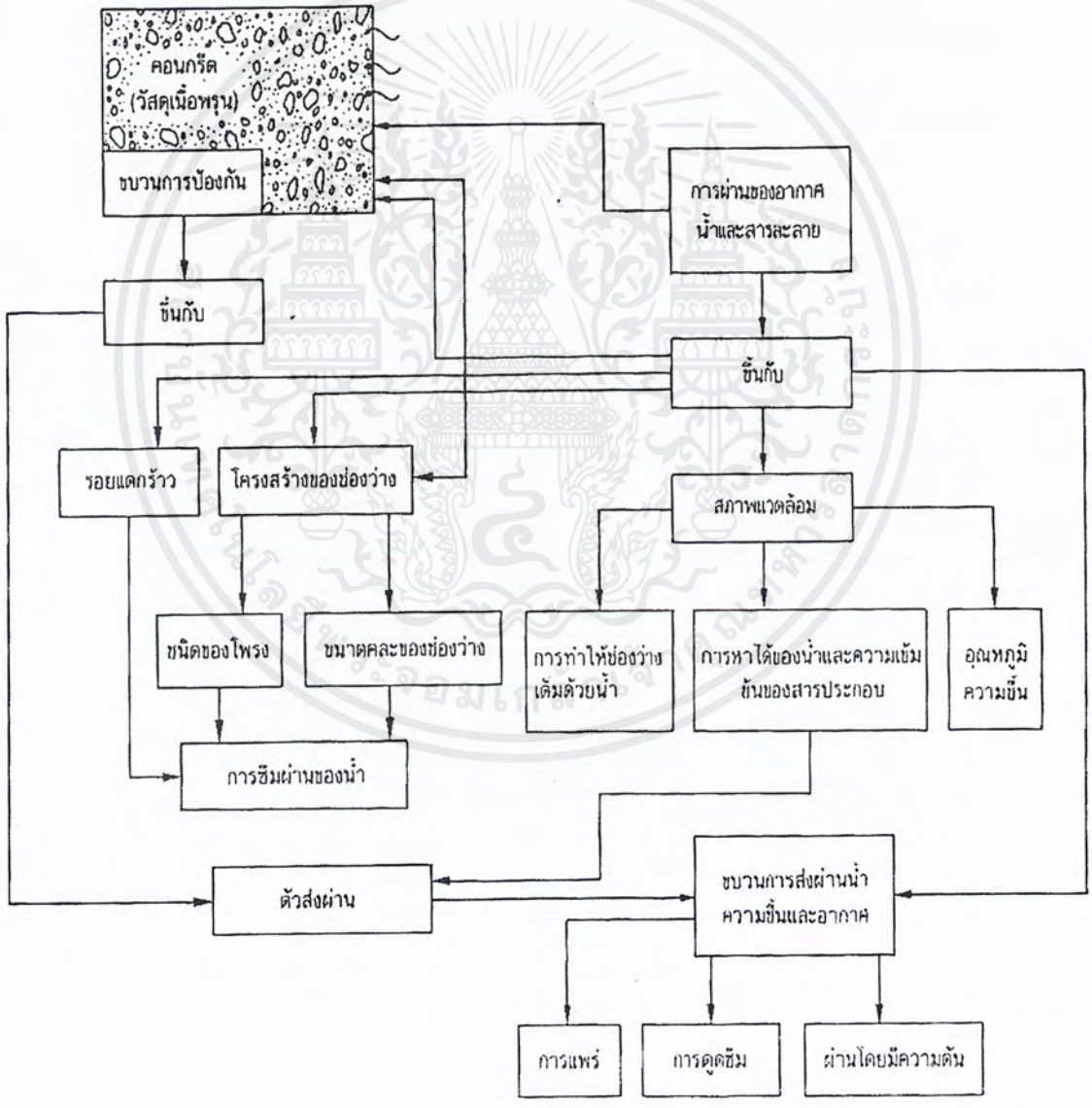
จะเห็นได้ว่าเฉพาะ Capillary Pore ที่เชื่อมกันจะก่อให้เกิดการซึมผ่านของน้ำสูงในขณะที่ความพรุนเท่ากันดังรูป 2.16.

เมื่อพิจารณาในเรื่องความทนทานจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำให้คอนกรีตเกิดความสามารถซึมผ่านของน้ำที่ต่ำในเวลาที่เร็วที่สุด นั่นคือ ควรเลือกใช้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์แล้วการทำให้คอนกรีตอัดแน่น และการบ่มยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมาก ที่จะทำให้การซึมผ่านของน้ำต่ำ ช่วยให้คอนกรีตมีความทนทานสูงขึ้น

ขบวนการที่ทำให้คอนกรีตเสียหาย หรือขาดความทนทานส่วนใหญ่มาจากการที่น้ำ ความชื้น หรืออากาศ ซึมผ่านช่องว่างที่ต่อเนื่อง หรือรอยแตกร้าวของคอนกรีต โดยทั้งน้ำและอากาศที่ซึมผ่านนี้จะนำพาสารที่เป็นอันตรายเข้าไปในเนื้อคอนกรีต เมื่อมีปริมาณที่เหมาะสมจะก่อให้เกิดความเสียหาย ขบวนการซึมผ่านของน้ำ สามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 2.17.



รูปที่ 2.17. ขบวนการซึมผ่านของน้ำ ความชื้น และอากาศ(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5. การผันแปรของกำลังอัดในโครงสร้าง

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของคอนกรีต คือ ความสามารถต้านต่อแรงอัดหรือกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความผันแปรตลอดเวลา ถึงแม้ว่าจะนำคอนกรีตชุดเดียวกันที่ผสมเรียบร้อยมาทำก้อนตัวอย่าง และนำมาทดสอบที่อายุเดียวกัน ด้วยวิธีการที่เหมือนกันทั้งหมด จะพบว่ากำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่ได้นี้ จะมีค่าแตกต่างกัน ไม่มีผลทดสอบใดที่ได้ค่าเท่ากันพอดีเลย รวมทั้งถ้าเราแบ่งก้อนตัวอย่างออกเป็นส่วนย่อยๆ กำลังอัดในแต่ละส่วนก็จะมีค่าแตกต่างกันไปด้วย

2.5.1. สาเหตุความผันแปรของกำลังอัด

ความผันแปรของกำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้างที่เกิดขึ้น อาจเนื่องจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง หรืออาจเป็นการผสมกันของหลายๆ สาเหตุ ซึ่งสามารถแยกรายละเอียดได้คร่าวๆ ดังนี้

1. ความผันแปรเนื่องจากเนื้อคอนกรีต
2. ความผันแปรเนื่องจากผู้ผลิตคอนกรีต
3. ความผันแปรเนื่องจากฝีมือแรงงาน

1). ความแปรผันเนื่องจากเนื้อคอนกรีต มีสาเหตุหลัก 2 ประการคือ

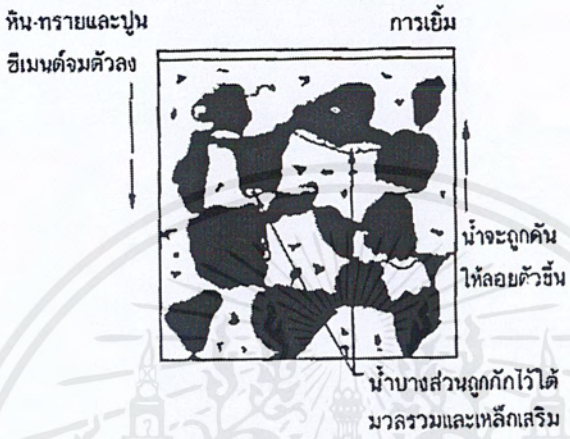
1. เนื่องจากการเยิ้ม
2. เนื่องจากการแยกตัว

คอนกรีตเป็นวัสดุเนื้อผสมที่เกิดจากการนำปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยามาผสมกัน ในสภาพคอนกรีตสด หินที่อยู่ในส่วนผสมนั้นจะถูกพยุงไม่ให้เกิดการแยกตัวด้วยมอร์ต้า แต่อย่างไรก็ตาม ผลจากแรงดึงดูดของโลก ไม่เพียงแต่ส่งผลให้หินทรายจมตัวลง แต่รวมไปถึงเม็ดปูนซีเมนต์ด้วย

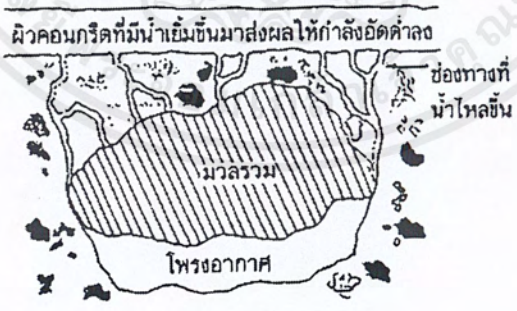
หิน ทราย และเม็ดปูนซีเมนต์ จะจมตัวลงในเนื้อคอนกรีตสด จนกระทั่งแรงต้านทานการจมตัวมากกว่าน้ำหนักของหิน ทราย หรือเม็ดปูนซีเมนต์ หรืออนุภาคของหินทรายจมมาสัมผัสกันจนเป็นเครือข่าย ผลก็คือ น้ำซึ่งเบาที่สุดจะถูกดันขึ้นมาด้านบนเกิดการเยิ้ม (Bleeding) และน้ำบางส่วนจะถูกกักไว้ใต้มวลรวมหรือเหล็กเสริม เมื่อคอนกรีตแข็งตัว บริเวณเหล่านี้จะเกิดเป็นโพรงอากาศ (Air

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pocket) และโพรงอากาศจะมากยิ่งขึ้น ถ้าคอนกรีตที่ใช้เกิดการแยกตัว (Segregation) ส่งผลให้ความพรุนในเนื้อคอนกรีตมีมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.18. และรูปที่ 2.19.



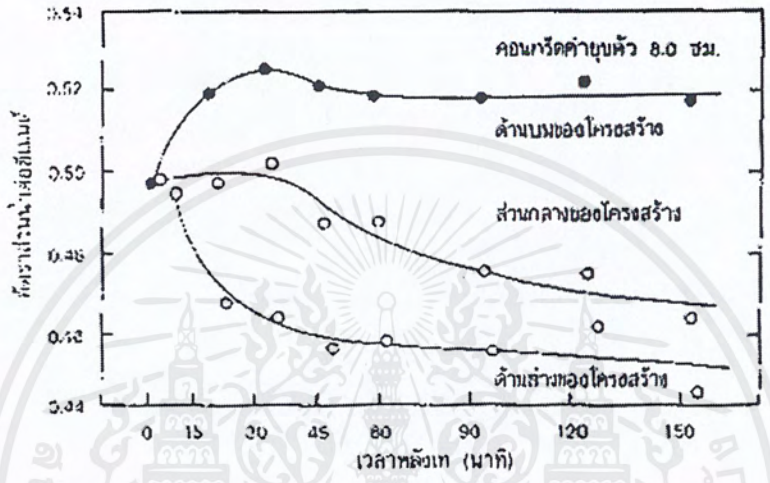
รูปที่ 2.18. การจมตัวของหินทรายปูนซีเมนต์เป็นผลให้เกิดการเยิ้ม (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)



รูปที่ 2.19. โพรงอากาศใต้มวลรวมและช่องทางที่น้ำไหลขึ้นสู่ด้านบนซึ่งส่งผลให้กำลังของคอนกรีตแปรผัน(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการเคลื่อนตัวของน้ำขึ้นสู่ผิวบนนี้ ทำให้เกิดความผันแปรในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของส่วนผสม โดยด้านล่างของโครงสร้างจะมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำสุด และจะสูงสุดส่วนบน ดังแสดงในรูปที่ 2.20. นั่นคือ เกิดความไม่สม่ำเสมอในกำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้าง



รูปที่ 2.20. ความผันแปรของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ตลอดช่วงความสูงของโครงสร้าง
(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

2). ความผันแปรเนื่องจากผู้ผลิตคอนกรีต ความผันแปรเนื่องจากผู้ผลิตคอนกรีตมีสาเหตุหลัก 2 ประการคือ

1. เนื่องจากวัสดุผสม
2. เนื่องจากการชั่งตวง

เป็นที่ทราบกันแล้วว่าวัสดุผสมคอนกรีตส่วนใหญ่มาจากธรรมชาติ ดังนั้นจึงเกิดความผันแปรในคุณสมบัติอยู่ตลอดเวลา เช่น ทรายผสมคอนกรีต จะมีขนาดคละและความละเอียดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่ง , กรรมวิธี และ ช่วงเวลาที่ดูดขึ้นมาใช้เป็นต้น นอกจากวัสดุผสมแล้ว คอนกรีตในโครงสร้างอาจจะผันแปรเนื่องจากการชั่งตวง ซึ่งอาจจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับการควบคุมการผลิต รวมทั้งเทคนิคการขนส่ง และการลำเลียงคอนกรีตลงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผันแปรนี้จะไม่มีความสัมพันธ์กับชนิดของโครงสร้างและโดยทั่วไปความผันแปรนี้จะถูกสมมติว่ากระจายไปทั่วทั้งโครงสร้าง เป็นการยากที่จะวัดค่านี้ เพราะเราไม่สามารถแยกความผันแปรนี้ออกจากความผันแปรเนื่องจากวิธีการทำงาน ณ หน่วยงาน อันได้แก่การจี้เขย่าและการบ่ม แต่ก็สามารถวัดค่าได้โดยการพิจารณาความเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดสอบก้อนตัวอย่าง

ตารางที่ 2.1. แสดงระดับการควบคุมขบวนการผลิตคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของก้อนตัวอย่างมากกว่า 30 ตัวอย่าง (กก. / ตร.ซม.)	ระดับการควบคุมขบวนการคอนกรีต
น้อยกว่า 28	ดีเลิศ
28-35	ดีมาก
35-42	ดี
42-49	พอใช้
มากกว่า 49	ใช้ไม่ได้

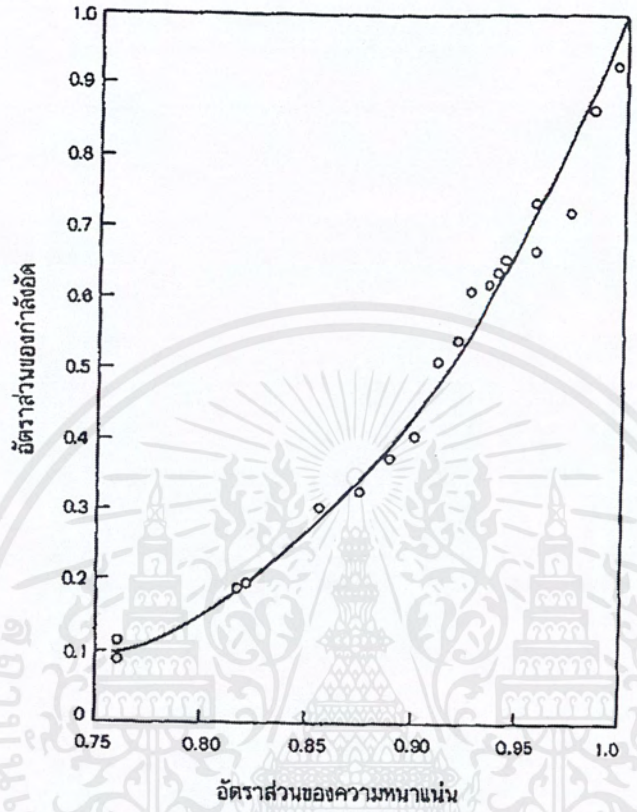
3). ความผันแปรเนื่องจากฝีมือแรงงาน

ความผันแปรนี้สืบเนื่องจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือการจี้เขย่า และการบ่มคอนกรีต

1. การจี้เขย่าคอนกรีตเข้าข้างแบบ

วัตถุประสงค์ของการจี้เขย่า เพื่อทำให้คอนกรีตอัดแน่นและลดปริมาณฟองอากาศ แต่การจี้เขย่าคอนกรีตที่ไม่ถูกวิธี หรือ บริเวณขอบ มุม ใกล้ๆ ช่องเปิด หรือระหว่างเหล็กเสริม กับผิวคอนกรีตจะทำให้เนื้อคอนกรีตในโครงสร้างเกิดความผันแปร รวมทั้งในการจี้เขย่า มวลรวมมีแนวโน้มจะจมตัวลงดันน้ำให้ลอยขึ้น ส่วนล่างหรือฐานของโครงสร้างจะถูกอัดแน่นเนื่องจากผลของ Hydroststic ซึ่งสัมพันธ์กับความลึกของชิ้นส่วนโครงสร้าง ก่อให้เกิดความผันแปรของกำลังอัด ตั้งแต่ฐานถึงส่วนบนของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

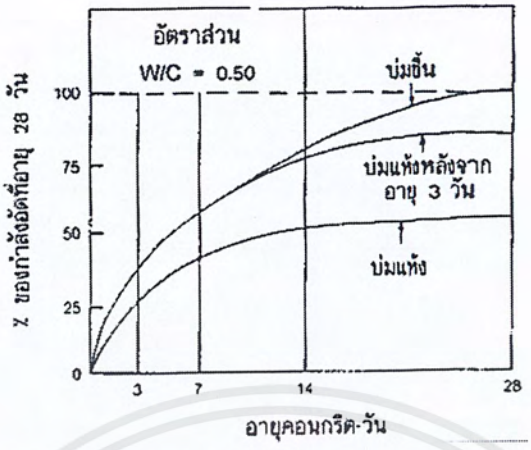


รูปที 2.21. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความหนาแน่นและอัตราส่วนของกำลังอัด (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

2. การบ่ม

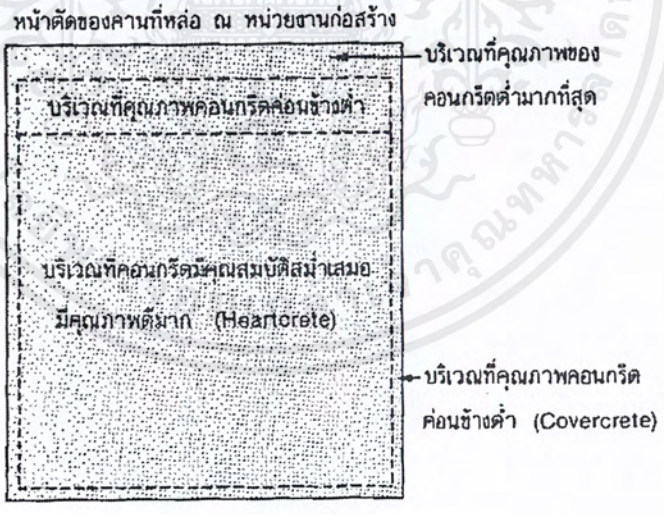
การบ่ม คือการป้องกันน้ำในคอนกรีตไม่ให้ระเหยออกไปเพื่อให้มั่นใจว่าจะมีปริมาณน้ำเพียงพอ เพื่อให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นดำเนินไปอย่างสมบูรณ์ โดยทั่วไปน้ำและความชื้นจากผิวคอนกรีตจะเริ่มระเหยทันทีทันใด หลังจากการเทคอนกรีต และจะดำเนินต่อไปอีกหลายวัน ถ้าไม่มีการบ่มคอนกรีตที่เพียงพอ ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเกิดไม่สมบูรณ์ ผลที่ตามมาคือ การพัฒนากำลังอัดจะไม่ดี ดังแสดงในรูปที่ 2.22.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22. ผลของการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีต (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

ผลจากการจี้เขย่าและการบ่มคอนกรีตส่งผลให้เกิดความผันแปรของกำลังอัดระหว่างผิวและด้านในของโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.23.



รูปที่ 2.23. แสดงความผันแปรของคุณภาพคอนกรีต (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

3.1. กล่าวนำ

ในการทดลองนี้จะดำเนินการทดลองไปใน 2 กรณีได้แก่

1. การทดสอบหาความสัมพันธ์ของกำลังอัดของพื้นคอนกรีตที่ระดับความลึกต่างๆ
2. การทดสอบหาปริมาณน้ำของแท่งคอนกรีตในแต่ละระดับชั้น

3.1.1. การทดสอบหาความสัมพันธ์ของกำลังอัดของพื้นคอนกรีตที่ระดับความลึกต่างๆ

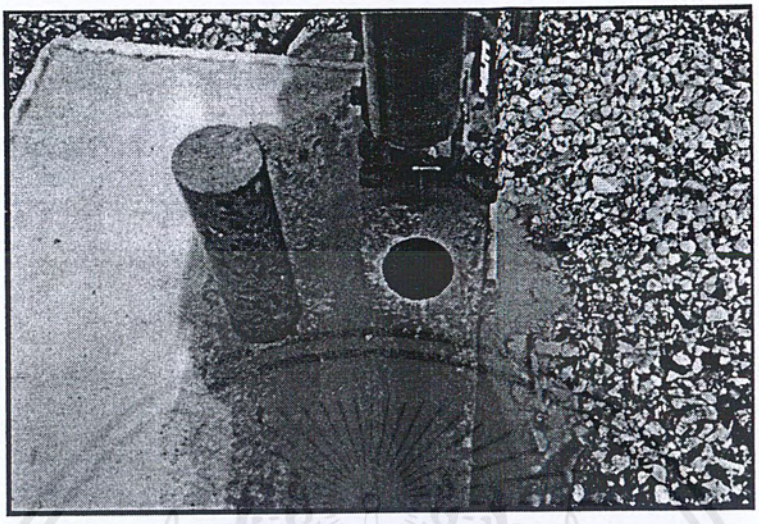
1. จัดเตรียมสถานที่ที่จะทำการทดลอง เป็นที่โล่งแจ้ง เหตุผลที่กำหนดให้เป็นที่โล่งแจ้งก็เพื่อต้องการให้สภาพแวดล้อมเหมือนสภาพงานก่อสร้างจริง ๆ และจะต้องเป็นที่สะดวกต่อการทำงาน เช่น ควรจะอยู่ใกล้กับก๊อกน้ำเพราะจะต้องใช้น้ำมากในการทดลอง
2. ทำแบบหล่อคอนกรีตขนาดกว้าง 75 เซนติเมตร ยาว 90 เซนติเมตร ลึก 40 เซนติเมตร โดยตัวแบบหล่อคอนกรีตยกสูงจากพื้นประมาณ 30 เซนติเมตร เพราะว่าจะต้องทำการถอดแบบหล่อใต้พื้นภายหลังจากการหล่อคอนกรีตแล้ว 7 วัน
3. ทำการปูแผ่นพลาสติกให้เต็มแบบหล่อก่อนที่จะเทคอนกรีต เพื่อกันน้ำปูนไม่ให้ซึมออกมา และ ยังช่วยป้องกันไม่ให้น้ำที่จะใช้บ่มคอนกรีตไหลซึมออกจากแบบหล่อ จากนั้นทาน้ำมันให้ทั่วแผ่นพลาสติกก่อนการเทคอนกรีตเพื่อสะดวกต่อการถอดแบบทีหลัง
4. เทคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้วลงในแบบหล่อคอนกรีตที่เตรียมไว้โดยเทผ่านท่อเทคอนกรีตลงตรงกลางแบบในแนวดิ่งเพื่อไม่ให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว แบ่งเทเป็น 3 ชั้น ๆ ละ 10 เซนติเมตร โดยค่อย ๆ เทให้เป็นชั้นที่สม่ำเสมอ และทำการจี้เขย่าคอนกรีตโดยจี้เป็นชั้น แต่ละชั้นจะถูกจี้เขย่าให้อัดแน่นก่อนที่จะเทคอนกรีตชั้นต่อ ๆ ไป จุดประสงค์ในการจี้เขย่าก็เพื่อลดช่องว่างอากาศในคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความแน่นตัว เนื่องจากช่องว่างทุก ๆ 1% จะทำให้กำลังอัดลดลง 5-6 % คอนกรีตที่อัดแน่นจะมีความแข็งแรง ทนทาน
5. ทำการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสดโดยการทดสอบค่าการยุบตัวเพื่อหาความสามารถไหลได้ตามมาตรฐาน ASTM C 143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการทดสอบหากำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงกระบอก โดยขั้นแรกต้องทำก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก ตามมาตรฐาน ASTM C 192 ต่อจากนั้นทำการทดสอบกำลังอัดตัวอย่างรูปทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM C 39
7. ภายหลังจากการหล่อคอนกรีตเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการบ่มคอนกรีตด้วยการขังน้ำที่ผิวบนโดยมีแบบข้างที่เหลือสูง 10 เซนติเมตร ช่วยในการขังน้ำ คอยเติมน้ำให้น้ำขังอยู่ตลอดเวลาจนเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 28 วัน
8. เมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 7 วัน ก็ทำการถอดแบบรองพื้นข้างล่างออกทั้งนี้เป็นไปตามมาตรฐานการถอดแบบหล่อคอนกรีต
9. เมื่อคอนกรีตที่หล่อไว้มีอายุครบ 28 วัน ก็ทำการถอดแบบข้างออก จากนั้นก็ทำการเจาะคอนกรีตด้วยเครื่องเจาะคอนกรีต จะได้คอนกรีตทรงกระบอกออกมาจำนวนทั้งหมด 15 กระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.3 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร
10. นำแท่งทรงกระบอกคอนกรีตที่เจาะได้แล้วมาตัดเป็นชั้น ๆ ละประมาณ 6 เซนติเมตร จะได้ทั้งหมด 5 ชั้น
11. หลังจากตัดแท่งทรงกระบอกให้เป็นชั้น ๆ แล้วนั้น ให้นำชิ้นส่วนที่ตัดแล้วทุกชิ้นรวมทั้งแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกมาทำการแค้ปหัวทั้ง 2 ด้านด้วยกำมะถันเสียก่อน
12. นำแท่งตัวอย่างที่แค้ปหัวท้ายแล้วนั้นมาทำการกดทดสอบด้วยเครื่องทดสอบวัสดุ UTM

รูปที่ 3.1. ขณะเจาะแท่งคอนกรีต

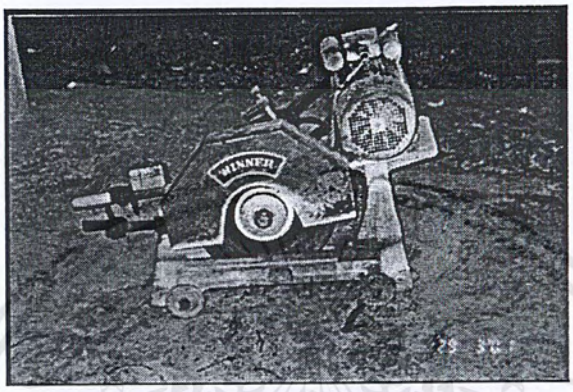
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2. ตัวอย่างหลุมที่ทำการเจาะแล้ว

รูปที่ 3.3. ตัวอย่างแท่งคอนกรีตที่เจาะได้ ขนาดเส้นผ่าศก. 10 ซม. สูง 30 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4. เครื่องตัดคอนกรีต

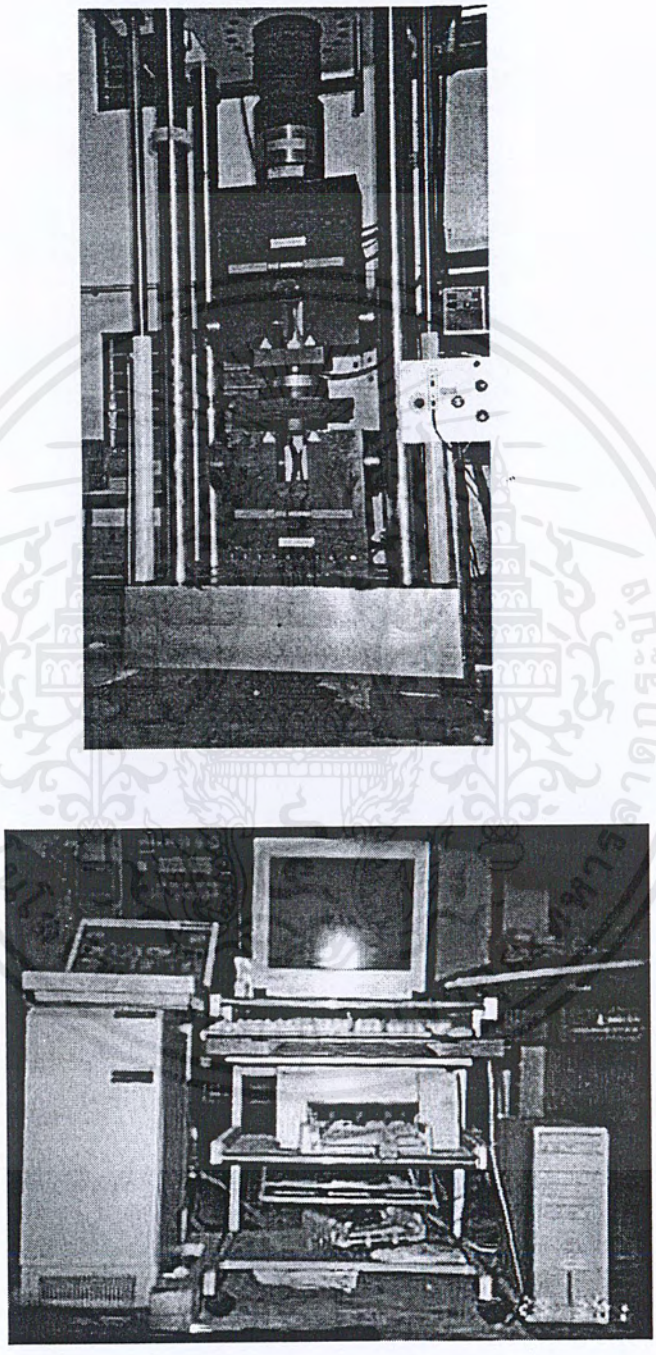
รูปที่ 3.5. ขณะทำการตัดแท่งตัวอย่างเป็นชั้นๆ ชั้นละประมาณ 6 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6. อุปกรณ์ที่ใช้ทำการ แค็ปก้อนตัวอย่าง

รูปที่ 3.7. ขณะทำการแค็ปก้อนตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8. เครื่อง UTM และคอมพิวเตอร์ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ จากการทดลองในหัวข้อ 3.1. ได้มีการทดลองเพิ่มเติมขึ้นมาเพื่อความละเอียดมากยิ่งขึ้น ผู้ทดลองจึงทำการหาปริมาณน้ำของแท่งคอนกรีตในแต่ละระดับชั้นขึ้นมาโดยทำการทดลองดังนี้

3.1.2. การทดสอบหาปริมาณน้ำของแท่งคอนกรีตในแต่ละระดับชั้น

1. นำท่อ PVC ขนาด 8.3 ซม. มาตัดเป็นท่อน ยาวท่อนละ 40 ซม. จำนวน 8 ท่อน
2. ทำการทาน้ำมันภายในท่อ PVC จากนั้นทำการอุดที่ด้านล่างท่อ
3. ทำการเทคอนกรีตที่ผสมลงในท่อ PVC ทั้ง 8 โดยเททีละ 10 ซม. แล้วทำการกระทุ้ง 25 ที ทำจำนวน 3 ชั้น จะได้แท่งคอนกรีตสูง 30 ซม.
4. ทิ้งแท่งคอนกรีตตัวอย่างไว้เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นทำการถอดที่อุดด้านล่างของท่อ PVCออกและทำการยกท่อ PVCทั้ง 8 ให้ลอยขึ้นจากพื้น
5. ทำการขังน้ำไว้ทางด้านบนของ ท่อ PVC เป็นเวลา 7 วัน แล้วทำการถอดแบบ
6. นำแท่งคอนกรีตตัวอย่างที่ถอดแล้วมาตัดเป็นท่อน สูงท่อนละ 6 ซม. จะได้ทั้งหมด 5 ท่อน
7. ทำการชั่งน้ำหนักของก้อนตัวอย่างแต่ละก้อนและบันทึกผล
8. ทำการ แค็ปหัวก้อนตัวอย่าง นำไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล
9. นำก้อนตัวอย่างที่แค็ปแล้วคลุมด้วยถุงพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญหายของเศษคอนกรีตที่แตกก่อนนำไปทดสอบหากำลังด้วยเครื่อง UTM และบันทึกผล
10. นำก้อนตัวอย่างที่อัดแล้วไปอบที่อุณหภูมิอย่างต่ำ 100 องศา เพื่อให้น้ำภายในก้อนตัวอย่างระเหยออกให้หมด และทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 2 วัน
11. นำก้อนตัวอย่างที่อบแล้วไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล
12. ทำการหาปริมาณน้ำที่สูญหายไปในแต่ละระดับชั้น จะทำให้ทราบว่าคอนกรีตแต่ละชั้นมีเปอร์เซนต์น้ำต่อคอนกรีตเท่าไร อันเป็นผลเนื่องมาจากการบ่มที่ผิวมากน้อยเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1. กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองต่างๆที่ผู้ทดลองได้เก็บข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดลองในบทนี้ เช่น ลักษณะของก้อนตัวอย่าง ความสูง ความหนาแน่น น้ำหนัก เส้นผ่าศูนย์กลาง หน่วยน้ำหนัก ปริมาณน้ำ กำลังอัด

4.2. ผลการทดลอง

ผลการทดลองสามารถแยกได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้

4.2.1. ผลการทดลองตามหัวข้อ 3.1.1.

ตารางที่ 4.1. ลักษณะของก้อนตัวอย่างหลังจากตัดเสร็จ

ก้อนตัวอย่าง (วัดจากระดับบนลงล่าง)	ความสูง (ซม.)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก./ม.^{3})	ลักษณะของก้อนตัวอย่างเมื่อตัดเสร็จ
1.1	5.70	9.3	914	2362	เรียบดี
1.2	5.80	9.3	931	2365	มีรอยตัดที่ไม่เท่ากัน
1.3	5.70	9.3	917	2370	มีรอยแตกที่ด้านหนึ่ง และอีกด้านหนึ่งไม่เรียบ
1.4	5.70	9.3	924	2388	เอียงด้านหนึ่งเล็กน้อยประมาณ 1.23 องศา
1.5	5.80	9.3	944	2396	มีรอยแตกเล็กน้อยที่ขอบแต่ไม่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1. ลักษณะของก้อนตัวอย่างหลังจากตัดเสร็จ (ต่อ)

ก้อนตัวอย่าง (วัดจากระดับบนลงล่าง)	ความสูง (ซม.)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม .)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก. /ม.^{3})	ลักษณะของก้อนตัวอย่างเมื่อตัดเสร็จ
2.1	5.70	9.3	910	2352	มีรอยนูนเล็กน้อย
2.2	5.70	9.3	918	2371	เอียงด้านหนึ่ง
2.3	5.70	9.3	926	2392	ที่ขอบมีรอยแตกเล็กน้อย
2.4	5.90	9.3	953	2380	ที่ขอบมีรอยแตกเล็กน้อย
2.5	5.80	9.3	944	2398	รอยการตัดไม่เรียบ
3.1	5.70	9.3	917	2369	รอยการตัดไม่เรียบเล็กน้อย
3.2	5.70	9.3	915	2365	เอียงอีกด้านประมาณ 1.84 องศา
3.3	5.80	9.3	932	2368	มีรอยแตกที่ด้านหนึ่งพอสมควร
3.4	5.70	9.3	918	2371	มีรอยแตกเล็กน้อยที่ขอบ และมีรอยตัดไม่เท่ากัน
3.5	5.90	9.3	957	2390	มีรอยแตกเล็กน้อยที่ขอบ
4.1	5.80	9.3	930	2361	มีรอยนูนเล็กน้อย
4.2	5.80	9.3	933	2370	ไม่ค่อยเรียบ เอียงประมาณ 1.23 องศา
4.3	5.80	9.3	934	2372	มีรอยแตกด้านหนึ่งเล็กน้อย
4.4	5.70	9.3	923	2385	เรียบดี
4.5	5.80	9.3	939	2384	เรียบ ,ระนาบที่ตัดเอียงเล็กน้อย
5.1	5.80	9.3	932	2366	เรียบ ,มีรอยตัดที่ไม่เท่ากันน้อย
5.2	5.70	9.3	920	2378	เรียบ ,ระนาบที่ตัดเอียงเล็กน้อย
5.3	5.60	9.3	911	2396	เรียบดี
5.4	5.60	9.3	910	2393	เรียบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1. ลักษณะของก้อนตัวอย่างหลังตัดเสร็จ (ต่อ)

ก้อนตัวอย่าง (วัดจากระดับบนลงล่าง)	ความสูง (ซม.)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม .)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก. /ม.^{3})	ลักษณะของก้อนตัวอย่างเมื่อตัดเสร็จ
5.5	5.80	9.3	950	2412	เรียบดี
6.1	5.70	9.3	918	2373	ด้านหนึ่งเรียบ อีกด้านเอียง
6.2	5.70	9.3	932	2408	เรียบใช้ได้
6.3	5.80	9.3	943	2395	เอียงด้านหนึ่งเล็กน้อย
6.4	5.60	9.3	905	2381	เรียบใช้ได้
6.5	5.80	9.3	947	2406	เรียบใช้ได้ เอียงด้านหนึ่ง
7.1	5.70	9.3	928	2399	มีรอยตัดที่ไม่เท่ากัน
7.2	5.60	9.3	902	2373	มีรอยแตกที่ด้านหนึ่งไม่เรียบ
7.3	5.70	9.3	929	2400	มีรอยแตกด้านหนึ่งเล็กน้อย
7.4	5.80	9.3	948	2408	มีรอยแตกที่ขอบเล็กน้อย และเอียงเล็กน้อย
7.5	5.90	9.3	967	2415	เรียบดี แต่เอียงนิดหน่อย
8.1	5.80	9.3	939	2384	เรียบดี แต่เอียงเล็กน้อย
8.2	5.80	9.3	923	2345	มีรอยแตกพอสมควรด้านหนึ่ง
8.3	5.70	9.3	912	2357	มีรอยแตกนิดหน่อย
8.4	5.70	9.3	925	2389	มีรอยตัดไม่เท่ากัน เอียงด้านหนึ่งประมาณ 4.3 องศา
8.5	5.80	9.3	945	2401	แตกเยอะพอสมควรที่ด้านหนึ่ง
9.1	5.70	9.3	918	2373	เรียบใช้ได้
9.2	5.70	9.3	914	2362	มีรอยแตกนิดหน่อย
9.3	5.70	9.3	919	2375	เรียบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1. ลักษณะของก้อนตัวอย่างหลังตัดเสร็จ (ต่อ)

ก้อนตัวอย่าง (วัดจากระดับบนลงล่าง)	ความสูง (ซม.)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม .)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก. /ม.^{3})	ลักษณะของก้อนตัวอย่างเมื่อตัดเสร็จ
9.4	5.80	9.3	946	2403	ที่ขอบมีรอยแตกเล็กน้อย
9.5	5.90	9.3	965	2409	มีรอยตัดที่ไม่เท่ากัน
10.1	5.60	9.3	906	2382	เรียบดี แต่เอียงนิดหน่อย
10.2	5.90	9.3	955	2384	เรียบใช้ได้
10.3	5.80	9.3	932	2366	รอยแตกเล็กน้อยด้านหนึ่ง
10.4	5.80	9.3	934	2373	เรียบดี
10.5	5.70	9.3	930	2402	ไม่ค่อยเรียบ เอียงเล็กน้อย
11.1	5.60	9.3	908	2389	เรียบดี แต่เอียงนิดหน่อย
11.2	5.70	9.3	917	2370	เรียบดี
11.3	5.80	9.3	940	2387	รอยแตกเล็กน้อยด้านหนึ่ง
11.4	5.80	9.3	950	2412	เรียบใช้ได้
11.5	5.80	9.3	957	2429	ไม่ค่อยเรียบ เอียงประมาณ 1.23 องศา
12.1	5.80	9.3	924	2347	มีรอยตัดไม่เท่ากัน
12.2	5.60	9.3	916	2408	ที่ขอบมีรอยปูดด้านหนึ่งและอีกด้านมีรอยแตกเล็กน้อย
12.3	5.70	9.3	920	2376	เรียบด้านหนึ่งและอีกด้านหนึ่งเรียบแต่เอียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1. ลักษณะของก้อนตัวอย่างหลังตัดเสร็จ (ต่อ)

ก้อนตัวอย่าง (วัดจากระดับบนลงล่าง)	ความสูง (ซม.)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม .)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก. /ม.^{3})	ลักษณะของก้อนตัวอย่างเมื่อตัดเสร็จ
12.4	5.70	9.3	939	2427	เรียบใช้ได้
12.5	5.90	9.3	956	2386	รอยแตกเล็กน้อยด้านหนึ่ง
13.1	5.70	9.3	911	2354	ไม่ค่อยเรียบ เอียงเล็กน้อย
13.2	5.80	9.3	939	2384	มีรอยแตกเยอะพอสมควร
13.3	5.60	9.3	920	2419	เรียบด้านหนึ่ง อีกด้านมีรอยแตกตรงขอบเล็กน้อย
13.4	5.70	9.3	961	2483	ขูรขระเล็กน้อย
13.5	5.80	9.3	958	2434	เอียงประมาณ 2.46 องศา
14.1	5.60	9.3	908	2389	เรียบดี
14.2	5.60	9.3	914	2404	เรียบดี
14.3	5.70	9.3	928	2399	เรียบดี
14.4	5.80	9.3	952	2418	เรียบดี
14.5	5.80	9.3	950	2413	เรียบดีแต่เอียงเล็กน้อย
15.1	5.80	9.3	932	2368	เอียงด้านหนึ่งประมาณ 1.84 องศา
15.2	5.70	9.3	920	2376	ด้านหนึ่งมีรอยแตกตรงกลาง อีกด้านมีรอยตัดไม่เท่ากัน
15.3	5.80	9.3	939	2385	มีรอยแตกด้านหนึ่งเล็กน้อย
15.4	5.60	9.3	912	2399	เรียบดี
15.5	5.90	9.3	977	2440	เอียงประมาณ 2.46 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. ผลการทดลองตามหัวข้อ 3.1.2.

ตารางที่ 4.2. ผลการทดลองการหาค่าปริมาณความชื้น

ชั้น	ความสูง (ซม.)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม^3)	น้ำหนักหลังอบแล้ว (กรัม)	น้ำหนักที่หายไป (กรัม)	% ของน้ำที่ระเหยไปต่อน้ำหนักของคอนกรีต	กำลัง (กก./ซม^2)
1.1	5.75	8.30	739	2374	680	59	7.98	259
1.2	5.80	8.30	744	2370	694	50	6.72	255
1.3	5.75	8.30	750	2410	729	21	2.80	230
1.4	5.80	8.30	758	2414	743	15	1.98	245
1.5	5.70	8.30	762	2470	749	13	1.71	253
2.1	5.70	8.30	744	2411	687	57	7.66	228
2.2	5.75	8.30	750	2410	705	45	6.00	234
2.3	5.75	8.30	755	2426	735	20	2.65	229
2.4	5.70	8.30	758	2457	747	11	1.45	248
2.5	5.80	8.30	761	2424	751	10	1.31	250
3.1	5.70	8.30	747	2421	689	58	7.76	240
3.2	5.80	8.30	755	2405	707	48	6.36	241
3.3	5.80	8.30	760	2421	741	19	2.50	237
3.4	5.75	8.30	762	2448	748	14	1.84	247
3.5	5.80	8.30	761	2424	751	10	1.31	260

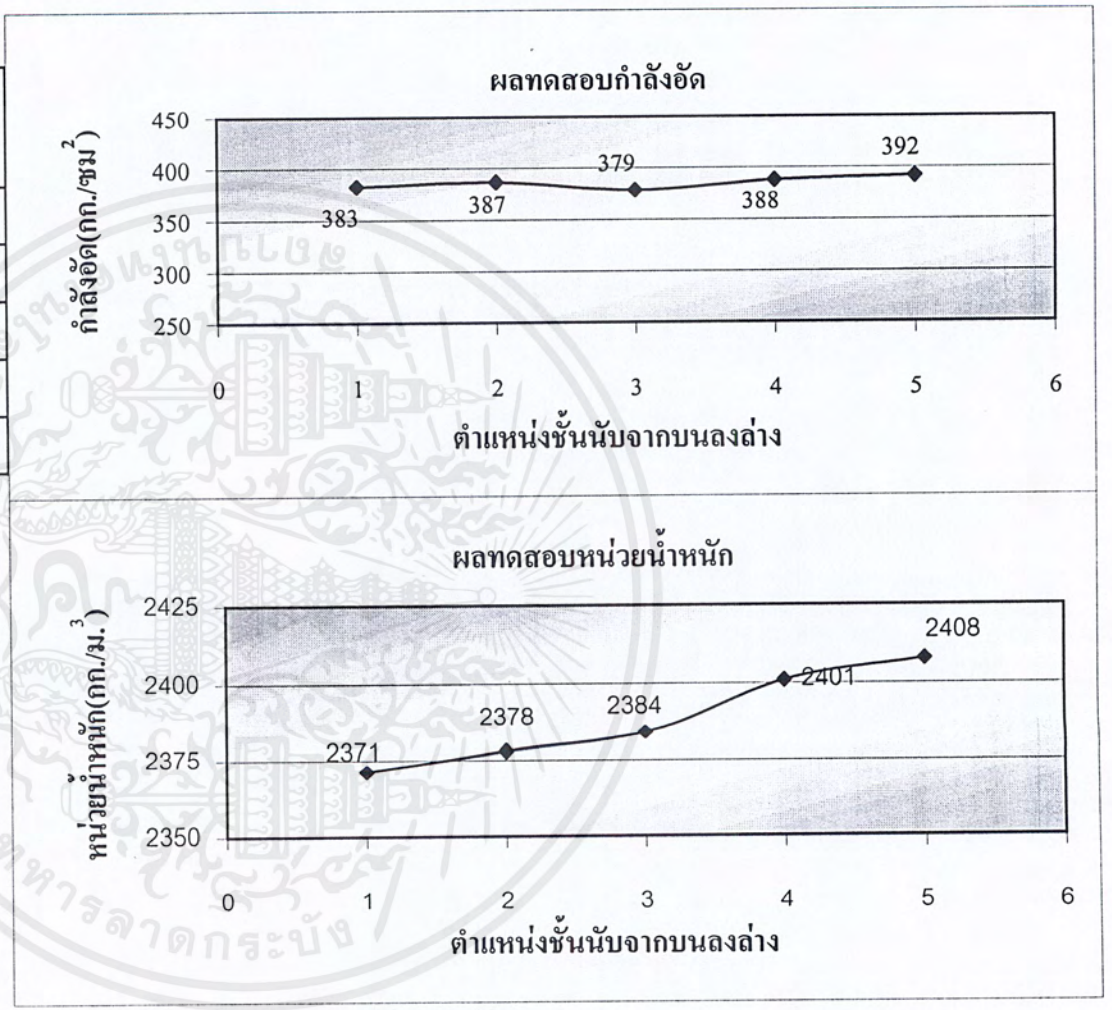
ตารางที่ 4.2. ผลการทดลองการหาค่าปริมาณความชื้น (ต่อ)

ชั้น	ความสูง (ซม.)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม^3)	น้ำหนักหลังอบแล้ว (กรัม)	น้ำหนักที่หายไป (กรัม)	% ของน้ำที่ระเหยไปต่อน้ำหนักของคอนกรีต	กำลัง (กก./ซม^2)
4.1	5.80	8.30	751	2392	694	57	7.59	247
4.2	5.75	8.30	753	2419	708	45	5.98	251
4.3	5.70	8.30	752	2437	731	21	2.79	239
4.4	5.80	8.30	755	2405	742	13	1.72	245
4.5	5.75	8.30	762	2448	751	11	1.44	252
5.1	5.70	8.30	753	2441	696	57	7.57	232
5.2	5.75	8.30	755	2426	709	46	6.09	239
5.3	5.80	8.30	760	2421	738	22	2.89	244
5.4	5.75	8.30	763	2452	753	10	1.31	241
5.5	5.70	8.30	766	2483	760	6	0.78	263
6.1	5.70	8.30	750	2431	692	58	7.73	235
6.2	5.75	8.30	756	2429	707	49	6.48	243
6.3	5.80	8.30	755	2405	731	24	3.18	238
6.4	5.75	8.30	761	2445	745	16	2.10	250
6.5	5.80	8.30	766	2440	753	13	1.70	255

ตารางที่ 4.2. ผลการทดลองการหาค่าปริมาณความชื้น (ต่อ)

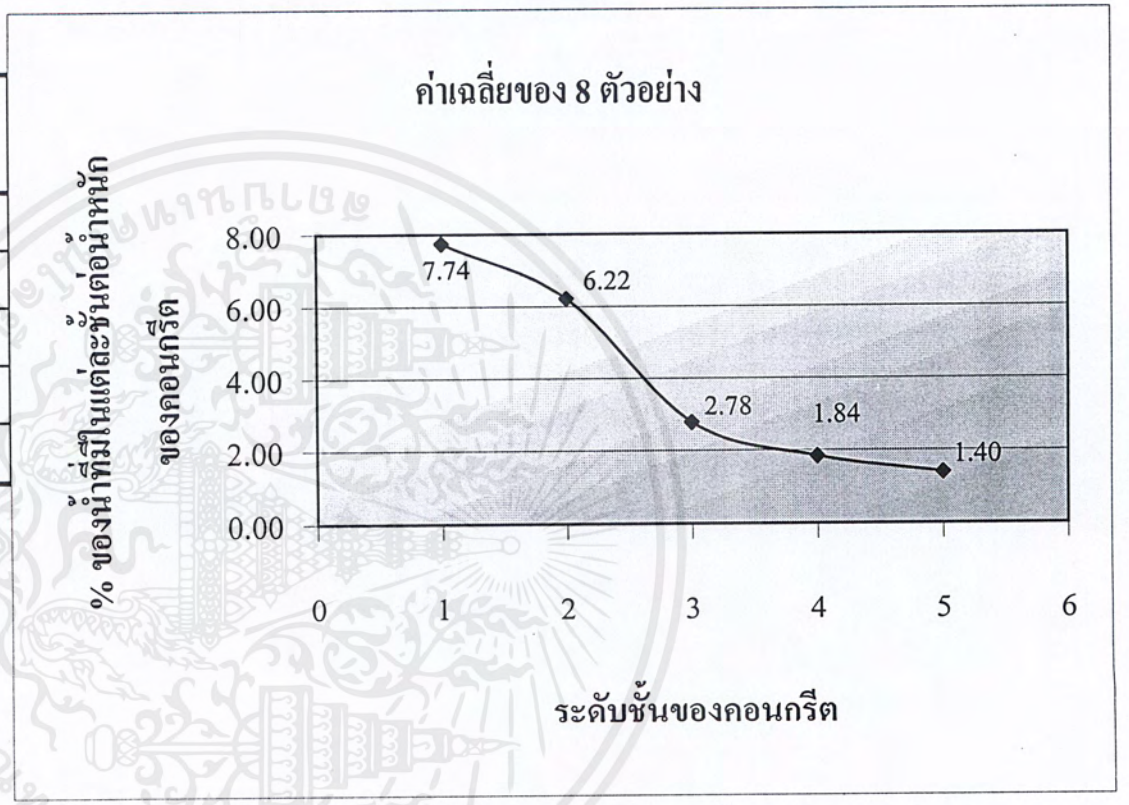
ชั้น	ความสูง (ซม.)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม^3)	น้ำหนักหลังอบแล้ว (กรัม)	น้ำหนักที่หายไป (กรัม)	% ของน้ำที่ระเหยไปต่อน้ำหนักของคอนกรีต	กำลัง (กก./ซม^2)
7.1	5.75	8.30	750	2410	691	59	7.87	240
7.2	5.75	8.30	755	2426	708	47	6.23	243
7.3	5.70	8.30	750	2431	731	19	2.53	221
7.4	5.80	8.30	764	2434	748	16	2.09	240
7.5	5.70	8.30	758	2457	749	9	1.19	252
8.1	5.70	8.30	751	2434	693	58	7.72	241
8.2	5.75	8.30	758	2435	713	45	5.94	246
8.3	5.80	8.30	765	2437	743	22	2.88	234
8.4	5.75	8.30	761	2445	744	17	2.23	250
8.5	5.70	8.30	758	2457	745	13	1.72	258

ตำแหน่งชั้นนับจากบนลงล่าง	กำลังอัด (กก./ซม.^{2})	หน่วยน้ำหนัก (กก.ม.^{3})
1 (0-6 ซม.)	383	2371
2 (6-12 ซม.)	387	2378
3 (12-18 ซม.)	379	2384
4 (18-24 ซม.)	388	2401
5 (24-30 ซม.)	392	2408



รูปที่ 4.1. ผลการทดสอบกำลังของค่าเฉลี่ย 15 ตัวอย่าง

ชั้นที่ (จากผิว)	% ของน้ำที่มีในแต่ละชั้นต่อน้ำหนักของคอนกรีต
1 (0-6 ซม)	7.74
2 (6-12ซม)	6.22
3 (12-18 ซม.)	2.78
4 (18-24 ซม.)	1.84
5 (24-30 ซม.)	1.40



รูปที่ 4.2. ผลการทดสอบค่าเปอร์เซนต์ของน้ำที่มีแต่ละชั้นต่อน้ำหนักคอนกรีต

บทที่ 5
วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1. กล่าวนำ

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของคอนกรีต คือ ความสามารถต้านต่อแรงอัดหรือกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความผันแปรตลอดเวลา ถึงแม้ว่าจะนำคอนกรีตชุดเดียวกันที่ผสมเรียบร้อยแล้วมาทำก้อนตัวอย่าง และนำมาทดสอบที่อายุเดียวกัน ด้วยวิธีการที่เหมือนกันทั้งหมดก็จะพบว่ากำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่ได้นี้ จะมีค่าแตกต่างกัน ไม่มีผลทดสอบใดที่ได้ค่าเท่ากันพอดีเลยรวมทั้งถ้าเราแบ่งก้อนตัวอย่างออกเป็นส่วนย่อย ๆ กำลังอัดในแต่ละส่วนก็จะมีค่าแตกต่างกันไปด้วย จากการทดลองหาคุณสมบัติด้านต่างๆ ของแท่งคอนกรีตที่ตัดออกมาทดสอบเป็นชั้นๆได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 5.1. แสดงผลการทดลองค่าเฉลี่ยของความหนาแน่น, ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักน้ำในคอนกรีตเทียบกับน้ำหนักคอนกรีตและค่าเฉลี่ยกำลังอัดคอนกรีต

ตำแหน่งชั้น	ความหนาแน่น (kg./m.^{3})	นน.น้ำในคอนกรีตเทียบกับนน.คอนกรีต (%)	ค่ากำลังอัดคอนกรีต (ksc.)
ชั้นที่1 (0-6 ซม.จากผิวบน)	2371	7.74	383
ชั้นที่2 (6-12 ซม.จากผิวบน)	2378	6.22	387
ชั้นที่3 (12-18 ซม.จากผิวบน)	2384	2.78	379
ชั้นที่4 (18-24 ซม.จากผิวบน)	2401	1.84	388
ชั้นที่5 (24-30 ซม.จากผิวบน)	2408	1.4	392

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2. วิเคราะห์ผลการทดลอง

ความผันแปรของกำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้างที่เกิดขึ้น อาจเนื่องจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง หรืออาจเป็นการผสมกันของหลาย ๆ สาเหตุ ซึ่งสาเหตุที่สำคัญและมีผลอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีตในแต่ละชั้นที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ผลการทดลองจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

5.2.1. ผลเนื่องจากความหนาแน่นของคอนกรีตแต่ละชั้น

จากผลการทดลองในตารางจะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเรียงลำดับจากชั้นบนลงล่าง เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากคอนกรีตเป็นวัสดุผสมที่เกิดจากการนำปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยามาผสมกัน ในสภาพคอนกรีตสดหินที่อยู่ในส่วนผสมนั้นจะถูกพยุงไม่ให้เกิดการแยกตัวด้วยมอร์ต้า แต่อย่างไรก็ตามผลจากแรงดึงดูดของโลกและการจี้เขย่าเข้าแบบ ไม่เพียงแต่ส่งผลให้หินทรายจมตัวลงแต่รวมไปถึงเม็ดปูนซีเมนต์ด้วย ดังนั้น หิน ทราย และเม็ดปูนซีเมนต์ จะจมตัวลงในเนื้อคอนกรีตสด จนกระทั่งแรงต้านทานการจมตัวลงมากกว่าน้ำหนักของหิน ทราย เม็ดปูนซีเมนต์ และ เมื่ออนุภาคของหิน ทรายที่จมมาสัมผัสกันจนเป็นเครือข่าย ผลก็คือ

1. ในชั้นล่างๆจะมีความหนาแน่นมากกว่าคอนกรีตที่อยู่ชั้นบนๆ ขึ้นไป ด้วยเหตุผลที่หิน ทรายและเม็ดปูนซีเมนต์จมตัวลงในเนื้อคอนกรีตสด ซึ่งค่าความหนาแน่นของคอนกรีต แปรผันตรงกับค่ากำลังอัดของคอนกรีตพิจารณาได้จากรูป 2.20.

2. ทำให้เกิดความผันแปรในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของส่วนผสม โดยด้านล่างของโครงสร้าง จะมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำสุด และจะสูงสุดที่ส่วนบน นั่นคือ เกิดความไม่สม่ำเสมอในกำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้าง ดังแสดงในรูป 2.19.

จะพบว่าจากผลการทดลอง ค่าความหนาแน่นและค่ากำลังอัดในตารางมีผลสอดคล้องกัน แต่ก็ยังมีผลที่ดูแล้วไม่สอดคล้องก็คือค่ากำลังอัดของคอนกรีตในชั้นที่3 ที่มีค่าน้อยกว่าชั้นที่1 กับชั้นที่2 เพราะว่ายังมีอีกปัจจัยที่สำคัญต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตซึ่งก็คือการซึมผ่านของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2. ผลเนื่องจากการเยิ้ม

จากการสังเกตุแท่งตัวอย่างคอนกรีตชั้นที่ 1 ที่ตัดเรียบร้อยแล้วจะเห็นว่าที่ผิวของชั้นที่ 1 มีลักษณะผิวไม่เรียบเป็นฝุ่นๆ ซึ่งเกิดจากผลของการเยิ้ม การเยิ้ม คือการคายน้ำจากส่วนผสมคอนกรีตสดซึ่งเกิดขึ้นหลังจากการจี้เขย่าคอนกรีตเข้าแบบแล้ว ลักษณะสำคัญคือจะมีน้ำบางส่วนที่ลอยตัวขึ้นมาอยู่ที่ผิวหน้าของคอนกรีตสดเนื่องจากองค์ประกอบที่เป็นของแข็งในส่วนผสมจมตัวลงและดันน้ำที่เป็นองค์ประกอบที่เบาที่สุดให้ลอยตัวขึ้น การเยิ้มจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีต ผิวด้านบนของคอนกรีตมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วมีแนวโน้มที่จะเกิดการเป็นฝุ่นที่ผิว (Dusting) ดูรูปที่ 2.17 จากผลการทดสอบจะเห็นว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตชั้นที่ 1 มีค่าน้อยกว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตชั้นที่ 2 ดังนั้นนอกจากเหตุผลด้านความหนาแน่นที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.2.1. อีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตชั้นที่ 1 น้อยกว่าค่าที่ควรจะเป็นก็คือผลเนื่องจากการเยิ้มนั่นเอง

5.2.3. ผลเนื่องจากการบ่มและการซึมผ่านได้ของน้ำ

จากผลการทดลองที่แสดงไว้ในตารางค่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเนื้อคอนกรีตมีค่าค่อนข้างมากในชั้นบนและจะลดลงเรื่อยๆในชั้นต่อๆมา เหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากความซึมผ่านได้ของน้ำซึ่งก็คือ ความสะดวกหรือง่ายต่อการที่น้ำสามารถซึมผ่านคอนกรีต สำหรับคอนกรีตที่ใช้หินทั่วๆไป ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำจะเป็นผลต่อเนื่องมาจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ดังรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นว่า ณ ความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่กำหนดความสามารถซึมผ่านได้จะต่ำสำหรับเพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ ซึ่งช่องทางไหลของน้ำจะถูกแบ่งหรือทำให้แยกออกไม่ต่อเนื่องกัน ในส่วนผสมที่กำหนด W/C ความสามารถซึมผ่านจะลดลงถ้าปูนซีเมนต์มีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.15

เมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำที่แสดงไว้ในตารางจะเห็นว่าปริมาณน้ำจะลดลงเรื่อยๆแสดงว่าจากการทดลองที่ได้ทำการขังน้ำไว้เพื่อทำการบ่มนั้น มีน้ำบางส่วนสามารถไหลซึมผ่านเนื้อคอนกรีตลงมาได้ แต่เนื่องจากการซึมผ่านของน้ำเป็นไปอย่างช้าๆขณะที่อายุของคอนกรีตก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆทุกวัน ทำให้ปริมาณการไหลซึมผ่านของน้ำมีค่าลดน้อยลงเรื่อยๆเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยภาพรวมจะเห็นว่าคอนกรีตชั้นที่อ่อนแอที่สุดก็คือชั้นที่ 3 ถ้าพิจารณาถึงความหนาแน่นอย่างเดียวเป็นหลักคอนกรีตชั้นที่3ก็น่าจะมีกำลังอัดมากกว่าชั้นที่1กับชั้นที่2ด้วย แต่โดยความเป็นจริงถึงแม้ว่าในคอนกรีต 2 ชั้นบนจะมีความหนาแน่นน้อยมีช่องว่างอากาศมากแต่ก็ได้ผลจากการซึมได้ของน้ำมาเป็นตัวเสริมให้คอนกรีต 2 ชั้นนี้ทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้สมบูรณ์ขึ้นมีส่วนช่วยทำให้กำลังอัดมากขึ้น ส่วนใน 2 ชั้นล่างแม้การซึมผ่านของน้ำจะไม่ได้ส่งผลช่วยอะไรมากนักแต่ด้วยความแน่นตัวของเนื้อคอนกรีตที่มีค่ามากกว่าชั้นบนๆจึงทำให้คอนกรีต 2 ชั้นล่างมีค่ากำลังอัดที่สูง ดังนั้นเนื่องจากชั้นที่ 3 เป็นชั้นที่ อยู่ช่วงกลางได้รับผลจาการซึมผ่านของน้ำน้อยอีกทั้งความหนาแน่นก็ไม่ได้มีค่าแตกต่างกับ 2 ชั้นบนมากนักจึงเป็นผลทำให้ชั้นที่ 3 มีค่ากำลังอัดน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

6.1. สรุปผลการทดลอง

1. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ระดับล่างและบนจะมีค่าสูง เนื่องจากชั้นระดับล่าง ๆ มีค่า ความหนาแน่นมากถึงแม้ว่าจะไม่ค่อยได้รับอิทธิพลจากการบ่ม
2. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ระดับชั้นกลางจะมีค่าต่ำ เนื่องจากระดับชั้นกลางแม้ว่าจะมีความหนาแน่นสูงกว่าชั้นบน ๆ แต่ว่าจะได้รับอิทธิพลจากการบ่มน้อยกว่าชั้นบน ๆ
3. กำลังอัดที่ได้ของแต่ละชั้นถ้านำมาเปรียบเทียบกันแล้วจะมีความแตกต่างกันน้อยมาก (กำลังอัดประลัยสูงสุดเทียบกับต่ำสุดแล้วมีค่าต่างกันประมาณ 3%)

6.2. ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบของทางภาควิชาวิศวกรรมโยธาเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นได้มีการเจาะพื้นมาตรวจสอบกำลังซึ่งผลที่ได้นั้นที่ระดับล่างจะมีค่ากำลังต่ำ แต่จากการทดลองที่ได้นั้นที่ระดับล่างมีค่าสูงสุด แสดงให้เห็นได้ว่า ที่หน้างานมีค่า error เกิดขึ้นจากแรงงานที่ไม่ระมัดระวัง การเทคอนกรีต, จี้คอนกรีตและบ่มให้ดีกำลังที่ได้ที่ระดับล่างก็ไม่น่าจะต่ำมากเพราะฉะนั้น ถ้ามีการควบคุมการเทคอนกรีตให้ดีและมีการบ่มที่เพียงพอ ก็จะทำให้กำลังอัดที่ได้มีค่าสูงขึ้น แต่ก็คำนึงถึงงบประมาณและระยะเวลาควบคู่กันไปด้วยว่ามีความคุ้มค่าหรือไม่

จากผลการทดลองที่ได้ทางผู้ประพันธ์เสนอว่าควรที่จะทำการทดลองเพิ่มเติมคือ ทำการทดสอบกำลังอัดของพื้นคอนกรีตที่ได้รับการบ่มที่ระยะเวลา 7 วัน เปรียบเทียบกับพื้นคอนกรีตที่ไม่ได้รับการบ่มเลย เพื่อหาค่าแตกต่างของกำลังอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร,2536. คอนกรีตเทคโนโลยี . พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพ : สำนักพิมพ์เดอะพริ้นท์อินเตอร์เนชั่นแนล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- คู่มือการตรวจสอบคอนกรีตของสมาคมคอนกรีตอเมริกัน
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2539. หนังสือคอนกรีตเทคโนโลยี. บริษัท ผลัตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 4
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536. คอนกรีตเทคโนโลยี . พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพ : สำนักพิมพ์เดอะพริ้นท์ อินเตอร์เนชั่นแนล.
- วินิต ช่อวิเชียร ,2539. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 8
- The Aggreate Handbook , Richard D. Barksdale , Nationnal Stone Association , Washington USA. 1991
- Concrete Technology , Volume 1,2,3, D.F. Orchard , Applied Science Publishers Ltd , London
- A.C.I. Manual of Concrete Inspection (American Concrete Institue 1967 , 5th Edition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการรับกำลังของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบนี้มีการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ แต่จะกล่าวเฉพาะที่สำคัญเท่านั้นซึ่งมีเพียงอย่างเดียวคือเครื่อง UTM

1. เครื่องทดสอบคุณสมบัติวัสดุ (UNIVERSAL TESTING MACHINE) ของ INSTRON MODEL 8505

การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุอุตสาหกรรมในห้องปฏิบัติการ จะเป็นเครื่องทดสอบที่ได้มาตรฐานเครื่องทดสอบมีหลายชนิดแตกต่างกันออกไป บางชนิดมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ราคาแพง บางชนิดมีประสิทธิภาพต่ำ ราคาถูกขึ้นอยู่กับความต้องการของการทดสอบ รวมถึงขนาดรูปร่าง มีความเหมาะสมหรือไม่ ในปัจจุบันนี้เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสามารถแบ่งได้เป็นแบบอนาลอก (Analog) และแบบดิจิตอล (Digital) แต่ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้เครื่องทดสอบประเภทดิจิตัลมีประสิทธิภาพในการทำงานมากกว่าแบบอนาลอกมาก เพราะว่าสามารถพัฒนาเข้ากับระบบคอมพิวเตอร์ได้ และถูกออกแบบให้ทดสอบได้หลาย ๆ การทดสอบในเครื่องเดียว

เครื่อง UTM ของ INSTRON MODEL 8505 มี LOAD CAPACITY สำหรับการทดสอบ STATIC สูงสุด 2000 kN และสำหรับการทดสอบ DYNAMIC สูงสุด 1000 kN โดยอาศัยการทำงานของระบบไฮดรอริก (HYDRAULIC SYSTEM) และควบคุมการทำงานของเครื่องด้วยอิเล็กทรอนิกส์ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เครื่อง UTM ของ INSRON MODEL 8505 นับเป็นเครื่องที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพในการทดสอบวัสดุมากที่สุดในประเทศไทยขณะนี้

วัตถุประสงค์การใช้งาน

เครื่องทดสอบคุณสมบัติวัสดุ (Universal Testing Machine) ของ INSRON MODEL 8505 เป็นเครื่องทดสอบวัสดุที่มีความทันสมัยอาศัยการควบคุมการทำงานผ่านทางระบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบคอมพิวเตอร์ และถูกออกแบบไห้สามารถทดสอบได้หลาย ๆ การทดสอบในเครื่องเดียว ซึ่งจะใช้เครื่อง UTM เข้ากับการทดสอบได้ 3 วิธีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Static load test เป็นการทดสอบโดยให้แรงที่กระทำอยู่คงที่ เช่น การทดสอบความแข็งแรง (Hardness test) การทดสอบความเค้น (Stress test) เป็นต้น
2. Dynamic load test เป็นการทดสอบโดยให้แรงที่กระทำสามารถเคลื่อนที่ เช่น การทดสอบการกระแทก (Impact test) เป็นต้น
3. Cyclic load test เป็นการทดสอบโดยให้แรงที่กระทำ ๆ เป็นจังหวะ เช่น การทดสอบความล้า (Fatigue test) เป็นต้น

เครื่องทดสอบคุณสมบัติวัสดุ (UTM) เป็นเครื่องที่มุ่งการทดสอบวัสดุแบบทำลายซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอุตสาหกรรม โดยสามารถทำการทดสอบถึงคุณสมบัติดังต่อไปนี้ได้

- ความแข็งแรงต่อการดึง (Tensile strength)
- ความแข็งแรงต่อการอัด (Compressive strength)
- ความแข็งแรงต่อการเฉือน (Shear strength)
- ความต้านทานการล้า (Fatigue resistance)
- ความต้านทานการแตกร้าว (Crack growth resistance)
- ลักษณะการโค้งงอ (Bend characteristic) ฯลฯ

นอกจากนี้ยังสามารถทดสอบวัสดุได้ทั้งประเภทโลหะและอโลหะ เช่น โลหะพวกเหล็ก และไม่ใช่เหล็ก, เซรามิก, คอนกรีต, ไม้, อิฐ หรือวัสดุจำพวกสิ่งทอก็ได้

ส่วนประกอบหลักของเครื่อง UTM ของ INSTRON MODEL 8505

เครื่องมือทดสอบวัสดุ UTM เป็นเครื่องมือที่มีความสามารถในการทดสอบสูงและมีการทำงานของเครื่องที่สลับซับซ้อน ต้องอาศัยส่วนต่าง ๆ ของเครื่องเชื่อมต่อเข้าด้วยกันจึงจะสามารถทำงานได้ ซึ่งเราสามารถแบ่งส่วนประกอบหลักของเครื่องได้ 7 อย่างคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. HYDRAULIC PUMP

Hydraulic pump เป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญเป็นอันดับแรกของเครื่อง UTM เพราะจะเป็นแหล่งจ่ายน้ำมันเข้าสู่ตัวเครื่อง UTM ให้สามารถทำงานได้ ซึ่งเครื่อง UTM (INSTRON MODEL 8505) ต้องอาศัยหลักการทำงานของระบบไฮดรอริกเป็นแกนหลักในการทำงานโดยจะจ่ายน้ำมันเข้าสู่ส่วนของ Actuator เพื่อให้เกิดความดันขึ้นที่ Actuator

2. LOAD FRAME

Load frame เป็นโครงสร้างหลักของเครื่อง UTM ซึ่งโครงสร้างนี้ต้องมีความแข็งแกร่งสูงเพื่อรองรับแรงปฏิกิริยาที่เกิดจากแรงการทดสอบ และ Load frame จะเป็นตัวโครงสร้างที่จะนำเอา Actuator และ Load cell มาติดตั้งเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ในส่วนของ Load frame จะประกอบไปด้วย

- ฐานรองรับ (Support base)
- แท่นวาง (Table)
- ครอสเฮด (Crosshead)
- เสาเหล็ก 4 ต้น (Four steel column)
- กระบอกลิฟต์ (Lift cylinder)
- เครื่องหนีบยึด (Clamp)

ส่วนประกอบดังกล่าวจะเข้าร่วมด้วยกันเป็น load frame โดยที่แท่นวาง (table) จะวางอยู่บนเสาเหล็กทั้ง 4 ต้น ซึ่งเป็นเสาทรงกระบอกในแนวดิ่ง ครอสเฮด (crosshead) จะถูกยึดอยู่กับที่ในระหว่างการทดสอบวัสดุด้วยการใช้ตัวหนีบยึด (clamp) ทำการยึดครอสเฮดให้ติดอยู่กับเสาเหล็กทำให้เคลื่อนที่ไม่ได้ แต่ก็สามารถเคลื่อนที่ได้ในกรณีที่ต้องการปรับระยะตำแหน่งของชิ้นงานวัสดุที่ทดสอบโดยการคลายการยึดตัวหนีบยึด

3. ACTUATOR

Actuator เป็นส่วนที่ทำหน้าที่คล้ายกระบอกสูบโดยจะมีน้ำมันจาก hydraulic pump จ่ายเข้ามาใน actuator ซึ่งน้ำมันที่ถูกจ่ายเข้ามาจะเป็นตัวขับเคลื่อนให้ actuator เกิดระบบของการให้น้ำหนักที่จะกระทำต่อวัสดุทดสอบ และภายในของ actuator จะมีลูกสูบที่เลื่อนขึ้นลงได้เนื่องจากใช้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันเป็นตัวขับดัน ซึ่งลูกสูบจะต่อกับวัสดุทดสอบ และภายในของ actuator จะมีลูกสูบที่เลื่อนขึ้นลงได้ เนื่องจากใช้น้ำมันเป็นตัวขับดัน ซึ่งลูกสูบจะเลื่อนขึ้นและลงได้เป็นระยะรวม 250 มิลลิเมตร ลูกสูบจะมีก้านสูบเชื่อมต่อกับ load cell อีกด้วย และ actuator จะสามารถทำให้เกิด load สูงสุด 2000 kN สำหรับการทดสอบแบบ STATIC ส่วนการทดสอบแบบ DYNAMIC สามารถทำให้เกิด load สูงสุด 1000 kN

4. LOAD CELL

Load cell เป็นส่วนที่มีหน้าที่วัดค่าแรงที่เกิดจาก actuator แล้วไปกะทำต่อวัสดุซึ่งค่าแรงนี้ load cell จะทำการอ่านแล้วเปลี่ยนคุณสมบัติเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ แล้วส่งต่อไปยังเครื่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ load cell ของเครื่อง UTM (INSTRON MODEL 8505) จะสามารถวัดค่าแรงได้สูงสุด 2000 kN สำหรับการทดสอบแบบ STATIC และวัดค่าแรงได้สูงสุด 1000 kN สำหรับการทดสอบแบบ DYNAMIC แต่ทั้งนี้ค่าแรงสูงสุดที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับ actuator ด้วยว่าสามารถทำให้เกิดแรงได้สูงสุดเท่าใน load cell จะถูกติดตั้งเข้ากับก้านสูบของ actuator ซึ่งอยู่ใต้ครอสเฮด (crosshead)

5. CONTROL SYSTEM

Control system เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากจะทำหน้าที่ในการควบคุมแล้วป้อนข้อมูลให้เครื่อง UTM ทำงานได้ ซึ่งถ้าระบบควบคุมนี้ถือว่าเป็นสมองของเครื่อง UTM เลยทีเดียว การทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นจะขึ้นอยู่กับระบบควบคุมนี้หมด ระบบควบคุมเครื่อง UTM สามารถแบ่งออกเป็น 5 ด้าน คือ

5.1. Mechanical control

การควบคุมด้านเครื่องจักรกลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

Control Hydraulic Pump การควบคุมการทำงานของ hydraulic pump ให้จ่ายน้ำมันเข้ามาที่ actuator และ lift cylinder โดยสามารถกดปุ่มปิดเปิดเครื่องที่แป้นควบครอสไฮดรอริกที่ติดอยู่ตรง load frame ได้เลย ไม่ต้องไปที่ hydraulic Pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control Actuator การควบคุมการทำงานของ actuator โดยทำการปรับลูกสูบที่อยู่ภายใน actuator ซึ่งมีก้านสูบต่ออยู่ให้ไปควบคุมตัวกดหรือดึงชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งตามที่ต้องการ

Control Crosshead การควบคุมการทำงานของ crossheadให้สามารถเลื่อนขึ้นลงตามการทำงานของ lift cylinder เพื่อที่จะปรับระยะตำแหน่งของชิ้นงานที่ทดสอบ และควบคุมการ Clamping ของ crosshead ด้วย

5.2. Electronics Control

การควบคุมด้านอิเล็กทรอนิกส์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

Tower console การทำงานของ tower console จะมีหน้าที่เหมือนกับ CPU ของคอมพิวเตอร์ทั่วไป ซึ่งส่วนประกอบทุกอย่างของเครื่อง UTM จะมีการเชื่อมต่อเข้ากับ Tower console เช่น load cell, actuator, hydraulic control lift & clamp เป็นต้น ทำให้การทำงานของส่วนประกอบของเครื่อง UTM ต้องได้รับข้อมูลหรือส่งข้อมูลผ่าน tower console เสียก่อนจึงจะทำงานได้

Front panel การทำงานของ front panel จะทำหน้าที่คล้ายกับเป็นจอ monitor ที่แสดงผลข้อมูลที่เกิดจากการทดสอบ เป็นทั้ง keyboard ที่จะให้ผู้ใช้เครื่อง UTM ป้อนข้อมูลของการทดสอบลงไปซึ่งข้อมูลที่ป้อนลงไปจะต้องไปผ่าน tower console ก่อน แล้วจึงจะส่งไปยังส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง UTM เช่นเดียวกัน ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบก็ต้องผ่าน tower console ก่อนแล้วจึงจะแสดงผลออกสู่ front panel และ front panel จะถูกเชื่อมสัญญาณต่อเข้ากับ tower console ด้วยซึ่ง front panel จะอยู่ส่วนบนของ tower console สรุปแล้ว front panel เป็นทั้งเครื่องแสดงผลการทดสอบและควบคุมการทดสอบด้วย

5.3. Computer software control

การควบคุมการทำงานของเครื่องด้วย ซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ซึ่งจะเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทดสอบวัสดุซึ่งจะทำงานบน Microsoft Windows ซึ่งตัวของโปรแกรมเองก็ต้องมีการเชื่อมต่อเข้ากับ tower console เช่นกัน ทำให้การส่งผ่านข้อมูลของโปรแกรมต้องมี tower console เป็นตัวกลาง เช่นเดียวกับ front panel แต่ตัวโปรแกรมนี้จะดีกว่า front panel ตรงที่มีความสะดวกในการใช้งานและข้อมูลที่ได้จากผลการทดสอบจะสามารถนำมาเขียนกราฟได้ และ print ออกมาเลยก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ front panel ไม่สามารถทำได้ นอกจากนี้ถ้าผู้ใช้ทำการทดสอบวัสดุในที่มีขั้นตอนทุกอย่างเหมือนเดิมก็สามารถทำเป็นไฟล์ข้อมูลแล้วเรียกใช้ทำการทดสอบได้เลยไม่ต้องมีการป้อนข้อมูลแต่ละขั้นตอนแบบซ้ำซากบน front panel

6. GRIPS

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการยึดจับชิ้นงานวัสดุที่จะทำการทดสอบแบบการดึง (tension) แต่กรณีที่ต้องการทดสอบการอัด (compression) ก็ไม่จำเป็นต้องเอา grip ออก เพียงแต่นำอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบชิ้นงานมาติดตั้งเข้ากับ grip ก็จะสามารถทำการทดสอบการอัดได้ และตัว grip จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ติดกับ load cell และที่ติดกับ table ซึ่ง grip แต่ละส่วนจะมีน้ำหนัก 850 kg

7. OTHER EQUIPMENT

เครื่องทดสอบ UTM (INSTRON MODEL 8505) ยังมีอุปกรณ์อย่างอื่นที่จะทำให้ระบบการทดสอบวัสดุเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะนำมาประกอบเข้ากับเครื่อง UTM แล้วต้องให้ถูกต้องกับลักษณะของงานที่จะทดสอบด้วย อุปกรณ์ดังกล่าวมีดังนี้

- Extemsometer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงงรูปร่างของชิ้นงานที่ทำการทดสอบซึ่งสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงในแกนเดียวหรือมากกว่าหนึ่งแกนก็ได้ และจะใช้เป็นตัวควบคุมการทดสอบภายใต้การควบคุม strain
- Compression platens เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบเข้ากับ grips ตัวบน ซึ่งเราจะใช้เป็นตัวกดวัสดุชิ้นงานในกรณีที่มีการทดสอบการกดอัด (compressive test) ซึ่งตัวของ compression platen จะมีค่าน้ำหนักกดได้สูงสุด 2000 kN ซึ่งจะสัมพันธ์กับ load ที่มาจาก actuator ด้วย
- Three point bending เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบเข้ากับ grips ตัวล่างซึ่งเราจะใช้เป็นตัวจานรองรับชิ้นงานที่มี span ยาวและทดสอบการรับแรงดัด (Bending test) ซึ่งตัว Three point bending นี้จะมีความยาวของ span จำกัด อยู่ที่ระยะ 60 เซนติเมตร เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ตามมาตรฐาน ACI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ขอบเขต

วิธีและหลักการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่จะได้กล่าวถึงต่อไปนี้ ใช้กับคอนกรีตปรกติทั่วไปที่ใช้ในโครงสร้างอาคาร และใช้สำหรับกำหนดให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานได้เหมาะสมกับสภาพการเทหรือหล่อในที่ (Cast – in – place consturction)

อย่างไรก็ตาม ถือว่าเป็นเพียงการประมาณอัตราส่วนในชั้นแรกเท่านั้น จำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบผลของอัตราส่วนนี้ จากห้องทดลองปฏิบัติการหรือในสนาม และมีการปรับปรุงตามความจำเป็นและเหมาะสมกับคุณสมบัติของคอนกรีตตามต้องการ

2. กล่าวนำ

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าคอนกรีตนั้น คือวัสดุผสมซึ่งมีวัสดุที่เป็นหลักอยู่ 3 ชนิดคือ ซีเมนต์มวลรวมคละ (หยาบและละเอียด) และน้ำ นอกจากนี้ยังอาจมีสิ่งอื่นเพิ่มเติมเข้ามาอีกได้ แล้วแต่ความต้องการ อาจจะเป็นการกระจายกักฟองอากาศหรือสารผสมเพิ่ม (Admixtures) ต่าง ๆ

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

3. ความสัมพันธ์ขั้นมูลฐาน

จากที่ได้กล่าวนำไปแล้ว ว่าการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมนั้น ข้อที่ควรคำนึงอีกประการหนึ่งนอกจากการประหยัดแล้ว ก็คือ ความสามารถในการทำงาน กำลัง ความคงทน สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน พอจะสรุปได้ย่อ ๆ ดังนี้

3.1. ความสามารถในการทำงาน

คำนี้ดูเหมือนจะให้คำจำกัดความลงไปอย่างแน่ชัดไม่ได้ โดยทั่วไปเรามุ่งถึงคอนกรีตที่สามารถจะทำได้ง่ายสำหรับการผสม การขนส่ง การเทลงในแบบหล่อ การอัดแน่น การตกแต่ง ตลอดจนความแข็งแรงของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. ความข้นเหนียว

กล่าวง่าย ๆ คือ ความเหลวหรือความเปียกของคอนกรีตสดนั่นเอง ความเหลวหรือความเปียกนี้สามารถตรวจสอบได้จากการยุบตัว คอนกรีตที่มีความยุบตัวสูงก็จะมีความเหลวมาก ความเหลวในที่นี้ไม่เกี่ยวกับคุณสมบัติความสามารถในการทำงานของคอนกรีต ในการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตนั้น ปริมาณน้ำที่จะใช้เป็นสิ่งสำคัญซึ่งขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์หลายประการ

3.3. ความคงทน

คอนกรีตที่ดีจะต้องมีความสามารถในการคงทนต่อสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ในขณะที่อยู่ในสภาวะกำลังใช้งาน อาจจะเป็นอากาศหนาวจัด ร้อนจัด ฝนตกหรือแดดออก หรือผลจากสารเคมี ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ควรมีการใช้สารผสมเพิ่ม เพื่อให้คอนกรีตเกิดความคงทนภายใต้สภาวะดังกล่าวให้กำหนดค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR) ต่ำ ๆ อาจมีส่วนช่วยยืดอายุคอนกรีตให้คงทนขึ้นได้มาก

3.4. ความหนาแน่น

คอนกรีตบางชนิดอาจมีความจำเป็นที่ต้องใช้คุณสมบัติจากน้ำหนักของตัวมันเอง ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุหรือความหนาแน่นก็ควรจะให้เป็นไปตามความต้องการ

4. มาตรฐานการออกแบบคอนกรีต

ดังที่ได้ทราบแล้วว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีความผันแปรเนื่องจากองค์ประกอบอื่น ๆ อีกมากมาย ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต จะต้องทำการทดสอบหาคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ เก็บรวบรวมข้อมูล นำข้อมูลมาวิเคราะห์และใช้หลักวิชาสถิติมาช่วยในการออกแบบ โดยจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดสูงกว่าที่ข้อกำหนดของงานกำหนดไว้ ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$f_{cr} = f_c' + ks \qquad (ผ.ข.1)$$

f_{cr} Target Mean Strength หรือกำลังอัดเฉลี่ยที่ผู้ผลิตคอนกรีตต้องผลิต

f_c' กำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ks ส่วนเผื่อ ซึ่งประกอบด้วยค่า

k คือ ค่าคงที่

s คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัด จากก้อนตัวอย่าง 30 ค่า หรือมากกว่า

ค่า k ในสมการนี้ได้มาจากหลักวิชาสถิติในเรื่องเกี่ยวกับการแจกแจงความถี่มาตรฐาน โดยค่า k จะเพิ่มขึ้นถ้าต้องการให้กำลังอัดต่ำกว่าที่ต้องการลดลง ดังแสดงค่าในตารางที่ 1.1

ตารางที่ ผ.ข.1. ค่าคงที่ k และร้อยละของกำลังอัดที่ต่ำกว่า f_c' (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

ค่าร้อยละของกำลังที่ต่ำกว่า f_c'	ค่า k
20	0.842
10	1.282
5	1.645
2.5	1.960
2	2.054
1	2.326
0	3.000

จากตาราง จะพบว่า ถ้ากำหนดให้ค่าร้อยละของกำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่ผลิตต่ำกว่า f_c' น้อยลงเรื่อย ๆ ผู้ผลิตต้องออกแบบให้มี " ส่วนเผื่อ " เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

ตามมาตรฐานทั่วไป ที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมคอนกรีตผู้ผลิตจะต้องออกแบบให้โอกาสที่กำลังอัดเฉลี่ยต่ำกว่ากำลังอัดที่ออกแบบไว้ไม่เกิน 5%

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจำเป็นต้องหาจากก้อนตัวอย่าง อย่างน้อย 30 ตัวอย่าง จึงจะให้ความเชื่อถือทางสถิติได้เพียงพอ แต่หากการทดสอบน้อยกว่าจำนวนนี้ก็อนุโลมให้ใช้ตัวคูณได้ตามที่กำหนดในตารางที่ ผ.ข.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.2 ตัวคูณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อจำนวนตัวอย่างน้อยกว่า 30 ค่า
(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

จำนวนตัวอย่าง	ตัวคูณสำหรับค่าเบี่ยงเบนตามมาตรฐาน
น้อยกว่า 15	ใช้ตารางที่ 1.3
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 หรือมากกว่า	1.00

ในกรณีที่ไม่มีผลการทดลองด้านกำลังอัด หรือมีผลน้อยกว่า 15 ค่า กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องผลิตจะต้องสูงกว่าค่ากำลังอัดที่กำหนด (f_c') เป็นจำนวนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่ากำลังอัดที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ ผ.ข.3

ตารางที่ ผ.ข.3. ส่วนเผื่อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังอัด (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

ค่ากำลังอัดที่กำหนด f_c'	กำลังอัดที่ต้องเพิ่ม
น้อยกว่า 210	70
210 – 350	85
350 หรือมากกว่า	100

การออกแบบตามมาตรฐานอเมริกา ในการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา ตามมาตรฐานอเมริกานี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบต้องทราบคุณสมบัติต่าง ๆ กล่าวคือ

ปูนซีเมนต์

- ความถ่วงจำเพาะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 188 แต่สามารถใช้ค่า 3.15 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่ว ๆ ไป

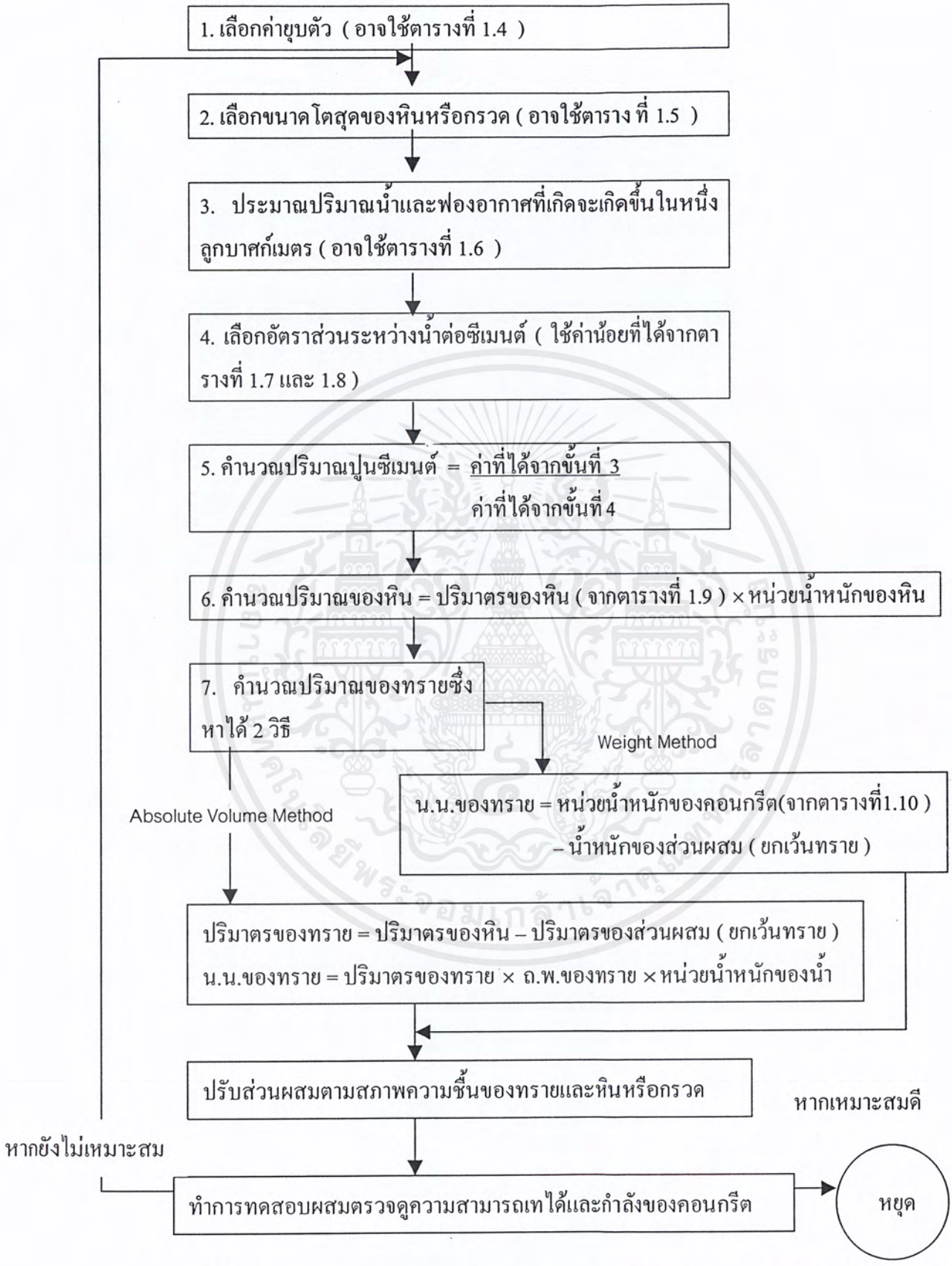
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลรวม

- ขนาดคละควรมีส่วนคละตามมาตรฐาน ASTM C 33
- ความถ่วงจำเพาะ ทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 128 หิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 127
- ความชื้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 70 และ ASTM C 566
- ความละเอียดของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 125
- หน่วยน้ำหนักของมวลรวม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 29

เมื่อทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว จึงจัดหาส่วนผสมของคอนกรีตตามขั้นตอนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ข.1. แผนภาพออกแบบสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา

(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ขั้นตอนการคำนวณ

ขั้นตอนสำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีต ในที่นี้ควรกระทำไปตามลำดับขั้นตอนที่กำหนดตามตารางด้านบนซึ่งข้อมูลสำหรับความจำเป็นเบื้องต้นเหล่านี้ มีหลักและวิธีการปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. การกำหนดค่ายุบตัว หากค่ายุบตัวไม่ได้กำหนดไว้ให้ในความต้องการของงาน อาจใช้ตารางที่ ผ.ข.1 ช่วยในการกำหนดได้ ค่ายุบตัวต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในตารางนี้ เป็นค่ายุบตัวสำหรับการเทคอนกรีตที่ใช้เครื่องจี้สั่นสะเทือนให้คอนกรีตแน่น และเป็นส่วนผสมที่มีความข้นเหนียวเหมาะสมแก่สภาพงานอย่างยิ่ง
2. การกำหนดขนาดโตสุดของมวลรวม มวลรวมคละที่มีขนาดเรียงประกอบด้วยขนาดใหญ่ที่มีจำนวนมาก ย่อมจะเกิดช่องว่างน้อยกว่ามวลรวมคละที่มีขนาดเรียงเม็ดเล็กๆ ทั้งนี้เพราะเมื่อคิดปริมาณคอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรแล้ว มวลรวมคละที่มีขนาดใหญ่ต้องการเนื้อปูนหรือมอร์ต้าน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม มีข้อกำหนดไว้ว่าขนาดของมวลรวมใหญ่สุดไม่เกิน 0.2 เท่า ของขนาดโครงสร้างที่แคบที่สุดหรือ 0.33 เท่าของความหนาแผ่นพื้นหรือ 0.75 เท่าของระยะต่ำสุดของเหล็กเสริมที่อยู่ในแนวเดียวกัน
3. การกำหนดปริมาณน้ำผสมและปริมาณอากาศ ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตในหนึ่งหน่วยปริมาตรที่จะทำให้เกิดค่ายุบตัวตามกำหนดในขั้นตอนแรกนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดโตสุด รูปทรงและขนาดเรียงของมวลรวมคละ และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณฟองอากาศอีกด้วยในตารางที่ ผ.ข.3 เป็นตารางที่ช่วยในการประมาณการของจำนวนน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตสำหรับมวลรวมคละขนาดต่าง ๆ ทั้งที่เป็นคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตกักฟองอากาศ เนื่องจากขนาดและรูปร่างของมวลรวมที่อาจวัดได้ไม่แน่นอน อาจทำให้ค่าในตารางที่ให้ไว้ผิดพลาดไปบ้างเล็กน้อย แต่ก็คิดว่าจะยังคงถูกต้องเพียงพอสำหรับใช้ในการประมาณขั้นแรกนี้ และจำนวนน้ำที่แตกต่างกัน จากความที่น่าจะเป็นจริงเพียงเล็กน้อยนี้ ไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของคอนกรีตเลย ทั้งนี้เพราะยังมีแฟคเตอร์อื่น ๆ อีกมากมายนักที่เกี่ยวข้อง
4. การเลือกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR) ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต้องการในการผสมคอนกรีตนั้น มิใช่เพียงเพื่อให้คอนกรีตเกิดกำลังความต้องการเท่านั้น แต่ยังเพื่อช่วยให้เกิดความคงทนและสามารถที่จะตกแต่งได้อีกด้วย จะเห็นว่าค่า WCR เดียวกันนี้อาจจะทำให้คอนกรีตกำลังแตกต่างกันได้ ถ้าใช้มวลรวมคละหรือประเภทของซีเมนต์ที่แตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้ควรจะได้ก่อให้เกิดการปรับปรุงหรือแก้ไขค่า WCR ให้สอดคล้องกันกับวัสดุที่นำมาใช้งานจริง ๆ สำหรับงานคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภท I โดยต้องการให้กำลังคอนกรีตเกิดที่ระดับต่าง ๆ นั้นจะดูได้จากตารางที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 (ก) ค่าในตารางเป็นค่าโดยประมาณของ WCR และกำลังคอนกรีตที่ระดับต่าง ๆ คิดจากคอนกรีตที่ได้รับการบ่มอย่างดีในห้องปฏิบัติการครบรอบ 28 วัน ซึ่งจากข้อความนี้แน่นอนเมื่อต้องการจะเลือกใช้ค่า WCR ในการทำงานจริง ๆ ควรเลือกใช้ค่า WCR ของกำลังคอนกรีตที่สูงกว่าต้องการไว้บ้าง ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ค่ากำลังเฉลี่ยในงานจริงต่ำกว่ากำหนด

5. การคำนวณปริมาณซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรนั้น ขึ้นอยู่กับค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ที่ผ่านมา โดยที่จำนวนซีเมนต์นี้จะเท่ากับจำนวนน้ำที่ใช้ผสม (ขั้นตอนที 3) หารด้วยค่า WCR (ขั้นตอนที่ 4)
6. การประมาณปริมาณมวลรวมหยาบ ปริมาณมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ของ คอนกรีต หาได้จากตารางที่ ผ.ข.5 คูณด้วยค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง ของมวลรวมซึ่งมีหน่วยเป็น kg/m^3 จะเห็นว่าสำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถในการทำงานที่เท่ากันนั้น ปริมาณของมวลรวมหยาบขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวมหยาบและค่า ของ มวลรวมละเอียดเท่านั้น
7. การประมาณปริมาณมวลรวมละเอียด การประมาณปริมาณมวลรวมละเอียดนั้นสามารถกระทำได้สองวิธีคือ วิธีน้ำหนัก หรือวิธีปริมาตร

ก. วิธีน้ำหนัก

เริ่มต้นจากน้ำหนักของคอนกรีตจะต้องถูกสมมุติขึ้นก่อน โดยอาจประมาณเอาจากประสบการณ์ จากนั้นน้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่ต้องการก็จะหาได้ง่าย จากการเอาน้ำหนักคอนกรีตสดหักออกจากน้ำหนักของวัสดุผสมต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตาม อาจใช้ตารางที่ 5 ช่วยในการประมาณน้ำหนักของคอนกรีตก็จะได้ค่าที่ใกล้เคียงขึ้น

สำหรับน้ำหนักคอนกรีตสด ถ้าต้องจะคำนวณให้ได้ค่าถูกต้องจริง ๆ จะหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$U_m = 10G_a(100 - A) + C_m\left(1 - \frac{G_a}{G_c}\right) - W_m(G_a - 1) \qquad \text{(ผ.ข.2)}$$

ซึ่ง U_M = น้ำหนักคอนกรีตสด kg/m

G_a = ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของมวลรวมคละ (หยาบ + ละเอียด)

G_C = ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ (ทั่วไปเท่ากับ 3.15)

A = ปริมาณอากาศ,%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W_m = ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับผสมคอนกรีต, kg/m

และ C_m = ปริมาณซีเมนต์,kg/m

ข. สำหรับวิธีปริมาตร

เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาปริมาณของมวลรวมละเอียดที่ได้ค่าแน่นอนซึ่งย่อมเกี่ยวข้องกับปริมาตรส่วนผสมต่าง ๆ ที่อยู่ในคอนกรีต ในที่นี้คือ น้ำ, อากาศ, ซีเมนต์และมวลรวมหยาบ นำปริมาตรเหล่านี้ไปหักออกจากปริมาตรของคอนกรีต ก็จะได้เป็นปริมาตรของมวลรวมละเอียด ปริมาตรของวัสดุต่าง ๆ ที่อยู่ในคอนกรีต อาจหาได้โดยเอาน้ำหนักหารด้วยความหนาแน่นของตัวมันเอง

8. การปรับค่าสำหรับความชื้นในมวลรวมคละ ปริมาณของมวลรวมคละที่ได้จากการชั่งน้ำหนักนั้น จะต้องอยู่ในขอบข่ายของความชื้นที่ยอมให้ได้ให้ในมวลรวมคละ โดยทั่วไปมวลรวมคละจะต้องมีความชื้น โดยจะมี%ของน้ำที่ถูกซึมและเคลือบผิวอยู่ ดังนั้น ปริมาณน้ำ ที่จะใส่เข้าไปผสมจะต้องลดลงตามจำนวนของความชื้นในมวลรวมคละ

6. ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา

จงหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับงานเทเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยต้องการกำลังอัดประลัยเฉลี่ยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วันเท่ากับ 250 ksc โดยให้โอกาสที่ก้อนตัวอย่างก้อนต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ได้ไม่เกิน 5 % (k = 1.645) และค่า s = 30 กก./ตร.ซม. กำหนดให้ใช้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีความถ่วงจำเพาะ 3.15 มวลรวมหยาบขนาดใหญ่สุด 20 มม. (¾ นิ้ว) มีความถ่วงจำเพาะ 2.7 ค่าการดูดซึม 0.5 % และมีหน่วยน้ำหนัก (แห้งและอัดแน่น) เป็น 1600 กก./ลูกบาศก์เมตร มวลรวมละเอียดมีความถ่วงจำเพาะ 2.6 ค่าการดูดซึม 0.7 % และมีโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.8

วิธีทำ ทำตามลำดับขั้นดังนี้

1. กำลังที่ต้องผลิต $= f_c' + ks$ $= 250 + (1.645 \times 30) = 300$ กก./ตร.ซม
2. จากข้อมูลในตารางที่ ผ.ข.1และแนวทางปฏิบัติทั่ว ๆ ไปเห็นว่าควรใช้ค่าความยุบตัว 8-10 ซม.
3. ข้อกำหนดให้ใช้ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากตารางที่ ผ.ข.3 เมื่อขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบเป็น 8-10 ซม. ไม่ต้องใช้สารกักกระจายฟองอากาศจะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ = 200 ลิตร/ลบ.เมตรของคอนกรีต
5. จากตารางที่ ผ.ข.4 สำหรับคอนกรีตที่ต้องการกำลัง 300 กก./ตร.ซม. จะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่ต้องใช้ = 0.55
6. ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ $= \frac{200}{0.55} = 364$ กก.
7. หาปริมาณของวัสดุผสมหยาบ จากตารางที่ ผ.ข.5 เมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดของวัสดุผสมละเอียดเท่ากับ 2.8 และขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มม. จะได้ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น = 0.62 ลบ.เมตร/ลบ.เมตรของคอนกรีต หน่วยน้ำหนักของหิน = 1600 กก./ลบ.เมตร ดังนั้นน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบที่ใช้ $= 0.62 \times 1600 = 992$ กก./ลบ.เมตร ของคอนกรีต
8. หาปริมาณของวัสดุผสมละเอียด

ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม :

ปริมาตรของน้ำ	$= \frac{200}{1000}$	$= 0.200$ ม.^{3}
ปริมาตรของ ซีเมนต์	$= \frac{364}{3.15 \times 1000}$	$= 0.116$ ม.^{3}
ปริมาตร มวลรวมหยาบ	$= \frac{992}{2.70 \times 1000}$	$= 0.367$ ม.^{3}
ปริมาตรของฟองอากาศ	$= 0.02 \times 1.0$	$= 0.020$ ม.^{3}
ดังนั้น ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย		$= 0.703$ ม.^{3}
ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้	$= 1 - 0.703$	$= 0.297$ ม.^{3}
น้ำหนักของทรายแห้ง	$= 0.297 \times 2.60 \times 1000$	$= 772$ กก.

ฉะนั้นคอนกรีต 1 ลบ.เมตร ต้องใช้

ซีเมนต์	= 364 กก.
น้ำ	= 200 กก.
วัสดุผสมหยาบ	= 992 กก.
วัสดุผสมละเอียด	= 772 กก.
รวมน้ำหนักทั้งหมด	= 2328 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.4. ค่ายุบตัวสำหรับงานประเภทต่าง ๆ(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , 2536)

ประเภทงาน	ค่ายุบตัว. cm	
	สูงสุด°	ต่ำสุด
ฐานราก ค.ส.ล.	5	2
ฐานรากคอนกรีตล้วน, เคซองและผนังกันดิน	6	2
คานและกำแพง ค.ส.ล.	10	2
เสา ค.ส.ล.	10	2
แผ่นพื้นและถนน	6	2
คอนกรีตขนาดใหญ่	6	2

อาจเพิ่มค่ายุบตัวได้อีก 3 ซม.หากใช้กรรมวิธีอื่นทำให้คอนกรีตแน่น นอกจากวิธีตามปรกติ

ตารางที่ ผ.ข.5. ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร ,2536)

ความหนาของโครงสร้าง (ซม.)	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม							
	คาน ผนัง และเสา คสล.		ผนังคอนกรีต ไม่เสริมเหล็ก		พื้น ถนน คสล. รับน้ำหนักมาก		พื้นคอนกรีต รับน้ำหนักน้อย	
	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5.0-15.0	½ -¾	12.5-20	¾	20	¾ -1	20-25	¾ -1 ½	20-40
15.0-30.0	¾ -1 ½	20-40	1 ½	40	1 ½	40	1 ½ -3	40-75
30.0-75.0	1 ½ -3	40-75	3	75	1 ½ -3	40-70	3	75
มากกว่า 75.0	1 ½ -3	40-75	6	150	1 ½ -3	40-75	3-6	75-150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.6. ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร ,2536)

ค่ายุบตัวของคอนกรีต (cm)	ปริมาณน้ำ, กก./ลบ,ม สำหรับคอนกรีตที่มีมวลรวมคละขนาดโตสุดเป็น (mm)							
	10	12.5	20	25	40	50	70	150
คอนกรีตธรรมดา								
3 ถึง 5	205	200	185	180	150	155	145	125
8 ถึง 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 ถึง 18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณอากาศที่เกิดในคอนกรีตธรรมดา,%	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ								
3 ถึง 5	180	175	165	150	145	140	135	120
8 ถึง 10	200	190	180	175	160	153	150	135
15 ถึง 18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณอากาศที่ควรให้มี,%	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

กำลังคอนกรีต คิดจากตัวอย่างทรงกระบอกขนาด ϕ 15 x 30 cm บ่มชื้นจนได้อายุ 28 วัน ที่ อุณหภูมิ 23 $\pm$ 1.7 $^{\circ}$C ถ้าเทียบกับตัวอย่างลูกบาศก์ค่าจะสูงกว่าประมาณ 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.7. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคอนกรีตกับอัตราส่วนของน้ำ – ซีเมนต์
(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร ,2536)

กำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน, กก./ตร.ซม*	อัตราส่วนน้ำ – ซีเมนต์โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตธรรมดา	คอนกรีตกระจายฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.48
250	0.62	0.55
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

ตารางที่ ผ.ข.8. ปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร ,2536)

หินขนาดโตสุด mm	ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของทรายที่มีค่าแห่งความละเอียดแตกต่างกัน			
	2.40	2.50	2.80	3.00
10	0.30	0.48	0.45	0.48
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.66	0.62	0.60
25	0.71	0.68	0.68	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.78	0.74	0.72
70	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

ค่าแห่งความละเอียดของทราย = ผลรวมของสัดส่วนสะสมที่ค้างบนตะแกรงขนาด 0.149, 0.297, 0.593, 1.78, 2.38, และ 4.76 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.9. น้ำหนักคอนกรีตสด (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร ,2536)

ขนาดโตสุดของหินที่ใช้ mm	น้ำหนักคอนกรีตสด, กก./ม^2	
	คอนกรีตธรรมดา	คอนกรีตกระจายฟองอากาศ
10	2285	2180
12.5	2318	2235
20	2355	2280
25	2375	2315
40	2420	2355
50	2445	2375
70	2485	2400
150	2506	2435

7. การออกแบบ ส่วนผสมคอนกรีต

หาสัดส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับงานเทเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยต้องการกำลังอัดประลัยเฉลี่ยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วันเท่ากับ 250 ksc โดยให้โอกาสที่ก้อนตัวอย่างก้อนต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ได้ไม่เกิน 5 % (k = 1.645) และค่า s = 30 กก./ตร.ซม. กำหนดให้ใช้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีความถ่วงจำเพาะ 3.15 มวลรวมหยาบขนาดใหญ่สุด 20 มม. (¾ นิ้ว) มีความถ่วงจำเพาะ 2.7 ค่าการดูดซึม 0.5 % และมีหน่วยน้ำหนัก (แห้งและอัดแน่น) เป็น 1600 กก./ลูกบาศก์เมตร มวลรวมละเอียดมีความถ่วงจำเพาะ 2.6 ค่าการดูดซึม 0.7 % และมีโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.8

วิธีทำ ทำตามลำดับขั้นดังนี้

1. กำลังที่ต้องผลิต $= f_c' + ks$ $= 210 + (1.645 \times 35) = 267$ กก./ตร.ซม
2. จากข้อมูลในตารางที่ ผ.ข.4 และแนวทางปฏิบัติทั่ว ๆ ไปเห็นว่าควรใช้ค่าความยุบตัว 8-10 ซม.
3. ข้อกำหนดให้ใช้ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มม.
4. จากตารางที่ ผ.ข.6 เมื่อขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบเป็น 8-10 ซม. ไม่ต้องใช้สารกักกระจายฟองอากาศจะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ = 180 ลิตร/ลบ.เมตรของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จากตารางที่ ผ.ข.7 สำหรับคอนกรีตที่ต้องการกำลัง 267 กก./ตร.ซม. จะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่ต้องใช้ = 0.6
6. ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ $= \frac{180}{0.6} = 300$ กก.
7. หาปริมาณของวัสดุผสมหยาบ จากตารางที่ ผ.ข.8 เมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดของวัสดุผสมละเอียดเท่ากับ 2.8 และขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มม. จะได้ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น = 0.64 ลบ.เมตร/ลบ.เมตรของคอนกรีต หน่วยน้ำหนักของหิน = 1600 กก./ลบ.เมตร ดังนั้นน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบที่ใช้ = $0.64 \times 1600 = 1024$ กก./ลบ.เมตร ของคอนกรีต
8. หาปริมาณของวัสดุผสมละเอียด

ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม :

ปริมาตรของน้ำ	$= \frac{180}{1000}$	$= 0.180$ ม.^{3}
ปริมาตรของ ซีเมนต์	$= \frac{300}{3.15 \times 1000}$	$= 0.095$ ม.^{3}
ปริมาตร มวลรวมหยาบ	$= \frac{1024}{2.70 \times 1000}$	$= 0.379$ ม.^{3}
ปริมาตรของฟองอากาศ	$= 0.02 \times 1.0$	$= 0.020$ ม.^{3}
ดังนั้น ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย		$= 0.674$ ม.^{3}
ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้	$= 1 - 0.674$	$= 0.326$ ม.^{3}
น้ำหนักของทรายแห้ง	$= 0.326 \times 2.60 \times 1000$	$= 848$ กก.

ฉะนั้นคอนกรีต 1 ลบ.เมตร ต้องใช้

ซีเมนต์	= 300 กก.
น้ำ	= 180 กก.
วัสดุผสมหยาบ	= 1024 กก.
วัสดุผสมละเอียด	= 848 กก.
รวมน้ำหนักทั้งหมด	= 2382 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การทดสอบคอนกรีตสด และคอนกรีตที่แข็งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1

การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด

(Test for Slump of Fresh Concrete)

ASTM : C 143 – 90 a

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาความสามารถในการไหลและในการเทลงแบบของคอนกรีตสด ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตนั้น หากมากไปหรือน้อยเกินไป จะมีผลต่อการเทและจี้เขย่าให้แน่นอาจเป็นเหตุให้คอนกรีตเสียกำลังเมื่อแข็งตัวเต็มที่

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. คอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ ด้วยอัตราซีเมนต์ : ทราย : หิน ต่าง ๆ กันตามต้องการ
2. แบบทดสอบมาตรฐานที่ทำด้วยโลหะ ซึ่งซีเมนต์ไม่ยึดเกาะผิว ลักษณะเป็นแบบรูปกรวยกลมปลายเปิดทั้งสองด้าน โดยปลายส่วนที่เป็นฐานสำหรับวางสัมผัสพื้น จะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. (8") และรูปกรวยจะสอบเล็กลงจนเหลือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายด้านบน 102 มม. (4") แบบมีความสูง 305 มม. (12") แผ่นโลหะที่นำมาทำเป็นแบบดังกล่าว ต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 1.61 มม. (0.06") และมีที่สำหรับเท้าเหยียบและมือจับอยู่ตรงข้ามกันทั้งสองด้าน
3. เหล็กกระทุ้ง เป็นแท่งเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. (5/8") และมีความยาวประมาณ 600 มม. ปลายด้านกระทุ้งจะเป็นมนโค้งครึ่งวงกลม
4. เกรียงเหล็ก
5. ไม้บรรทัดเหล็ก
6. ที่ตักคอนกรีต
7. ถาดหรือแผ่นเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมพื้นที่สำหรับวางกรวง ควรเป็นพื้นที่แข็ง ราบเรียบและไม่ดูดซึมน้ำ เมื่อวางกรวยเรียบร้อยแล้ว ใช้เท้าทั้งสองข้างเหยียบกดลงบนที่สำหรับเท้าเหยียบให้แน่น
2. นำคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ เทใส่ลงในกรวย โดยเทแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรเฉลี่ยเท่า ๆ กัน และแต่ละชั้นให้ใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง การกระทุ้งชั้นล่างสุด ให้พยายามกระทุ้งด้วยการตั้งท่อนเหล็กให้ตรงขณะกระทุ้งบริเวณรอบศูนย์กลางกรวย และเอียงเหล็กตามขอบกรวยเมื่อกระทุ้งแถวขอบกรวย การกระทุ้งชั้นบนสุดให้พยายามเติมคอนกรีตให้เต็มแบบตลอดเวลาที่กระทุ้ง เสร็จแล้วปาดผิวบนให้เรียบ
3. ค่อย ๆ ยกกรวยขึ้นในแนวดิ่งด้วยความเร็วสม่ำเสมอ อย่าให้กรวยเอียงหรือก่อให้เกิดการบิดใด ๆ ในคอนกรีตเป็นอันขาด ยกกรวยให้พ้นภายใน 5 – 10 วินาที และเวลาตั้งแต่เริ่มเทคอนกรีตลงในกรวยจนถึงขั้นสุดท้ายนี้ไม่ควรเกิน 2 ½ นาที
4. ให้วัดระยะการยุดตัวของคอนกรีตทันที โดยนำกรวยที่ยกออกแล้ว มาวางข้าง ๆ เอาเหล็กกระทุ้งวางพาดบนขอบกรวย ให้ปลายเหล็กยื่นเข้ามาเหนือตัวอย่างคอนกรีตที่ยุบตัว แล้วใช้บรรทัดเหล็กวัดระยะ

หมายเหตุ	ระยะยุบตัวของคอนกรีตสดที่ค่าต่าง ๆ เหมาะสมสำหรับงานประเภทต่าง ๆ ดังต่อไปนี้
ระยะยุบตัว	0 – 2.5 ซม. เหมาะสำหรับงานถนนหรืองานคอนกรีตที่ใช้อุปกรณ์เครื่องกลเขย่าให้แน่น
ระยะยุบตัว	2.5 – 5.0 ซม. เหมาะสำหรับงานถนนหรืองานคอนกรีตมวลใหญ่ที่ใช้อุปกรณ์เครื่องกลขนาดเล็กเขย่าให้แน่น
ระยะยุบตัว	5.0 – 10 ซม. สำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปที่ใช้เทคาน พื้น ที่มีอุปกรณ์เครื่องกลเขย่าให้แน่น
ระยะยุบตัว	10 – 17.5 ซม. สำหรับงานคอนกรีตที่มีเหล็กเสริมแน่นหรือพื้นที่ไม่เหมาะสมที่จะใช้เครื่องเขย่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

(Test for Compressive Strength 0f Cylindrical Concrete Specimen)

ASTM : C 39 – 93a

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่าง ๆ กัน โดยการใส่แรงอัดโดยตรงกับแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. คอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบ
2. เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Machine)
3. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก ทำด้วยโลหะที่ซีเมนต์ไม่เกาะติดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6” และสูง 12”
4. เครื่องชั่งขนาดใหญ่
5. เครื่องมือวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง
6. เครื่องหล่อหมวก (Capped) หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

ขั้นตอนการทดสอบ

ก) การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว
2. ตรวจสอบสกรูสำหรับรับแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบและแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุด ขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ ๆ
2. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็ม แบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ
3. ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉย ๆ ประมาณ 24 ชม. จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่มโดยแช่ในถังบ่อจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบและควรทดสอบก่อนตัวอย่างจะแห้งสนิท ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

ค) การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีตให้ทดสอบโดยเร็วที่สุด หลังจากนำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ก่อนการทดสอบควรตรวจสอบระนาบหัวท้ายของแท่งคอนกรีตว่าแบบราบหรือไม่ระนาบดังกล่าวไม่ควรเอียงมากกว่า 0.5° (หรือประมาณ 3 มม. ใน 300 มม.) หากไม่อยู่ภายในขอบเขตดังกล่าวให้ทำการหล่อหมวกหัวท้ายเสียก่อน โดยปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM C 617 – 84 สำหรับระยะเส้นผ่านศูนย์กลางที่จะนำมาใช้คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดให้ใช้ค่าเฉลี่ย จากการวัดสองแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน ที่ตำแหน่งกึ่งกลางแท่งทดสอบ

ง) การคำนวณ

ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งงคอนกรีต จะหาได้จากสูตร

$$f_c = P/A \qquad \text{(ผ.ค.1)}$$

โดยที่

f_c = กำลังอัดประลัยของแท่นคอนกรีต, กก./ซม$^{2.}$

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง, กก.

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\pi d^2}{4} \text{ ซม.}^{2.}$$

หากปรากฏว่าอัตราส่วนระหว่างความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบ ต่ำกว่า 1.8 ค่าที่ได้จากการทดสอบจะต้องคูณด้วยแฟคเตอร์เผื่อแก้ค่าให้ถูกต้องเสีย

จ) ลักษณะการชำรุด

ให้สเกตซ์ลักษณะของการชำรุดของแท่งคอนกรีตทดสอบ โดยทั่วไปมักแตกออกเป็น 5 ลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้