สำนักหอสมุดกลาง_ พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เทใต้น้ำ เมื่อผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างกับเมื่อไม่ผสมน้ำยา

(COMPRESSIVE STRENGTH COMPARISION STUDY OF UNDERWATER CONCRETE BETWEEN MIXING WITH ADMIXTURE AND WITHOUT ADMIXTURE)

T033945

นายพิชาญ พิพัฒน์ธนพงศ์
นายยุทธนา เพชรสมงาม
นายสกลชัย สกลพัฒนานนท์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 33945
วัน, เดือน, ปี 23 ก.ย. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPRESSIVE STRENGTH COMPARISION STUDY OF UNDERWATER CONCRETE BETWEEN MIXING WITH ADMIXTURE AND WITHOUT ADMIXTURE

MR. PHICHAN PHIPHATTANAPHONG
MR. YUTTHANA PETSOMNGAM
MR. SAKOLCHAI SAKOLPHATTANANON

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEER
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

.....

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เทใต้น้ำเมื่อผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างกับเมื่อไม่ผสมน้ำยา
(COMPRESSIVE STRENGTH COMPARISION STUDY OF UNDERWATER CONCRETE BETWEEN MIXING WITH ADMIXTURE AND WITHOUT ADMIXTURE)

นักศึกษา นายพิชาญ พิพัฒน์ธนพงศ์ รหัสประจำตัว 38014340
นายยุทธนา เพชรสมงาม รหัสประจำตัว 38014406
นายสกลชัย สกลพัฒนานนท์ รหัสประจำตัว 39014533

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล	.....
2. อาจารย์สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	.....
3. อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	.....

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....

(ผศ.ดร. แดง เหรียญสุวรรณ)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เทใต้น้ำ เมื่อผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง กับเมื่อไม่ผสมน้ำยา

Compressive Strength Comparision Study of Underwater Concrete Between Mixing with Admixture and without Admixture

โดย นายพิชาญ พิพัฒน์ธนพงศ์ รหัสประจำตัว 38014340
นายยุทธนา เพชรสมงาม รหัสประจำตัว 38014406
นายสกลชัย สกลพัฒนานนท์ รหัสประจำตัว 39014533
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา สาขา วิศวกรรมการก่อสร้าง
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล

บทคัดย่อ

ในการเทคอนกรีตใต้น้ำ เช่น งานตอม่อสะพานใต้น้ำ มักประสบปัญหาในการควบคุมคุณภาพคอนกรีต การกระทุ้งหรือจี้คอนกรีตให้คอนกรีตแน่นตัวไม่สามารถทำได้เพราะจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ละลายไปกับน้ำ ส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตลดลง ในปัจจุบันได้มีการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยทำการเติมน้ำยาป้องกันการชะล้างคอนกรีต เพื่อป้องกันไม่ให้ซีเมนต์เพสต์ละลายไปกับน้ำ

ในปริญญานิพนธ์นี้ จึงเลือกทำการศึกษาเปรียบเทียบกำลังของคอนกรีตที่เทใต้น้ำ เมื่อผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง กับเมื่อไม่ผสมน้ำยา และยังศึกษาเชิงเปรียบเทียบกับคอนกรีตในสภาพปรกติที่ไม่ได้เทในน้ำ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตเนื่องจากน้ำยาป้องกันการชะล้างคอนกรีต และยังได้ทำการวิเคราะห์ด้านราคาของคอนกรีตที่ใช้เทใต้น้ำเมื่อผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างเพื่อหาความเหมาะสมในการใช้งานจริงอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Recently , the underwater concrete construction often has quality control problems .Temping and vibration can not be done because the cement paste will spread into the water . It will effect to the strength of the concrete . Nowadays , the problem can rectify , by using the anti – washout admixture.

This project will compare the strength of underwater concrete between the concrete with admixture and without admixture , and will compare with normal concrete . To study the effect of the admixture on the strength . And the cost of underwater concrete construction with admixture to find appropriate using of the anti – washout admixture .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลากรและเจ้าหน้าที่จากหลายหน่วยงานที่ให้ข้อมูลและข้อเสนอแนะแก่ผู้จัดทำ ดังรายนามต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ

อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล	อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา	ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา
บิดา – มารดา	ที่ให้กำเนิดและอุปการะตลอดมา
บริษัท ซิก้า (ประเทศไทย) จำกัด	ที่อนุเคราะห์วัสดุและอุปกรณ์
บริษัทรัชดาหินอ่อน	ที่อนุเคราะห์เจ้าหน้าที่และอุปกรณ์ตัดคอนกรีต
บริษัท ไทยมาสเตอร์บิลเดอร์ส จำกัด	ที่อนุเคราะห์ข้อมูลและข้อเสนอแนะโครงงาน
บริษัท อิตาเลี่ยน – ไทย จำกัด	ที่อนุเคราะห์ข้อมูลประกอบโครงงาน
บริษัท CPAC จำกัด	ที่อนุเคราะห์ข้อมูลราคาคอนกรีต
เจ้าหน้าที่ธุรการภาคฯ โยธา สจล.	ที่อำนวยความสะดวกติดต่อประสานงาน
เจ้าหน้าที่อาคารปฏิบัติงานภาคฯ โยธา สจล.	ที่อำนวยความสะดวกการใช้อาคารปฏิบัติงาน
เจ้าหน้าที่ห้องสมุดภาคฯ โยธา สจล.	ที่อำนวยความสะดวกในการหาข้อมูล
เจ้าหน้าที่สำนักหอสมุดกลาง สจล.	ที่อำนวยความสะดวกในการหาข้อมูล

ขอขอบคุณ

เพื่อน ๆ และน้อง ๆ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ที่ออกแรงกาย ช่วยแรงใจ ในการทำงานตลอดช่วงเวลาในการทำงาน

นายพิชาญ พิพัฒน์ธนพงศ์
นายยุทธนา เพชรสมงาม
นายสกลชัย สกลพัฒนานนท์
นักศึกษาผู้ประกาศ
(_____ / _____ / _____)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	**ก**
บทคัดย่อ	**ข**
กิตติกรรมประกาศ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ฉ**
สารบัญรูป	**ซ**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	1
1.3 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ	1
1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
1.5 วิธีการศึกษา	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีคอนกรีตใต้น้ำ	**3**
2.1 การเทคอนกรีตใต้น้ำ	3
2.1.1 การเทโดยใช้ท่อทริมมี่(Tremie)	4
2.1.2 การเทโดยใช้สคิป(Skip)	8
2.1.3 การเทโดยวิธีอื่น ๆ	10
2.1.4 การออกแบบและก่อสร้างงานเทคอนกรีตใต้น้ำ	12
2.2 คอนกรีตสำหรับเทใต้น้ำ	14
2.2.1 กำลังอัด อายุ คอนกรีตที่ต้องการ	15
2.2.2 วัสดุ	16
2.2.3 ซีเมนต์	17
2.2.4 สารผสมเพิ่มป้องกันการชะล้าง	18
2.2.5 คุณสมบัติที่ต้องการสำหรับคอนกรีตเทใต้น้ำ	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การทดสอบวัสดุและการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต **22**

3.1 การทดสอบคุณภาพวัสดุที่ใช้ 22

3.1.1 คุณสมบัติของหินที่ใช้ 40

3.1.2 คุณสมบัติของทรายที่ใช้ 40

3.1.2 คุณสมบัติของสารผสมเพิ่มป้องกันการชะล้างที่ใช้ 40

3.2 การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต 42

บทที่ 4 การทดสอบกำลังอัดและการควบคุมคุณภาพ **49**

4.1 วิธีการเก็บตัวอย่างคอนกรีต 50

4.1.1 จำนวนตัวอย่างที่ต้องการ 50

4.1.2 การเตรียมสถานที่และอุปกรณ์เพื่อช่วยในการเทคอนกรีต 50

4.1.3 การเทในกรณีเทปรกติ(เทบนบก) 50

4.1.4 การเทในกรณีเทใต้น้ำ 51

4.2 วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต 58

4.2.1 การทดสอบตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก 58

4.2.2 ค่าปรับแก้เนื่องจากอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 58

4.2.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบ 62

4.3 การควบคุมคุณภาพและการตรวจสอบคุณภาพตัวอย่าง 62

4.3.1 กำลังเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องการผลิต 64

4.3.2 การวิเคราะห์และประเมินผลการทดสอบ 65

บทที่ 5 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต **67**

บทที่ 6 สรุปวิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังอัดและข้อเสนอแนะในการใช้งาน **72**

6.1 สรุปผลการทดสอบ 72

6.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ 72

6.3 ข้อเสนอแนะในการใช้งาน 79

ภาคผนวก **84**

ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตเมื่อไม่ตัดส่วนที่เป็นโพรงออก 83

วิเคราะห์ผลการทดสอบกรณีไม่ตัดส่วนหัว – ท้ายของแท่งตัวอย่างคอนกรีต 90

บรรณานุกรม **93**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	คุณสมบัติและผลข้างเคียงของสารผสมเพิ่ม	19
ตารางที่ 3.1	แสดงมาตรฐานส่วนคละของมวลรวม	26
	ก. สำหรับมวลรวมละเอียด (ทราย)	
	ข. สำหรับมวลรวมหยาบ (หิน)	
ตารางที่ 3.2	บันทึกผลการทดสอบการหาโมดูลัสความละเอียดของทราย	27
ตารางที่ 3.3	บันทึกผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์ดูดซึม ของมวลรวมละเอียด	30
ตารางที่ 3.4	บันทึกผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์ดูดซึม ของมวลรวมหยาบ	33
ตารางที่ 3.5	แสดงขนาดภาชนะที่ใช้วัดหน่วยน้ำหนัก	34
ตารางที่ 3.6	แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ	35
ตารางที่ 3.7	บันทึกผลการทดสอบค่าหน่วยน้ำหนักแห้งและอัดแน่น ของมวลรวมหยาบ	37
ตารางที่ 3.8	บันทึกผลการทดสอบค่าความชื้นของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด	39
ตารางที่ 3.9	ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ	43
ตารางที่ 3.10	ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ	43
ตารางที่ 3.11	ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวสำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ	44
ตารางที่ 3.12	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้ สำหรับสภาวะเปิดเผยรุนแรง	45
ตารางที่ 3.13	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัย ของคอนกรีต	45
ตารางที่ 3.14	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต	46
ตารางที่ 3.15	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ	46
ตารางที่ 4.1	ตัวแปรต่าง ๆที่มีผลต่อกำลังอัดที่ได้จากการทดสอบ	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2	แสดงค่าปรับแก้กำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่มีค่าอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ กัน	59
ตารางที่ 4.3	ค่ามาตรฐาน T	65
ตารางที่ 4.4	แสดงระดับการควบคุมคุณภาพโดยดูจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล	65
ตารางที่ 4.5	ตัวประกอบเพื่อใช้คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการทดสอบ (S_{EXP})	66
ตารางที่ 5.1	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกรณีเทบนบก	68
ตารางที่ 5.2	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกรณีเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	69
ตารางที่ 5.3	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	70
ตารางที่ 5.4	เปรียบเทียบการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในกรณีต่าง ๆ	71
ตารางที่ 6.1	แสดงการวิเคราะห์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังอัดแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ	74
ตารางที่ 6.2	แสดงการวิเคราะห์ค่ากำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ	75
ตารางที่ 6.3	เปรียบเทียบราคาคอนกรีตที่เทใต้น้ำโดยการเผื่อค่ากำลังอัดและการผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างซีเมนต์เพสต์	81
ภาคผนวก		
ตารางที่ 1	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกรณีเทบนบก	86
ตารางที่ 2	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกรณีเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างไม่ตัดส่วนหัว - ท้าย	87
ตารางที่ 3	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างไม่ตัดส่วนหัว - ท้าย	88
ตารางที่ 4	เปรียบเทียบการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในกรณีต่าง ๆ	89
ตารางที่ 5	เปรียบเทียบกำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ตัดและไม่ตัดส่วนหัว – ท้าย	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	ส่วนประกอบต่าง ๆ ของท่อทริมมี่ และ แสดงการทำงานของท่อทริมมี่	7
รูปที่ 2.2	ส่วนประกอบของสคริปและแสดงการทำงานของสคิป	9
รูปที่ 2.3	แสดงวิธีการเทคอนกรีตใต้น้ำโดยใช้Toggle Bags	10
รูปที่ 2.4	แสดงวิธีการเทคอนกรีตใต้น้ำโดยวิธีPumping	11
รูปที่ 2.5	แสดงการเทคอนกรีตใต้น้ำโดยวิธี Bagwork	11
รูปที่ 2.6	แสดงความเป็นมาและผลกระทบของค่าต่าง ๆ ในการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต	15
รูปที่ 3.1	แสดงส่วนคละของทรายที่ใช้ผสมคอนกรีต	28
รูปที่ 3.2	แสดงแผนภาพการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา	42
รูปที่ 4.1	แสดงโม่แบบ Tilt ที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต	52
รูปที่ 4.2	แสดงแบบหล่อ mould ที่ใช้หล่อตัวอย่าง	52
รูปที่ 4.3	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบค่าการยุบตัว	53
รูปที่ 4.4	แสดงน้ำยาผสมป้องกันการชะล้าง	53
รูปที่ 4.5	แสดงท่อทริมมี่ที่ใช้เทคอนกรีต	54
รูปที่ 4.6	แสดงการทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test)	55
รูปที่ 4.7	แสดงการปล่อยปลายท่อทริมมี่ลงสู่ก้นแบบหล่อ	55
รูปที่ 4.8	แสดงการเติมคอนกรีตลงในท่อทริมมี่	56
รูปที่ 4.9	แสดงการยกท่อทริมมี่เมื่อเทคอนกรีตเสร็จ	56
รูปที่ 4.10	แสดงแบบหล่อที่เทคอนกรีตเสร็จแล้ว	56
รูปที่ 4.11	แสดงแบบหล่อที่เทคอนกรีตเสร็จแล้ว	57
รูปที่ 4.12	อิทธิพลของอัตราส่วน H/D ต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก	59
รูปที่ 4.13	อิทธิพลของอัตราส่วน H/D ต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกในช่วงกำลังอัดที่แตกต่างกัน	59
รูปที่ 4.14	แสดงรูปตัวอย่างรูปทรงกระบอกผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างและไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15	แสดงการตัดตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก	61
รูปที่ 4.16	แสดงการแต่งผิวหน้าตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่ตัดแล้ว	61
รูปที่ 4.17	แสดงค่าการกระจายของข้อมูลภายใต้โค้งของการแจกแจงความถี่แบบปรกติ	63
รูปที่ 4.18	แสดงโค้งแจกแจงความถี่ปรกติเมื่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าแตกต่างกัน	64
รูปที่ 5.1	เปรียบเทียบการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตในกรณีต่าง ๆ	71
รูปที่ 6.1	แผนภาพแสดงกำลังอัดกรณีเทบนบก	76
รูปที่ 6.2	แผนภาพแสดงกำลังอัดเฉลี่ย 2 ค่าติดต่อกันกรณีเทบนบก	76
รูปที่ 6.3	แผนภาพแสดงกำลังอัดกรณีเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	77
รูปที่ 6.4	แผนภาพแสดงกำลังอัดเฉลี่ย 2 ค่าติดต่อกันกรณีเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	77
รูปที่ 6.5	แผนภาพแสดงกำลังอัดกรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	78
รูปที่ 6.6	แผนภาพแสดงกำลังอัดเฉลี่ย 2 ค่าติดต่อกันกรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	78
รูปที่ 6.7	แสดงราคาของคอนกรีตในกรณีต่าง ๆ	82
รูปที่ 6.8	แสดงเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างของราคาคอนกรีตในกรณีต่าง ๆ	82

ภาคผนวก

รูปที่ 1	เปรียบเทียบการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในกรณีต่าง ๆ โดยไม่ตัดส่วนหัว – ท้ายของแท่งตัวอย่างคอนกรีต	89
รูปที่ 2	เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดกรณีเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	92
รูปที่ 3	เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดกรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการเทคอนกรีตใต้น้ำ เช่น งานหล่อเสาเข็มในน้ำลึก งานสร้างผนังกั้นน้ำสำหรับเขื่อน งานสร้างตอม่อสะพาน ฯลฯ งานเหล่านี้มักจะประสบกับปัญหาการควบคุมคุณภาพคอนกรีตเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพสม่ำเสมอเหมือนกับการเทคอนกรีตปรกติในสภาวะที่แห้ง การเทคอนกรีตใต้น้ำไม่สามารถทำการกระทุ้งหรือใช้เครื่องจี้เขย่าเพื่อให้คอนกรีตมีการอัดแน่นเหมือนกับการเทในสภาวะปรกติ เนื่องจากจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ละลายไปกับน้ำ นอกจากนี้ยังมีปัญหาในเรื่องของการชะล้างซีเมนต์เพสต์โดยเฉพาะในบริเวณที่มีกระแสน้ำไหล ต้องระวังไม่ให้น้ำไหลผ่านคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัว เนื่องจากปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาที่ต้องพบอยู่เสมอในการเทคอนกรีตใต้น้ำ จึงได้มีการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยเติมน้ำยาป้องกันการชะล้าง(Anti–Washout Admixture) เพื่อการเทคอนกรีตใต้น้ำจะทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อได้เติมน้ำยาป้องกันการชะล้างลงไปในคอนกรีตที่ใช้เทใต้น้ำจะลดปริมาณการสูญเสียซีเมนต์เพสต์ ในแง่ของหลักการน่าจะมีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตด้วย ดังนั้นจึงทำการศึกษาคุณสมบัติของน้ำยาป้องกันการชะล้างในคอนกรีตที่เทใต้น้ำ มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างไร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ทำการเทใต้น้ำเมื่อผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างกับเมื่อไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง และนำไปศึกษาเชิงเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่เทแบบปรกติในสภาวะที่แห้ง

1.3 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการคือ

1. กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า
2. กำลังรับแรงอัดและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม
3. แรงยึดเหนี่ยวของซีเมนต์มอร์ต้ากับมวลรวม

โดยที่กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ นอกจากนี้ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่หุ้มมวลรวมอย่างเพียงพอก็ส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตเช่นเดียวกัน เมื่อมีการเทคอนกรีตใต้น้ำจะมีการชะล้างซีเมนต์เพสต์ทำให้ปริมาณซีเมนต์เพสต์หุ้มมวลรวมลดลงส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง ดังนั้นเมื่อมีการเติมน้ำยาป้องกันการชะล้าง ส่งผลให้ซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพสต์มีแรงยึดเหนี่ยวกับมวลรวมมากขึ้นทำให้สามารถป้องกันการชะล้างได้ จึงอาจเป็นไปได้ว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะไม่สูญเสียไป

1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1.4.1 ทำการศึกษากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เทใต้น้ำ จากตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก ที่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างและไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง โดยใช้ผลิตภัณฑ์ Sikament 100 SC ของบริษัท ซิก้า (ประเทศไทย) จำกัด และมีการควบคุมปัจจัยอื่น ๆ ให้คงที่

1.4.2 ทำการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างกับคอนกรีตเทใต้น้ำแต่ไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง และนำไปศึกษาเชิงเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่เทแบบปรกติในสภาวะที่แห้ง

1.5 วิธีการศึกษาโครงงานพิเศษ

1.5.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลวิธีการเทคอนกรีตใต้น้ำ

1.5.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตใต้น้ำเพื่อป้องกันการชะล้างของ บริษัท ซิก้า(ประเทศไทย)จำกัด

1.5.3 ทำการหล่อคอนกรีตตัวอย่างรูปทรงกระบอก 3 กรณีคือ

- คอนกรีตที่เทแบบปรกติในสภาวะที่แห้ง
- คอนกรีตที่เทใต้น้ำโดยไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง
- คอนกรีตที่เทใต้น้ำและผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง

1.5.4 ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 14 21 และ 28 วัน กรณีละ 5 ตัวอย่าง รวม 60 ตัวอย่าง

1.5.5 ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตโดยการกดแท่งตัวอย่างคอนกรีตด้วยเครื่องทดสอบมาตรฐาน

1.5.6 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทั้ง 3 กรณี

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบว่าน้ำยาผสมคอนกรีตป้องกันการชะล้างนี้ ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เทใต้น้ำหรือไม่ เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่เทใต้น้ำโดยไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่เทแบบปรกติในสภาวะที่แห้งจะทำให้ทราบว่า น้ำยาป้องกันการชะล้างนี้สามารถป้องกันการสูญเสียกำลังอัดได้เท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีคอนกรีตใต้น้ำ

2.1 การเทคอนกรีตใต้น้ำ(Underwater Concreting)

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน องค์อาคารต่าง ๆ ที่ทำการก่อสร้างบางครั้งต้องทำการก่อสร้างในน้ำ เช่น งานหล่อเสาเข็มฐานราก งานทำนบ ผนังกั้นน้ำของเขื่อน งานตอม่อใต้น้ำของสะพาน เป็นต้น ซึ่งจำเป็นต้องทำการเทคอนกรีตในน้ำ การควบคุมให้ได้เนื้อคอนกรีตที่สม่ำเสมอเหมือนกับที่กระทำบนพื้นที่ปรกตินั้นเป็นไปได้ยาก การกระทุ้งเพื่อทำให้คอนกรีตแน่นตัวก็กระทำไม่ได้เลย เนื่องจากจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ละลายไปกับน้ำ อีกทั้งต้องป้องกันการสูญเสียของปูนซีเมนต์โดยเฉพาะในบริเวณที่มีกระแสน้ำไหลอยู่จะต้องระวังการแยกตัวและพยายามไม่ให้น้ำไหลผ่านคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัว และไม่ควรเทคอนกรีตในบริเวณที่น้ำไหลแรงกว่า 3 เมตรต่อวินาทีเพราะจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ละลายน้ำอย่างรวดเร็ว ไม่ควรเทคอนกรีตเมื่ออุณหภูมิของน้ำต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส หรือที่อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะต่ำ และส่งผลให้การแข็งตัวของคอนกรีตเป็นไปได้ช้าทำให้เกิดโอกาสที่จะมีการชะล้างนานขึ้น นอกจากนี้ไม่ควรเทคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงกว่า 38 องศาเซลเซียสเพราะคอนกรีตที่เทจะสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วความสามารถในการเทจะลดลงการเทคอนกรีตใต้น้ำจะทำได้ยาก เมื่อเทคอนกรีตเสร็จแล้วต้องป้องกันไม่ให้น้ำไหลผ่านผิวคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวอย่างน้อย 4 วัน ถ้าให้ดีควรเป็น 10 วัน การทิ้งแบบหล่อไว้ในที่ก็สามารถป้องกันไม่ให้น้ำไหลผ่านผิวคอนกรีตได้เช่นกัน

ในการเทคอนกรีตใต้น้ำโดยทั่วไปมี 2 วิธีที่นิยมใช้เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาการเทคอนกรีตใต้น้ำดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นคือ

1. คอนกรีตผสมปกติแล้วเทโดยใช้อุปกรณ์ช่วยในการเทคอนกรีตใต้น้ำ เช่น ใช้ท่อทริมมี่ ใช้สคิปบรรจุคอนกรีต เป็นต้น
2. การใช้ขบวนการทำงานที่พิเศษ โดยเคลือบมวลรวมหยาบที่เทลงไปในแบบหล่อก่อนด้วยซีเมนต์เพสต์ที่จะอัดตามลงไป

การเทคอนกรีตใต้น้ำในประเทศไทย การทำงานแบบวิธีที่ 2 ไม่เป็นที่นิยมเท่ากับวิธีแรกเนื่องจากการทำงานที่ยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูงมาก วิธีแรกจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการทำงานใต้น้ำโดยทั่วไป ดังนั้นตัวแปรสำคัญในการเทคอนกรีตจึงขึ้นอยู่กับ คอนกรีตที่ใช้เทใต้น้ำต้องเป็นคอนกรีตที่ได้ออกแบบมาอย่างเหมาะสม และอุปกรณ์ช่วยในการเทคอนกรีตใต้น้ำต้องเหมาะสมกับพื้นที่ที่จะทำการเทคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตสามารถเทใต้น้ำได้ทุกสภาพแวดล้อม แต่ต้องมีการควบคุมงานเทคอนกรีตที่ดีด้วยจึงจะแน่ใจได้ว่าคอนกรีตที่ได้มีค่ากำลังอัดตามที่ต้องการ คอนกรีตเสริมเหล็กก็สามารถเทใต้น้ำได้เช่นกันแต่การควบคุมงานจะมีความยากลำบากมากเพราะเหล็กเสริมจะทำให้เกิดการแยกตัวของคอนกรีตในขณะที่เท

การตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้เทใต้น้ำเป็นเรื่องยาก เนื่องจากคอนกรีตที่ใช้มีอัตราส่วนผสมและคุณสมบัติของวัสดุผสมในคอนกรีตที่แตกต่างออกไปจากคอนกรีตที่ใช้เทในสภาวะปรกติ สิ่งก่อสร้างที่อยู่ใต้น้ำไม่ควรออกแบบให้ใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง (High Strength Concrete) เนื่องจากจะควบคุมคุณภาพคอนกรีตให้ได้ตามที่กำหนดได้ยาก โดยทั่วไปกำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตที่ใช้เทใต้น้ำประมาณ 22.5 เมกกะปาสคาล (3000 ปอนด์ต่อตร.นิ้ว) หรือประมาณ 225 กก.ต่อตร.ซม. แต่ในกรณีที่ใช้วิธี Pumping ในการเทคอนกรีตใต้น้ำค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ใช้จะมีค่าประมาณ 28 – 55 เมกกะปาสคาล (4000 – 8000 ปอนด์ต่อตร.นิ้ว) หรือ 280 – 550 กก.ต่อตร.ซม. เนื่องจากการเทคอนกรีตโดยวิธี Pumping สามารถควบคุมคุณภาพคอนกรีตได้ดีกว่าเพราะสามารถเทได้ต่อเนื่องกว่าและสามารถทำงานได้หลากหลายกว่าการใช้ท่อทริมมี่หรือสคิป

2.1.1 การเทโดยท่อทริมมี่ (Tremie Pipe)

ท่อทริมมี่ เป็นท่อโลหะ ภายในมีผิวเรียบ รอยต่อของท่อไม่รั่วซึมและมีหน้าตัดกว้างพอที่จะให้มวลรวมในเนื้อคอนกรีตไหลผ่าน เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อประมาณ 8 เท่าของขนาดมวลรวมใหญ่สุด หรือไม่ต่ำกว่า 150 มม.(6 นิ้ว) สำหรับมวลรวม 20 มม. (¾ นิ้ว) และไม่ต่ำกว่า 200 มม. (8 นิ้ว)สำหรับมวลรวม 40 มม.(1 ½ นิ้ว)

ในการเทต้องยกท่อและกรวยเพื่อให้คอนกรีตไหลลงไปและต้องใช้เครื่องจักรในการช่วยยกท่อและกรวย ในการเทคอนกรีตที่มีความลึกมากท่อทริมมี่ควรใช้หลายท่อนโดยมีข้อต่อในแต่ละท่อนเพื่อประกอบและถอดท่อออกเมื่อให้เหมาะสมกับระดับในการทำงาน ข้อต่อแต่ละท่อนประกอบกันด้วยโบลต์หรือใช้สกรูยึด รอยต่อของท่อทริมมี่ต้องได้รับการตรวจสอบแล้วว่าน้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในท่อได้

ขนาดของกรวยที่ปลายท่อด้านบน(Hopper) ควรมีขนาดที่เหมาะสมกับขนาดของท่อทริมมี่ เพื่อความสะดวกในการส่งผ่านคอนกรีตไปยังท่อทริมมี่ได้อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอซึ่งจะลดการแยกตัวในคอนกรีตได้ ในการทำงานควรจะจัดหาแท่นรองรับที่มั่นคงเพื่อที่จะรองรับทริมมี่ระหว่างการเทคอนกรีต จะสามารถป้องกันการหลุดของปลายด้านล่างของท่อทริมมี่จากกองคอนกรีตได้

การใช้ท่อทริมมี่ ในการเทคอนกรีตต้องจัดให้ท่อตั้งตรงเหนือพื้นที่เท ก่อนทำการเทคอนกรีตจะต้องอุดปลายด้านล่างของท่อเพื่อกันน้ำไม่ให้เข้าไปปะปนกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตขณะที่กำลังเติมคอนกรีต บรรจุคอนกรีตให้เต็มท่อ การจัดระยะปลายท่อให้อยู่เหนือตำแหน่งที่ต้องการเทอย่างเหมาะสมทำได้ยากเพราะไม่สามารถมองกะประมาณได้ด้วยสายตา การทำงานในจุดนี้ต้องอาศัยประสบการณ์เป็นอย่างมาก

ในอดีตการอุดปลายท่อทริมมี่ก่อนการเทคอนกรีตจะใช้ถุงซีเมนต์หรือกระสอบเป็นวัสดุอุด(Plug) การกำจัดวัสดุอุดออกจากกองคอนกรีตที่เทแล้วทำได้ยากและอาจก่อให้เกิดความเสียหายได้ถ้าการกำจัดวัสดุอุดไปรบกวนคอนกรีตที่กำลังแข็งตัว ในปัจจุบันการอุดปลายท่อจะใช้โฟมเม็ดหรือลูกบอลพองที่สามารถลอยน้ำได้ ทำให้การกำจัดวัสดุอุดออกจากกองคอนกรีตสามารถทำได้ง่ายขึ้น

การเทคอนกรีต เมื่อเริ่มเทคอนกรีตต้องยกปลายท่อให้อยู่สูงกว่าตำแหน่งที่ต้องการเทเล็กน้อย เมื่อเปิดปลายท่อคอนกรีตจะไหลผ่านท่อลงสู่ตำแหน่งที่ต้องการอย่างรวดเร็ว อัตราการไหลของคอนกรีตในท่อไปยังตำแหน่งที่ต้องการจะควบคุมโดยการยกขึ้นและลงของท่อทริมมี่ ปลายท่อทริมมี่จะต้องจมอยู่ในกองคอนกรีตโดยตลอดการเทและต้องรักษาระดับคอนกรีตภายในท่อให้เต็มท่ออยู่ตลอดเวลา คอนกรีตควรไหลอย่างสม่ำเสมอตลอดการเทเพื่อป้องกันไม่ให้มีช่องอากาศในเนื้อคอนกรีต การเทคอนกรีตโดยใช้ท่อทริมมี่ควรจะดำเนินการให้ต่อเนื่องที่สุดเท่าที่จะทำได้ ถ้าการเทคอนกรีตมีความล่าช้าอาจจะทำให้คอนกรีตที่เทลงไปก่อนแข็งตัวและทำให้ไม่สามารถเทคอนกรีตต่อไปได้ ถ้าหยุดเทคอนกรีตไม่เกิน 30 นาที สามารถทำการเทคอนกรีตต่อไปได้ แต่ถ้าหยุดเทคอนกรีตเกินกว่า 30 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่คอนกรีตกำลังแข็งตัวต้องเคลื่อนย้ายท่อทริมมี่ออกจากตำแหน่งนั้น ถ้าจะทำการเทต่อจะต้องทำรอยต่อโครงสร้าง (Construction Joint)

อัตราการเทคอนกรีต โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 1 – 10 ฟุตต่อชม.(0.3 – 3 ม.ต่อชม.) การคำนวณอัตราการเทเป็นสิ่งที่ยากลำบาก เพราะไม่ทราบรูปแบบการไหลของคอนกรีตที่แน่นอนได้

เมื่อต้องเพิ่มหรือลดความยาวของท่อทริมมี่ในขณะเทคอนกรีต รอยต่อของท่อจะต้องแข็งแรง ภายในเรียบและน้ำไม่รั่วซึม ขณะทำการประกอบหรือถอดท่อ ระดับคอนกรีตต้องอยู่ต่ำกว่ารอยต่อที่ประกอบ

การกระจายตัวในแนวราบของคอนกรีต สามารถดูได้จากการไหลออกจากท่อของคอนกรีต ในขณะที่ทำการเทคอนกรีตท่อทริมมี่จะต้องยึดแน่นไม่ให้เคลื่อนที่ในแนวนอนได้ เพราะถ้าท่อทริมมี่เคลื่อนที่ในแนวนอนจะทำความเสียหายแก่ผิวของคอนกรีตในแบบได้ เช่น ทำให้อัตราการแตกที่ผิวมีมากและทำให้มีการรั่วซึมของน้ำตามมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเทคอนกรีตให้กระจายตัวในแนวราบไปทั่วพื้นที่แบบหล่อ มีวิธีการเท 2 ข้อ คือ วิธีเทเป็นชั้นและวิธีเทเอียง

กรณีปลายท่อหลุดจากกองคอนกรีต เมื่อปลายด้านล่างของท่อหลุดจากกองคอนกรีตจะทำให้ปลายท่อสัมผัสน้ำ คอนกรีตในบริเวณนี้จะถูกชะล้างซีเมนต์ คอนกรีตจะไม่ได้คุณภาพและต้องกำจัดส่วนนี้ก่อนที่จะเทต่อไป

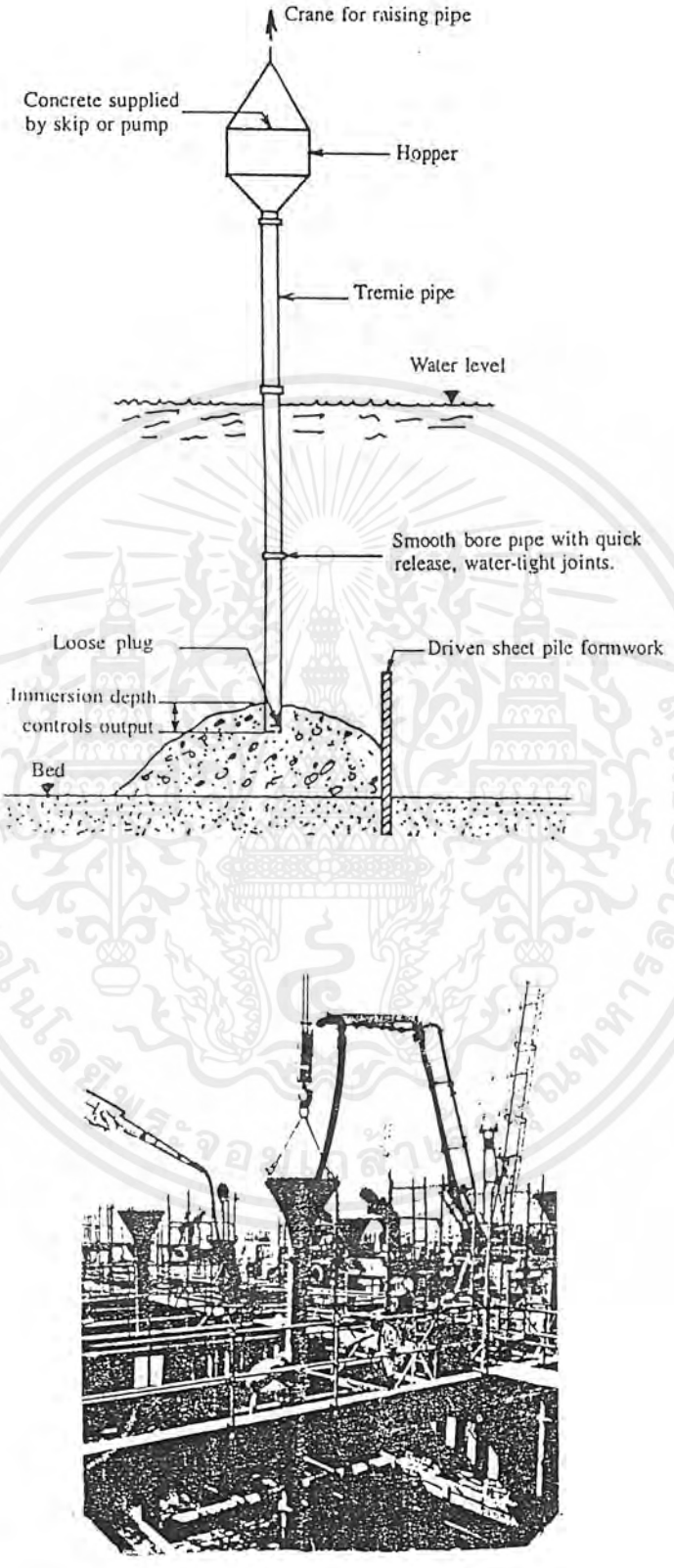
เมื่อมีสิ่งกีดขวางการไหลภายในท่อ การกำจัดสิ่งกีดขวางเหล่านั้นออกไปจากท่อทริมมี่เป็นสาเหตุหลักในการทำให้ปลายท่อทริมมี่หลุดออกกองคอนกรีต การป้องกันความเสียหายที่จะเกิดได้ดีที่สุดคือผลิตคอนกรีตที่มีความสามารถทำงานได้ดีพอที่จะไหลลงท่อได้อย่างคล่องตัวและกระจายตัวเองให้เต็มแบบหล่อได้

คอนกรีตที่ไม่ได้คุณภาพเนื่องจากปลายท่อหลุดจากกองคอนกรีตถ้ามีจำนวนมากจะเกิดความเสียหายเป็นอย่างมากถ้าไม่ได้กำจัดคอนกรีตส่วนนี้ทิ้ง เพราะคอนกรีตส่วนนี้จะมีโพรงอากาศเป็นจำนวนมาก ในการกำจัดคอนกรีตส่วนที่สัมผัสกับน้ำทิ้งถ้ากำจัดทันทีอาจทำให้เกิดความเสียหายเพิ่มขึ้น วิธีการที่ดีที่สุดคือ ไม่เทคอนกรีตในจุดที่ปลายท่อหลุดออกจากกองคอนกรีตประมาณ 1 วัน เพื่อปล่อยให้คอนกรีตแข็งตัวเสียก่อน คอนกรีตที่เสียก็จะสามารถขนย้ายออกได้โดยง่ายและไม่เป็นการรบกวนคอนกรีตส่วนอื่น และในการทำงานต่อไปจะต้องไม่ลืมทำรอยต่อโครงสร้างเพื่อเชื่อมคอนกรีตเก่าและใหม่เข้าด้วยกัน

การเทในบริเวณกว้าง การเทคอนกรีตโดยใช้ท่อทริมมี่มากกว่า 1 ท่อจะใช้เมื่อไม่สามารถเทคอนกรีตได้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดได้จากตำแหน่งเดียว การเทคอนกรีต 1 ท่อจะครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 30 ตารางเมตร (300 ตารางฟุต) แต่ในบางสถานการณ์ความสามารถในการทำงานของท่ออาจมากกว่าหรือน้อยกว่านี้ก็ได้

การทำงานในพื้นที่ใหญ่โดยใช้ท่อเพียงท่อเดียว จะต้องมีการย้ายท่อในขณะปลายยังอยู่ในกองคอนกรีตบ่อยครั้งซึ่งจะทำให้เกิดคอนกรีตที่เสื่อมคุณภาพได้ จึงต้องใช้การเทคอนกรีตโดยใช้หลายท่อเทในเวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของท่อทริมมี่ และ แสดงการทำงานของท่อทริมมี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การเทโดยสคิป (Skip)

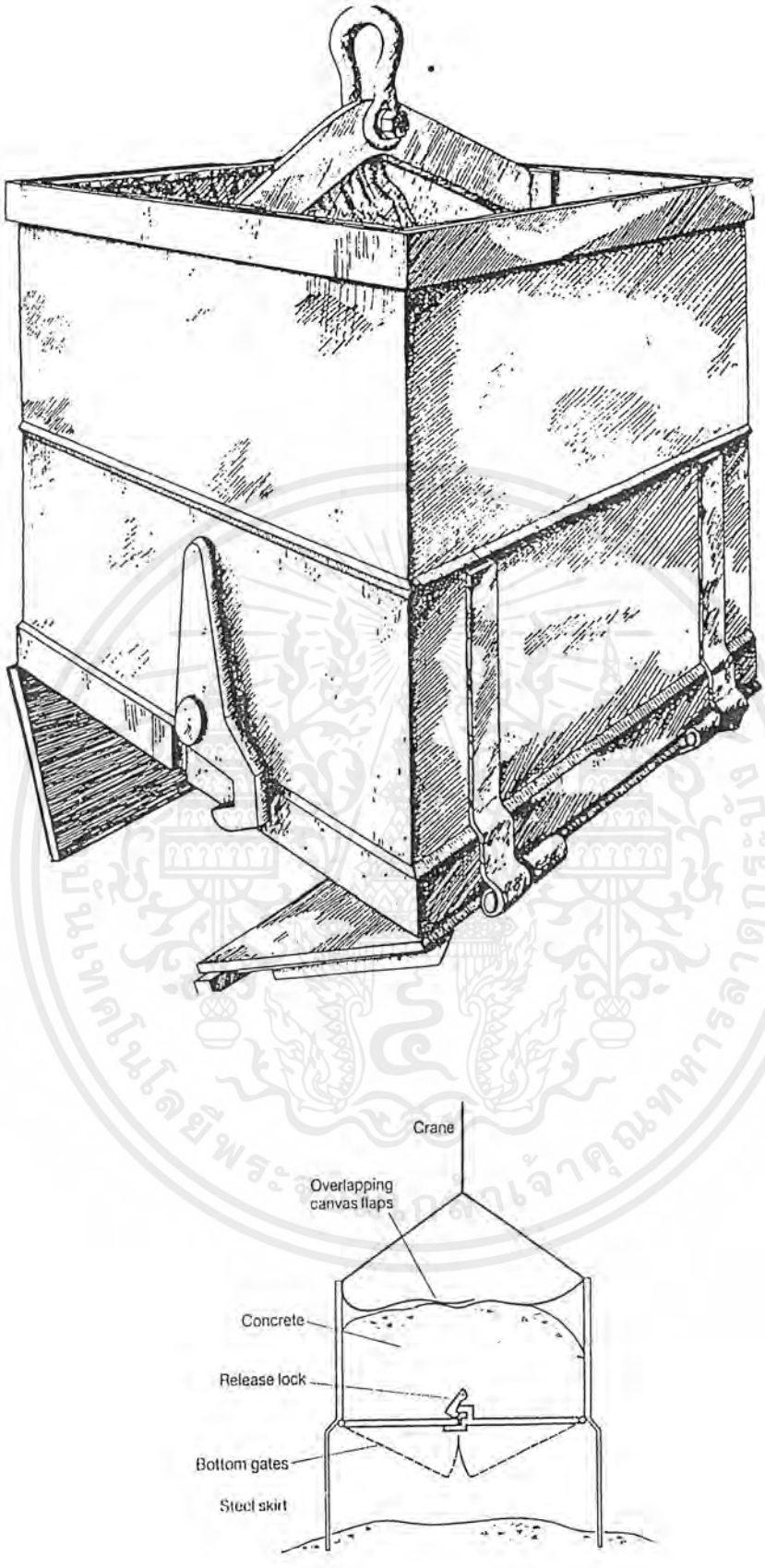
สคิป ควรเป็นปลายเปิด ลักษณะโดยทั่วไปดังนี้

- ต้องมีประตูปลายเปิดคู่ อาจควบคุมอัตโนมัติหรือด้วยมือ การเปิดประตูควรรบกวนคอนกรีตน้อยที่สุด และไม่สามารถเปิดได้จนกระทั่งสคิปวางอยู่ด้านบนหรือจมในคอนกรีตที่เทก่อนนั้น
- ต้องไม่มีการขัดขวางทางออกเวลาประตูเปิด-ปิด กลไกของกลอนต้องอยู่นอกสคิป
- ด้านข้างควรเรียบและด้านในได้แนวดิ่ง
- ควรเตรียมการปิดด้านบนด้วยผ้าใบพับหลวม ๆ 2 ชิ้น แรงดันน้ำจะกันผ้าใบให้พับติดกับผิวบนคอนกรีตระหว่างเท ผ้าใบจะป้องกันความปั่นป่วนของน้ำจากการชะล้างซีเมนต์เพสต์ในเนื้อคอนกรีต
- สคิป ควรมีขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน
- บางครั้งบริเวณรอบนอกของสคิปจะมีขนาดพอดีกับแบบหล่อ นี่อาจเป็นข้อดีในบางสถานการณ์โดยการประหยัดคอนกรีตในขณะเทและป้องกันการสัมผัสกับน้ำ

การเทคอนกรีต เติมคอนกรีตจนเต็มสคิปแล้วหย่อนลงในน้ำช้า ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนคอนกรีตในสคิปและคอนกรีตที่เทแล้ว ขณะทำการเทต้องยกสคิปช้า ๆ และค่อย ๆ เปิดสคิปให้คอนกรีตไหลออกมา เพื่อไม่ให้น้ำบริเวณที่เทปั่นป่วนจนรบกวนคอนกรีตที่ได้เทไปแล้ว การเทคอนกรีตจากสคิปต้องเทคอนกรีตสดลงบนคอนกรีตเดิมที่ได้เทไว้แล้วโดยตรง ดังนั้นการควบคุมคุณภาพจึงทำได้ยากกว่าการใช้ท่อทริมมี่

การเลือกใช้งานระหว่างทริมมี่และสคิป โดยทั่วไปขึ้นกับราคาเครื่องจักรและช่างผู้ชำนาญที่จะหาได้ การเทโดยใช้สคิปช้ากว่าการเทโดยใช้ท่อทริมมี่ ปกติท่อทริมมี่ใช้กับการเทขนาดใหญ่และจะใช้กับบริเวณที่มีสิ่งขัดขวางการทำงานใต้น้ำ สคิปใช้ได้กับการเทในแบบหล่อที่บาง ๆ และยังใช้ประโยชน์สำหรับการเก็บตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก ถ้างานเล็ก ๆ แต่เป็นงานที่หลากหลาย การเลือกใช้ท่อทริมมี่จะถูกกว่า การทำงานของสคิปในการเทแต่ละครั้งต้องเสี่ยงกับการชะล้างมากกว่าการเทโดยใช้ท่อทริมมี่ อย่างไรก็ตามการใช้สคิปจะนิยมใช้ในการทำงานขนาดเล็ก ๆ ที่สามารถยอมรับส่วนที่เสื่อมคุณภาพได้บ้าง การเทโดยใช้ท่อทริมมี่จะเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าและดีกว่า แต่ข้อเสียของการเทโดยใช้ท่อทริมมี่คือถ้าเกิดปลายท่อหลุดจากกองจะทำให้คอนกรีตเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



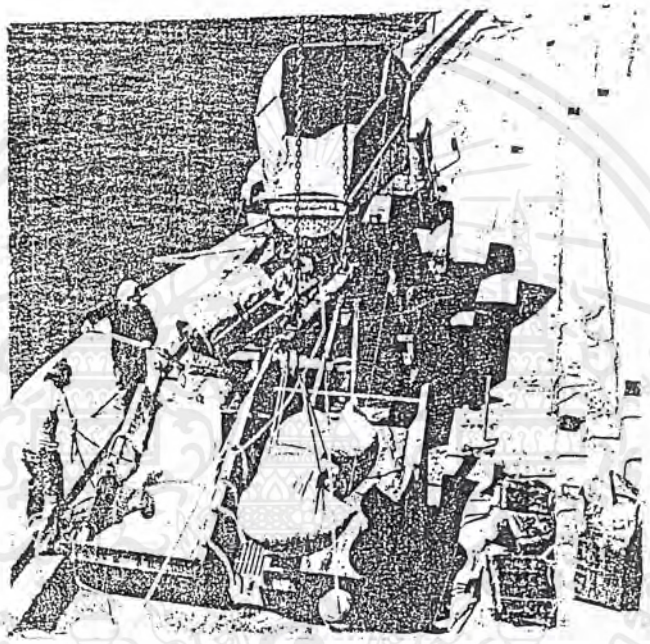
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของสคิปและแสดงการทำงานของสคิป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 วิธีการเทอื่นๆ

2.1.3.1 Toggle bags

เป็นถุงผ้าใบปลายเปิด ปิดทางด้านบน ใช้ในงานเล็ก ๆ โดยหย่อนถุงบรรจุคอนกรีตที่มัดปลายด้วยโซ่หรือเชือกและจะเปิดเมื่อถึงตำแหน่งที่จะเทคอนกรีต การใช้ Toggle bags มีหลักสำคัญเหมือนกับการเทโดยสคิป



รูปที่ 2.3 แสดงวิธีการเทคอนกรีตใต้น้ำโดยใช้Toggle Bags

2.1.3.2 Pumping

เป็นวิธีการเทใต้น้ำโดยให้คอนกรีตไหลผ่านท่อ (Pipeline) ใช้ Pump เป็นตัวเพิ่มความดันให้คอนกรีตซึ่งสามารถส่งคอนกรีตได้ไกลถึง 1000 ม. ในอนาคตวิธีการนี้น่าจะเป็นวิธีการที่ใช้อย่างกว้างขวาง

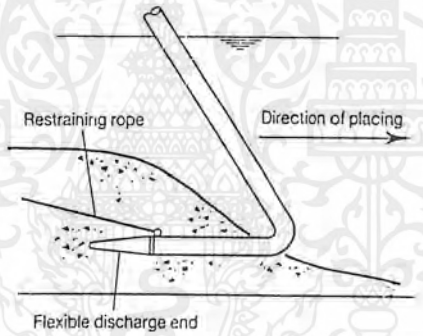
คอนกรีตที่ใช้งานที่เทโดยใช้ท่อทริมมี่สามารถใช้ได้กับ Pump โดยคอนกรีตต้องมีค่าการยุบตัวอย่างน้อย 125 มม. (5 นิ้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.3 Bagwork

วิธีนี้นิยมใช้ในสมัยก่อน ซึ่งจะใช้กันทั่วไปในงานถาวรและซ่อมแซมเพราะสามารถทำได้ง่าย แต่วิธีนี้ปัจจุบันจะใช้ในงานชั่วคราว งานโครงสร้างที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก

การทำงานจะบรรจุคอนกรีตสดลงในถุงที่ทำจากวัสดุพิเศษที่เรียกว่า Hessian ประมาณครึ่งถุง ถ้าบรรจุคอนกรีตสดจนเต็มถุงจะทำงานได้ยาก การบรรจุเพียงครึ่งถุงจะทำให้พื้นที่วางกว้างขึ้น ถุงจะนำไปวางเรียงใต้น้ำเหมือนกับการก่ออิฐ แรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตเกิดขึ้นจากการยึดติดกันของถุงHessian โดยใช้วัสดุยึดดังรูป วิธีนี้คอนกรีตที่ใช้ต้องมีขนาดของมวลรวมที่เหมาะสม เพราะต้องจัดเป็นรูปทรงต่าง ๆ ในขณะที่ทำงานใต้น้ำ



รูปที่ 2.4 แสดงการเทคอนกรีตใต้น้ำโดยวิธีPumping

รูปที่ 2.5 แสดงการเทคอนกรีตใต้น้ำโดยวิธีBagwork

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การออกแบบและการก่อสร้าง

2.1.4.1 แบบหล่อ

แบบหล่อจะประกอบจากไม้หรือเหล็ก แบบหล่อที่ประกอบจากเหล็กจะดีกว่าเพราะหนักกว่าและสามารถจมน้ำได้เอง ถ้าใช้ไม้ทำแบบหล่อจะต้องใช้วัสดุถ่วงเพื่อให้จมน้ำ แบบหล่อต้องแข็งแรงพอที่รับน้ำหนักคอนกรีตที่จะเทลงมา ควรเลือกใช้แบบหล่อที่ประกอบเข้ากันได้ง่ายเพื่อช่วยให้นักประดาน้ำทำงานใต้น้ำได้ง่าย เมื่อประกอบแบบเสร็จแล้วจะใช้ถุงทรายปิดแบบด้านล่างแล้วใช้พลาสติกล้อมรอบและใช้ถุงทรายถมเพื่อความแข็งแรง

การออกแบบฐานรากใต้น้ำควรออกแบบให้มีรูปร่างไม่ซับซ้อนมากนัก เพื่อการทำงานที่ง่ายและรวดเร็ว ในการประกอบแบบควรหลีกเลี่ยงการใช้โบลต์ยึด เพราะจะขัดขวางการไหลของคอนกรีตและอาจทำให้เกิดการแยกตัวในเนื้อคอนกรีตได้

2.1.4.2 แรงดันที่กระทำต่อแบบหล่อ

แรงดันประสิทธิผลบนแบบหล่อจะเกิดจากน้ำหนักอิ่มตัวของคอนกรีตเท่านั้น (นน.คอนกรีต – นน. น้ำ) ค่าแรงดันประสิทธิผลใช้ในการออกแบบแบบหล่อ แต่อย่างไรก็ตามควรคิดแรงดันเหมือนเทคอนกรีตธรรมดาเพราะจะสามารถป้องกันความผิดพลาดได้ เช่น กรณีที่น้ำลด แบบหล่อจะต้องแข็งแรงและทนทานต่อการเทคอนกรีตใต้น้ำ

2.1.4.3 การเสริมเหล็ก

ในการเทคอนกรีตใต้น้ำบางครั้งต้องมีการเสริมเหล็กด้วย ซึ่งสามารถทำได้แต่ไม่สามารถรับรองได้ว่าเหล็กเสริมที่เสริมไปนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพคอนกรีต ไม่ควรเสริมเหล็กมากเกินไป เพราะเหล็กเสริมเพียงเล็กน้อยก็ขัดขวางการไหลของคอนกรีตได้ และจะทำให้เกิดโพรงอากาศในเนื้อคอนกรีตซึ่งมีผลทำลายแรงยึดเหนี่ยว

2.1.4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมได้

ความคลาดเคลื่อนที่ยอมได้ในการเทคอนกรีตใต้น้ำสามารถเกิดขึ้นได้คล้ายกับคอนกรีตธรรมดา แต่ต้องใช้ความพยายามและค่าใช้จ่ายสูงมากในการควบคุมความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2.1.4.5 การเตรียมสภาพพื้นที่

การเตรียมสภาพพื้นที่ของการเทคอนกรีตใต้น้ำเหมือนกับการเทในสภาวะปรกติ คือต้องทำความสะอาดพื้นด้านล่างและเตรียมพื้นที่เท เมื่อต้องเทคอนกรีตในบริเวณที่มีตะกอนทับถมอยู่จะต้องทำการขนย้ายตะกอนออกไปจากบริเวณนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.6 การปาดผิวหน้าคอนกรีต

การเทโดยใช้สคิปสามารถทำงานปาดหน้าคอนกรีตได้ เพราะนักดำน้ำสามารถควบคุมคอนกรีตที่นำไปเทใต้น้ำให้เทตรงตำแหน่ง และทำงานปาดหน้าต่อไปได้ในทันที การปาดผิวหน้าคอนกรีตไม่ควรกว้างเกิน 6 ม. (20 ฟุต) เพราะถ้าปาดกว้างมากกว่านี้จะเป็นการรบกวนคอนกรีตมากเกินไป

2.1.4.7 การดูแลรักษา

ในทางปฏิบัติการซ่อมแซมคอนกรีตใต้น้ำให้เป็นที่น่าพอใจเป็นไปได้ยาก เมื่อมีตำหนิอาจจำเป็นต้องตัดส่วนที่ไม่ได้คุณภาพทิ้งไปแล้วใช้วัสดุพิเศษอุดในจุดนั้น ในบางครั้งเมื่อเทคอนกรีตลงไปแล้วเกิดปัญหา เช่น ปลายท่อทริมมี่หลุดออกจากกองคอนกรีต อาจต้องมีการกำจัดส่วนที่ไม่ได้คุณภาพทิ้ง จึงต้องอาศัยเครื่องมือพิเศษทำการย้ายคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คอนกรีตสำหรับเทใต้น้ำ(Underwater Concrete)

ในการเทคอนกรีตใต้น้ำเมื่อคอนกรีตสดสัมผัสน้ำหรือเมื่อน้ำไหลผ่านผิวคอนกรีตสด คอนกรีตในส่วนที่สัมผัสกับน้ำจะถูกชะล้างและเกิดการสูญเสียซีเมนต์เพสต์ ดังนั้นการเทคอนกรีตใต้น้ำควรจะป้องกันไม่ให้คอนกรีตสัมผัสน้ำโดยตรง หลีกเลี่ยงการทำงานใต้น้ำที่ส่งผลกระทบต่อคอนกรีตที่เทแล้ว และที่สำคัญที่สุดคอนกรีตต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการทำงานใต้น้ำ

โดยทั่วไปคอนกรีตสามารถเทผ่านน้ำอย่างช้า ๆ ได้ แต่ในบริเวณที่น้ำไหลเร็วควรจะป้องกันผิวคอนกรีตไม่ให้สัมผัสกับน้ำโดยตรงหรือเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำ ในการเทคอนกรีตใต้น้ำต้องยึดหลักการที่ว่าคอนกรีตในส่วนที่สัมผัสกับน้ำเป็นคอนกรีตที่เสื่อมคุณภาพต้องกำจัดทิ้ง แต่คอนกรีตที่อยู่ด้านล่างและไม่สัมผัสกับน้ำถือว่ายังมีประสิทธิภาพสมบูรณ์

คุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้งานนั้นมีผลมาจากการเลือกใช้วัสดุผสมและคุณสมบัติของวัสดุนั้น ๆ ซึ่งคอนกรีตที่ใช้ทั้งในรูปคอนกรีตเหลวและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วนั้นต้องมีคุณสมบัติที่ตรงตามความต้องการในการนำไปประยุกต์ใช้ โดยทั่ว ๆ ไปคุณสมบัติของคอนกรีตเทใต้น้ำที่ต้องคำนึงถึงได้แก่ คุณสมบัติในการไหล ความสามารถในการเทได้ การรับกำลังอัดและความทนทาน

ส่วนผสมของคอนกรีตที่ออกแบบจะต้องคำนึงถึงความประหยัดและความเป็นไปได้ในการทำงานจริง คอนกรีตที่ใช้ควรออกแบบให้มีความประหยัดมากที่สุด แต่ในบางกรณีการที่ใช้อัตราส่วนผสมที่มีราคาสูงกว่าก็อาจให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่ามากกว่า เช่นทำงานได้ง่ายขึ้นสามารถทำงานได้รวดเร็วซึ่งจะประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนอื่น ๆ ได้

*Portland Cement Association ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ในการเทใต้น้ำไว้ดังนี้

" คอนกรีตที่ใช้จะต้องมีความเหนียวและยืดหยุ่น แต่ยังมีความสามารถในการไหลได้ดี โดยจะต้องมีค่าการยุบตัวสูงซึ่งจะมีค่าประมาณ 150 มม. – 180 มม. และในบางครั้งจะต้องใช้อัตราส่วนผสมที่สิ้นเปลืองกว่าปรกติ โดยอาจต้องใช้ปริมาณซีเมนต์ประมาณ 350 กก.ต่อลบ.ม. อัตราส่วนระหว่างมวลรวมหยาบกับมวลรวมละเอียดจะต้องเหมาะสมต่อสภาพการนำไปใช้งาน โดยทั่ว ๆ ไปมักจะมีปริมาณมวลรวมละเอียดประมาณ 35-50 % ของมวลรวมทั้งหมดและต้องมีปริมาณมวลรวมละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 150-300 ไมโครเมตร เพื่อช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ASTM ได้กล่าวเพิ่มเติมว่าจะต้องมีปริมาณของมวลรวมละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร

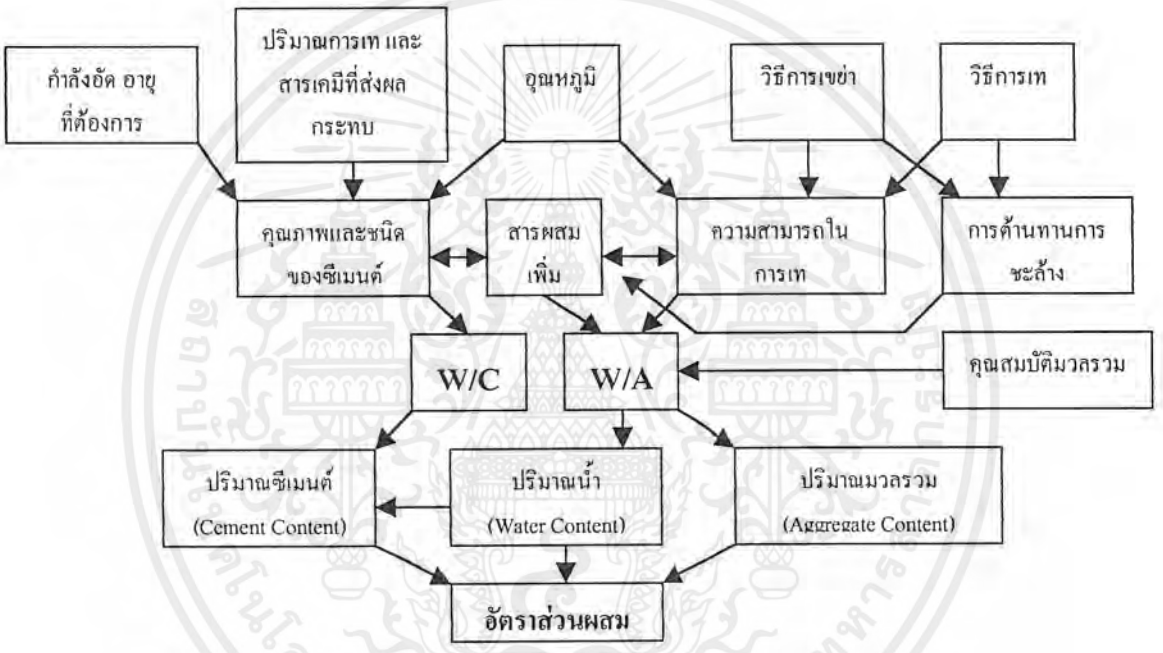
---

* Properties of Concrete 4th ed , A.M. Neville

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่น้อยกว่า 2 % ของมวลรวมละเอียด และผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมโครเมตรไม่น้อยกว่า 10 % ของมวลรวมละเอียด ขนาดของมวลรวมหยาบต้องมีขนาดประมาณ 20-40 มม. "

ในการทำงานคอนกรีตใต้น้ำคุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งเพิ่มเติมจากคอนกรีตโดยทั่วไปก็คือคุณสมบัติในการต้านทานการชะล้าง ดังนั้นในการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตต้องใส่ใจในการเลือกขนาดของมวลรวม ซีเมนต์ และการใช้สารผสมเพิ่ม สามารถสรุปความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงความเป็นมาและผลกระทบของค่าต่าง ๆ ในการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต

2.2.1 กำลังอัด อายุคอนกรีตที่ต้องการ (Strength/Age Requirements)

ในการทำงานแต่ละที่จะมีเงื่อนไขของคุณสมบัติคอนกรีตที่ใช้แตกต่างกันไป ซึ่งจะเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในแต่ละที่นั้น คอนกรีตที่ใช้มีค่ากำลังอัดแตกต่างกันได้ตั้งแต่ 25 เมกกะปาสคาล (สำหรับฐานรากของเขื่อน) จนถึงประมาณ 65 เมกกะปาสคาล (สำหรับฐานรากของแท่นเจาะน้ำมัน) จะเห็นได้ว่ากำลังอัดที่ต้องการของแต่ละกรณีนั้นขึ้นกับลักษณะการใช้งานของโครงสร้างนั้น ๆ โดยจะคิดว่ากำลังอัดสามารถรับน้ำหนักได้เต็มที่100 % ที่ 28 วันหลังจากเทเสร็จ

ในการทำงานในบางกรณีที่ต้องการความรวดเร็วและสามารถใช้งานได้ในทันทีนั้น เราสามารถทำได้โดยการใช้การหล่อสำเร็จแทนการหล่อในที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วัสดุ (Materials)

2.2.2.1 มวลรวม (Aggregate)

ในการทำงานในหน้างานจริงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ให้มีความเหมาะสมกับการเทใต้น้ำ โดยคุณสมบัติที่สำคัญคือคุณสมบัติในการเทได้ คุณสมบัติการไหล และคุณสมบัติในการอัดแน่นด้วยตัวเอง ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีผลเชื่อมโยงมาจากการเลือกมวลรวม และส่วนคละในมวลรวม และถ้ามวลรวมในคอนกรีตมีขนาดที่เหมาะสมมีส่วนคละที่ดีจะทำให้คอนกรีตสามารถต้านทาน การแยกตัว(Segregation) การเยิ้ม (Bleeding) ในขณะเทด้วย

มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมวลรวมหยาบที่มีรูปร่างค่อนข้างกลมมน กับมวลรวมหยาบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม จะพบว่ามวลรวมหยาบที่มีรูปร่างกลมมนเมื่ออัดแน่นจะมีความหนาแน่นที่มากกว่ามวลรวมหยาบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม และยังจะสามารถช่วยลดปริมาณน้ำที่ต้องใช้เพื่อให้มีความสามารถในการทำงานได้เท่ากัน แต่ในการใช้มวลรวมหยาบที่มีรูปร่างค่อนข้างกลมมนจะต้องพิจารณาถึงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมด้วย ดังนั้นจะต้องเพิ่มปริมาณทรายและซีเมนต์เพื่อที่จะลดการเกิดการแยกตัวและการเยิ้ม

แต่ในกรณีที่ต้องการความแข็งแรงและความทนทานต่อการสึกกร่อน ก็จำเป็นที่จะต้องใช้มวลรวมหยาบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม โดยในกรณีแบบนี้เราต้องให้ความสำคัญกับการเลือกมวลรวมหยาบที่มีส่วนคละที่ดี ขนาดของมวลรวมหยาบที่ใช้จะมีขนาดประมาณ 20 – 40 มม.

มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)

ทรายที่ผสมในคอนกรีตที่ใช้ในการเทใต้น้ำ ที่เหมาะสมควรมีส่วนผสมที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมโครเมตรได้ประมาณ 15-30 % ของมวลรวมละเอียด ซึ่งส่วนผสมของทรายที่มีขนาดเล็กตามที่กำหนดไว้จะสามารถช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวในคอนกรีตที่ต้องเทใต้น้ำได้ แต่กรณีที่ไม่สามารถหาทรายที่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ สามารถแก้ไขได้ โดยการเพิ่มปริมาณซีเมนต์หรือผสมปูนซีเมนต์กากเตาถลุง (Portland Blast-Furnance-Slag Cement) ลงไปในทรายที่ใช้ทำงาน

2.2.2.2 ส่วนคละ (Grading)

คอนกรีตที่เทใต้น้ำต้องมีคุณสมบัติในการทำงานและการอัดแน่นเอง (Self Compacting) และยังต้องการแรงยึดเหนี่ยวที่สูงเพื่อต้านทานการแยกตัวและการเยิ้ม คุณสมบัติของคอนกรีตเทใต้น้ำโดยทั่ว ๆ ไป มีคุณสมบัติคล้าย ๆ กับคอนกรีตที่ใช้กับปั๊มคอนกรีต โดยคอนกรีตที่ใช้ทำงานกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปั๊มก็มีคุณสมบัติข้างต้นแต่ว่าต้องมีการคำนึงถึงการหล่อลื่นในท่อส่งโดยการเพิ่มปริมาณซีเมนต์หรือมอร์ต้าร์เข้าไปในเนื้อคอนกรีต แต่คอนกรีตที่ใช้เทใต้น้ำต้องมีการใช้ปริมาณซีเมนต์ที่สูงกว่าทั่วไปเพราะต้องเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว ต้านทานการแยกตัว และเผื่อจากการสูญเสียจากการชะล้าง (Washout)

ปริมาณทรายที่ใช้ในคอนกรีตเทใต้น้ำจะต้องปริมาณอย่างน้อย 40 % ของปริมาณมวลรวมทั้งหมด แต่ในกรณีที่มีการใช้มวลรวมหยาบเป็นหินที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม ปริมาณที่ใช้จะต้องปรับแก้ให้มากขึ้น

2.2.3 ซีเมนต์ (Cement)

ปัญหาที่พบเป็นประจำในการเทคอนกรีตใต้น้ำมักเป็นปัญหาที่สืบเนื่องมาจากสารที่เจือปนอยู่ในน้ำได้แก่ ซัลเฟต (Sulphates)ที่อยู่ในน้ำใต้ดินและที่มีอยู่มากในน้ำทะเลซึ่งจะเป็นสาเหตุสำคัญในการทำให้เกิดปฏิกิริยากับสาร Tricalcium Aluminate (C_3A) ซึ่งผสมอยู่ในปูนซีเมนต์และจะทำให้เกิดปัญหาการบวมตัวและจะตามมาด้วยการแตกร้าวของคอนกรีต โดยทั่วไปปริมาณปูนที่ใช้ในคอนกรีตเทใต้น้ำจะมีค่ามากกว่าปกติ (ประมาณ 350 กก.ต่อลบ.ม.) จุดประสงค์หนึ่งก็เพื่อที่จะต้านทานการเกิดปฏิกิริยากับซัลเฟต นอกจากวิธีการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตแล้วการแก้ปัญหาจากซัลเฟตอาจแก้โดยใช้ปูนซีเมนต์ที่ต้านทานการเกิดปฏิกิริยากับซัลเฟต (Type II ,Type V)

สารคลอไรด์ (Chlorides) ที่พบในน้ำทะเลสามารถช่วยลดการเสื่อมคุณภาพและการกระจายตัวของรอยแตกร้าวได้ โดยสารคลอไรด์จะช่วยแก้ปัญหาที่เกิดจากยิปซั่ม(Gypsum)และ Calcium Sulphoaluminate ที่มาจากปฏิกิริยาจากซัลเฟตกับปูนซีเมนต์

แต่อย่างไรก็ตามคลอไรด์ก็ก่อให้เกิดปัญหาได้เช่นกัน ในแท่นเจาะน้ำมันสารคลอไรด์ในน้ำทะเลนอกจากแก้ปัญหาจากสารซัลเฟตแต่ยังก่อให้เกิดปัญหาเนื่องจากความดันที่เกิดจากผลึกเกลือจากคลอไรด์ที่ระเหยเข้าไปยังรูพรุนในเนื้อคอนกรีตและตกผลึก แต่สามารถแก้ไขได้โดยการใช้สารกันซึมจะลดปัญหาเหล่านี้ได้

การเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีตที่เทใต้น้ำจากการลดรูพรุนที่เกิดขึ้นสามารถทำได้ โดยการออกแบบคอนกรีตให้มีความสามารถในการอัดตัวเองได้ดี โดย ACI Committee 201.2R ได้ให้ข้อเสนอแนะในการกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C Ratio) ว่าสำหรับ ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สำหรับคอนกรีตเทใต้น้ำไม่ควรเกิน0.45 เพราะถ้ามีการใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่มากกว่านี้น้ำที่ระเหยออกไปจะก่อให้เกิดรูพรุนเล็ก ๆ จำนวนมาก ส่วนปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ต้องคำนึงถึงสารเคมีที่เจือปนอยู่ในน้ำด้วยว่ามีปริมาณเท่าใด โดยเราสามารถแบ่งแยกชนิดของปูนซีเมนต์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33945

2.2.3.1 Ordinary Portland Cement (OPC)

(OPC หรือ ASTM Type I) จะมีปริมาณสาร C_3A มากกว่า 10% โดยจะมีความเหมาะสมกับการใช้ในคอนกรีตเทใต้น้ำที่มีปริมาณสารซัลเฟตไม่เกิน 1200 ppm และโครงสร้างที่ต้องจมอยู่ใต้น้ำตลอดเวลา

2.2.3.2 Sulphate - Resisting Portland Cement (SRPC)

(SRPCหรือ Type II ,Type V) จะมีปริมาณสาร C_3A น้อยกว่า 5% โดยการลดสาร C_3A นี้จะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากสารซัลเฟตและคลอไรด์ได้ดี โดยจะใช้ในน้ำที่มีปริมาณสารซัลเฟตและคลอไรด์เกินกว่า 1200 ppm โดยจะใช้ในบริเวณที่ทำงานเหนือน้ำในแท่นเจาะน้ำมันที่มีการระเหยของคลอไรด์ การลดสาร C_3A นอกจากจะสามารถช่วยลดการเกิดปัญหาในเนื้อคอนกรีตแล้วยังช่วยลดปัญหาที่เกิดในเหล็กเสริมได้โดยจะช่วยลดการสึกกร่อนในเหล็กเสริมได้

2.2.3.3 Low – Heat Portland Cement (LHPC)

การเทคอนกรีตใต้น้ำขนาดใหญ่มักจะมีปัญหาการแตกร้าวที่เนื่องมาจากอุณหภูมิที่มีการใช้ปริมาณซีเมนต์ที่สูงมาก LHPC ไม่เพียงแต่จะช่วยลดการเกิดอัตราความร้อนที่สูงแล้ว ยังสามารถลดปัญหาที่เกิดจากสาร C_3A ได้อีกด้วย

2.2.4 สารผสมเพิ่มป้องกันการชะล้าง (Anti – Washout Admixtures)

สารผสมเพิ่มป้องกันการชะล้างนอกจากจะป้องกันการชะล้างซีเมนต์ออกจากเนื้อคอนกรีตแล้ว ยังช่วยลดการแยกตัว ปรับปรุงคุณสมบัติในการทำงานใต้น้ำให้สามารถทำงานเข้ากับสถานะการณ์ต่าง ๆ ได้หลากหลายขึ้น ปรับปรุงคุณสมบัติการไหลและคุณสมบัติการอัดแน่นด้วยตัวเอง

เราสามารถให้คำจำกัดความคอนกรีตที่ผสมสารผสมเพิ่มหรือ Non–Dispersible Concrete (NDC)ได้ว่าคือ คอนกรีตที่สามารถตกลงอย่างอิสระลงไปในน้ำได้ลึก 1 m ได้โดยปราศจากการชะล้างจากน้ำ

2.2.4.1 การปรับปรุงคุณสมบัติแรงยึดเหนี่ยว (Cohesive Improvement)

สารเคมีที่เราใช้เพื่อใช้ผลิต NDC สามารถแบ่งแยกได้ดังนี้

- โพลิเมอร์ตามธรรมชาติ (Natural Polymers) เช่นGum Arabic, Methycellulose
- โพลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymers) เช่น Polyacrylamides,Polyacrylic Acid
- ผงฝุ่นอนินทรีย์ (Inorganic Powders) เช่น Silica Gel,Bentonite,Micro Silica
- สารผสมเพิ่มอื่น ๆ (Surface – Active Agent) เช่น อากาศ หรือ สารพลาสติกไทเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Admixture	Property/Influence
Micro Silica	Compatible with cement
	Increase compressive strength and tensile strength
	Reduce porosity
	Increase durability
	Increase resistance to abrasion – erosion effect
	Increase cohesion
Non – ionic cellulose ether	Compatible with cement
	Retards hydration reaction
	Large increase viscosity
	Large increase cohesion
	Very good segregation resistance
	Self – levelling / compacting
Non – ionic polyacrylamide	Compatible with cement
	Retards hydration reaction
	Large increase viscosity
	Large increase cohesion
	Excellent segregation resistance
	Flow resistance

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและผลข้างเคียงของสารผสมเพิ่ม

จะเห็นได้ว่าสารเคมีแต่ละตัวให้ผลที่แตกต่างกันออกไปและยังมีผลข้างเคียงอื่น ๆ ตามมาอีกด้วย ในการทำงานจริง ๆ เรามักจะใช้น้ำยาที่ได้จากการผสมสารเคมีหลายชนิดเข้าด้วยกัน โดยผ่านการทดสอบจากบริษัทผู้ผลิตว่าควรใช้น้ำยานั้น ๆ ในปริมาณเท่าใดเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในด้านการป้องกันการชะล้าง และจะเกิดผลข้างเคียงใดตามมาบ้าง ซึ่งในบางครั้งอาจผสมน้ำยาหน่วงหรือน้ำยากันซึมเพิ่มเข้าไปด้วยขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.2 การปรับปรุงคุณสมบัติการไหล

การปรับปรุงคุณสมบัติการไหลของคอนกรีตเทใต้น้ำสามารถทำได้โดยการเพิ่มสาร Superplasticizers เพื่อที่จะเพิ่มคุณสมบัติให้เป็นไปตามต้องการ นอกจากนี้การผสมน้ำยาลดน้ำก็สามารถเพิ่มคุณสมบัติในการไหลได้โดยทางอ้อมอีกด้วย คุณสมบัติการไหลได้เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมากเพราะเนื่องจากจะมีผลกระทบต่อเนื่องไปถึงคุณสมบัติอื่น ๆ ที่ตามมาเช่น การอัดแน่น กำลังอัดของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

2.2.4.3 การใช้สารผสมเพิ่มแทนซีเมนต์โดย PFA หรือ GGFS

การใช้วัสดุปอซโซลาน(Pozzolanic Meterials)เข้าช่วย เช่น ผงถ่านหิน (PFA:Pulverized Fuel) ที่ได้จากการเผาถ่านหินในโรงไฟฟ้า กากตะกรันเตาถลุง (GGFS:Ground Granulated Blast Furnace Slag) ที่ได้จากการผลิตเหล็ก วัสดุเหล่านี้สามารถนำมาผสมคอนกรีตได้ในหลาย ๆ กรณี ในกรณีที่มีการทำงานคอนกรีตหลา สามารถนำเอาวัสดุดังกล่าวมาใช้ผสมในคอนกรีตเพื่อป้องกันการแตกร้าวได้ นอกจากนี้ยังสามารถลดการชะล้างในการทำงานใต้น้ำได้ถึง 10% เนื่องมาจากสารประกอบในวัสดุนั้น ๆ แต่สารผสมเพิ่มเหล่านี้ควรใช้ในปริมาณที่พอเหมาะเพราะถ้าใช้ในปริมาณมาก ๆ ก็จะให้ผลที่คงที่ ในอนาคตคาดว่าการประยุกต์ใช้วัสดุปอซโซลานในคอนกรีตใต้น้ำน่าจะได้รับการวิเคราะห์และศึกษาจนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้มากขึ้น

2.2.5 คุณสมบัติที่ต้องการของคอนกรีตใต้น้ำ

เราสามารถสรุปคุณสมบัติต่าง ๆ ที่สำคัญในการทำงานใต้น้ำได้คือ

- ความแข็งแรงและความทนทาน
- ความสามารถในการบดอัดตัวเอง
- ความสามารถในการไหล
- แรงยึดเหนี่ยวภายในเนื้อคอนกรีต
- การต้านทานการชะล้าง

การออกแบบอัตราส่วนผสมต้องออกแบบให้สอดคล้องกับคุณสมบัติที่ต้องการข้างต้น เช่น ในเรื่องของกำลังอัดอาจประมาณได้โดยทำการเก็บตัวอย่างจากการเทบนบกแบบปกติแล้วใช้ข้อมูลต่าง ๆ คาดหมายลักษณะของคอนกรีตที่จะเทในน้ำโดยเผื่อการสูญเสียกำลังอัดด้วย

2.2.5.1 คอนกรีตที่ไม่ได้ผสมสารผสมเพิ่ม

การทำงานเทคอนกรีตใต้น้ำมีวิธีการเทคอนกรีตหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้และทำได้ง่ายที่สุดก็คือการใช้ท่อทริมมี่ โดยถ้าการก่อสร้างมีการควบคุมงานที่ดีมีคุณภาพ ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่เทใต้น้ำจะมีค่าลดลงเหลือประมาณ 90%ของการเทบนบกแบบปรกติ แต่ถ้าการทำงานไม่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมงานที่ดีหรือดูแลอย่างใกล้ชิดจากวิศวกร ค่ากำลังอัดที่ได้อาจมีค่าต่ำกว่าการเทบนบกแบบปรกติมากซึ่งอาจลดลงเหลือเพียงแค่ 20%ของการเทบนบกในสภาวะปรกติ

การสูญเสียค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีได้หลายสาเหตุอาจเนื่องมาจาก การแยกตัวของเนื้อคอนกรีตหรือจากการชะล้างเนื้อซีเมนต์ที่อยู่ในคอนกรีต ถ้าการทำงานไม่ได้มีการควบคุมงานที่ดี พบว่าปริมาณซีเมนต์ที่เหลืออาจมีเหลืออยู่แค่ 25%เท่านั้น

ในการทำงานเทคอนกรีตใต้น้ำเราไม่สามารถกระทุ้งหรือเขย่าคอนกรีตโดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ ได้ เพราะจะเป็นสาเหตุของการฟุ้งกระจายของเนื้อซีเมนต์และยังไม่สามารถทำได้ทั่ว แต่เราจะใช้คุณสมบัติการไหลลงแบบเองและการยุบตัว (Settlement) ของคอนกรีตในการทำให้คอนกรีตอัดแน่นในช่วงขณะที่กำลังทำการเทอยู่ โดยทั่วไปแนะนำให้คอนกรีตที่ใช้ในการเทใต้น้ำมีค่าการยุบตัว (Slump) ประมาณ 120 – 200 มม. โดยสิ่งเหล่านี้จะเป็นค่าเบื้องต้นในการทำการทดลองผสมอัตราส่วนของคอนกรีต

คอนกรีตที่ไม่ผสมสารผสมเพิ่มจะมีปัญหาในเรื่องของรูพรุนในเนื้อคอนกรีต เนื่องจากต้องใช้ปริมาณน้ำที่มากเพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวที่ต้องการ และอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแยกตัวได้ เราสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ให้สูงขึ้น โดยจะใช้ประมาณ 325 – 450 กก.ต่อลบ.ม. จากการทำงานจริงในหน้างานจะพบได้ว่าคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ ๆ จะมีความทนทานต่อการสึกกร่อนได้ดีกว่า แต่ทว่าการทำงานจะต้องคำนึงถึงช่องว่างที่เกิดขึ้นและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมที่ต้องใช้ซีเมนต์เพสต์ในการเชื่อมยึด ทำให้เราต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่สูงมาก ๆ จนบางครั้งอาจทำให้เกิดการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิได้ นี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เราต้องมีสารผสมเพิ่มเข้าไปหรือใช้วัสดุผสมแทนซีเมนต์

2.2.5.2 คอนกรีตที่ผสมสารผสมเพิ่ม (Non – Dispersible Concrete (NDC))

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นว่าคอนกรีตที่เทใต้น้ำมีข้อบกพร่องในเรื่องของการควบคุมคุณภาพและความยากในการทำงาน โดยต่อมาได้มีการพัฒนาคอนกรีตที่เทใต้น้ำโดยเฉพาะที่เรียกกันว่า Non–Dispersible Concrete ซึ่งเป็นคอนกรีตที่สามารถปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวของซีเมนต์เพสต์และความต้านทานการชะล้าง และยังช่วยให้ทำงานโดยใช้ท่อทริมมี่ได้อย่างมีคุณภาพและมีความสม่ำเสมอได้มากขึ้นจากเดิมที่ควบคุมได้ยากเนื่องมาจากอัตราการไหลไม่คงที่และความไม่สม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การทดสอบวัสดุและการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต

3.1 การทดสอบคุณภาพวัสดุที่ใช้

จากบทที่แล้วได้กล่าวเกี่ยวกับคุณสมบัติของมวลรวม ซีเมนต์ และสารผสมเพิ่มของคอนกรีตที่ใช้ในการทำงานใต้น้ำ ว่าต้องมีคุณสมบัติอย่างไรจึงจะเหมาะสมและสามารถสรุปได้คือ

- ใช้หินรูปร่างค่อนข้างกลมมีขนาดสม่ำเสมอโดยทั่วไปใช้หินเบอร์ 1 (¾ นิ้ว หรือ 20 มม.)
- ใช้ทรายสะอาดมีส่วนละเอียดเล็กกว่า 300 ไมโครเมตร อย่างน้อย 15-20% แต่ถ้าหาไม่ได้ให้เพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์หรือผสมวัสดุปอซโซลาน
- ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ (Cement Content) มีค่าประมาณ 350 – 400 กก.ต่อลบ.ม.
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water/Cement Ratio) ควรมีค่าไม่เกิน 0.45
- ค่าการยุบตัว (Slump) ที่ต้องการมีค่า 120 – 200 มม.

โดยคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตที่ต้องการนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมวลรวมด้วยโดยคุณสมบัติต่าง ๆ ของมวลรวมที่จำเป็นต้องทดสอบมีดังนี้

หิน

- หน่วยน้ำหนักแห้งและอัดแน่นของหิน (Unit Weight Of Coarse Aggregate)
- ค่าความถ่วงจำเพาะของหิน (Specific Gravity of Coarse Aggregate)
- ปริมาณความชื้นในหิน (Moisture Content Of Coarse Aggregate)
- เปอร์เซ็นต์การดูดซึมของหิน (Percent Absorption of Coarse Aggregate)
- ขนาดโตสุดของหิน

ทราย

- ค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย (Finess Modulus)
- ค่าความถ่วงจำเพาะของทราย (Specific Gravity of Fine Aggregate)
- ปริมาณความชื้นในทราย (Moisture Content Of Fine Aggregate)
- เปอร์เซ็นต์การดูดซึมของทราย (Percent Absorption of Fine Aggregate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่ใช้ในการทำการทดสอบนำมาจากร้านขายวัสดุก่อสร้าง เราได้ทำการทดสอบวัสดุที่ใช้โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อนำผลการทดสอบไปใช้ในการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต
2. เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุว่าเป็นไปตามที่ต้องการสำหรับงานเทคอนกรีตใต้น้ำหรือไม่

โดยการทดสอบคุณสมบัติวัสดุมีดังต่อไปนี้

1. การทดสอบหาส่วนคละของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด
   (ASTM : C 136 – 84)
2. การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการดูดซึมของมวลรวมละเอียด
   (ASTM : C 128 – 84)
3. การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการดูดซึมของมวลรวมหยาบ
   (ASTM : C 127 – 84)
4. การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม
   (ASTM : C 29 – 76)
5. การหาปริมาณความชื้นในมวลรวม
   (ASTM : C 566-67)

โดยรายละเอียดในการทำการทดสอบและผลการทดสอบมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

(Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates)

AASHTO : T 27 – 78

A S T M : C 136 – 84

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาขนาดของมวลรวมคละ โดยใช้ตะแกรงขนาดมาตรฐานสำหรับหาค่าพิกัดความละเอียด (Fineness modulus) ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของอนุภาคในมวลรวมที่กำหนดให้ นั่นคือ มวลรวมยิ่งหยาบค่าพิกัดความละเอียดก็ยิ่งสูงขึ้น

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มวลรวมละเอียด คือทรายประมาณ 500 กรัม
2. มวลรวมหยาบ คือหินหรือกรวด ประมาณ 1000 กรัม
3. ตะแกรงขนาดมาตรฐาน เบอร์ 4 (หรือ 3/16") 8 16 30 50 และ100 สำหรับทราย
4. ตะแกรงขนาดมาตรฐานขนาด 3" 2 ½" 2" 1 ½" 1" ¾" ½" 3/8" และ No. 4 สำหรับหินหรือกรวด
5. เครื่องเขย่าตะแกรง ชนิดมอเตอร์ หรือมือหมุน สำหรับทราย
6. เครื่องเขย่าตะแกรง ชนิดมอเตอร์ สำหรับหินหรือกรวด
7. เตาชั่งขนาดใหญ่ วัดได้ละเอียดถึง 0.1%
8. เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การหาส่วนขนาดคละของทราย

1. เตรียมทรายสำหรับทดสอบด้วยการตรวจดูว่าชื้นหรือไม่ ปรกติควรเป็นทรายที่แห้ง หากชื้นเกินไปควรอบเสียก่อน
2. เตรียมชุดของตะแกรงด้วยการทำความสะอาด ไม่ให้มีเศษฝุ่นผงค้างอยู่ภายในช่อง ชั่งน้ำหนักตะแกรงทุกขนาดและบันทึกไว้ พร้อมกับจัดเรียงซ้อนตามลำดับพร้อมถาดรองอยู่ล่างสุด
3. ค่อย ๆ เททรายที่เตรียมพร้อมไว้แล้วลงในชุดตะแกรง ปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่า จับเวลาประมาณ 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ถึงขณะนี้ทรายที่มีเม็ดขนาดต่าง ๆ จะถูกแยกแยะไปอยู่ในตะแกรงขนาดต่าง ๆ เช่นกัน ให้นำตะแกรงที่มีทรายค้างอยู่นั้นไปชั่งและจดบันทึกไว้อีกครั้งหนึ่งแล้วคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดต่อไป

ข) การหาส่วนขนาดคละของหิน

1. เตรียมหินสำหรับทดลอง หากเป็นหินขนาดเล็กคือมีขนาดโตสุดไม่เกิน 1" ให้ใช้ประมาณ 5 กก. แต่หากเป็นหินใหญ่ควรใช้ประมาณ 20 กก.
2. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองของทราย ตั้งแต่ข้อ 2 – 4

หมายเหตุ*

1. ค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวมจะหาได้จากผลรวมของอัตราที่ค้างอยู่บนตะแกรงหารด้วย 100

(Sand) F.M. = (Cumulative % retained) / 100

(Coarse)F.M. = (Cumulative % retain,including No.4 + 500) / 100

2. ทรายทั่วไปแบ่งเป็นทรายละเอียดมาก ทรายละเอียดและทรายหยาบแต่ละชนิดมีค่าพิกัดความละเอียดแตกต่างกัน ดังนี้

ทรายละเอียดมาก	ค่า F.M.	=	0.50 – 1.50
ทรายละเอียด	ค่า F.M.	=	1.50 – 2.50
ทรายหยาบ	ค่า F.M.	=	2.50 – 3.50

สำหรับทรายที่ใช้ในงานคอนกรีต ควรมีค่าพิกัดควรละเอียดอยู่ระหว่าง 2.3 – 3.1

3. หินหรือกรวดที่ใช้ในงานคอนกรีต ควรมีค่าพิกัดความละเอียดระหว่าง 5.5 – 8

4. ในการทำ Mix design ใช้ค่า F.M. ของทรายเป็นหลัก เนื่องจากมีผลทาง workability มาก ทรายที่มีความละเอียดมาก (F.M.ต่ำ) จะทำงานได้ดีกว่า ค่า F.M. ของกรวดหินไม่ใช้ใน Mix design

5. นอกจากนี้ ยังสามารถตรวจสอบการเรียงตัวของมวลรวมว่า เหมาะสมหรือไม่จากการพล็อตกราฟของ grading curve และเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงมาตรฐานส่วนคละของมวลรวม

ก. สำหรับมวลรวมละเอียด (ทราย)

ขนาดตะแกรง	ค่าอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง
3/8"	100
No. 4	95 – 100
No. 8	80 – 100
No. 16	50 – 85
No. 30	25 – 60
No. 50	10 – 30
No. 100	2 – 10

ข. สำหรับมวลรวมหยาบ (หินหรือกรวด)

ขนาดตะแกรง	ค่าอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง						
	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100
1½"	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
1"	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
¾"	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
½"	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

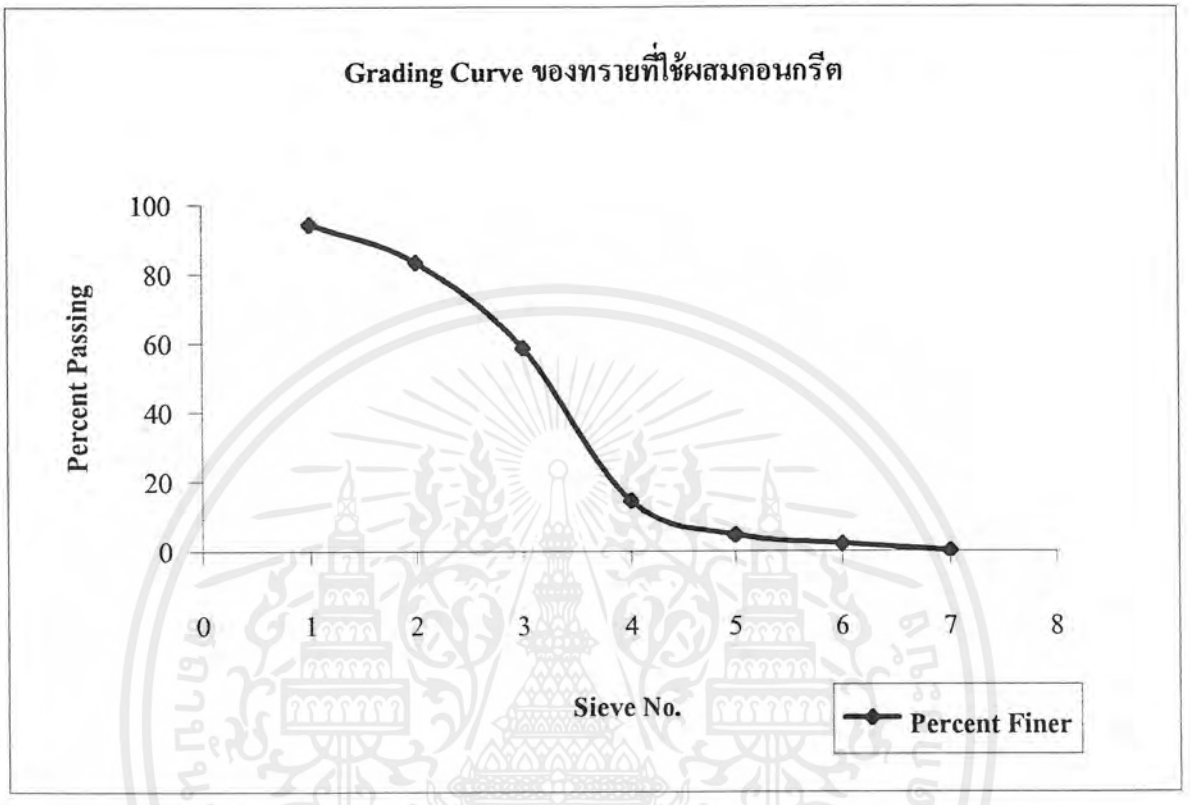
ตารางที่ 3.2 บันทึกผลการทดสอบการหาโมดูลัสความละเอียดของทราย

Finess Modulus of Fine Aggregate

Sieve No.	Sieve Wide (mm)	Wt.Sieve (g)	Wt.Sieve +Sample (g)	Wt.Sample Retained (g)	Percent Retained	Cumulative Percent Retained	Percent Finer
No.4	4.75	506	534	28	5.62	5.62	94.38
No.8	2.38	475	530	55	11.04	16.67	83.33
No.16	1.18	457	580	123	24.70	41.37	58.63
No.30	0.595	460	680	220	44.18	85.54	14.46
No.50	0.297	428	477	49	9.84	95.38	4.62
No.100	0.15	367	380	13	2.61	97.99	2.01
Pan		367	377	10	2.01	100.00	0.00
				498	100		
						Finess Modulus =	**2.57**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แสดงส่วนคละของทรายที่ใช้ผสมคอนกรีต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด

(Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate)

A S T M : 128 – 84

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึมของมวลรวมละเอียดเช่นทรายภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง นอกจากนี้หินหรือกรวดที่มีขนาดเล็กไม่เกิน ¾ " ก็สามารถใช้วิธีทดสอบได้เช่นกัน

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ทราย ประมาณ 1200 –1500 กรัม ที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
2. พิคโนมิเตอร์(Pycnometer)ซึ่งประกอบด้วยขวดโหลแห้งสำหรับบรรจุขนาด 1 ควอ๊ต ที่มีฝาแก้วปิดในแนวราบสนิทแน่นกับปากขวด
3. ตาชั่งวัดละเอียดถึง 0.1 กรัม
4. โถแก้วกันความชื้น

ขั้นตอนการทดลอง

1. แบ่งทรายที่เตรียมไว้เป็นสองส่วนเท่าๆกัน ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าแทนด้วย B
2. นำทรายส่วนหนึ่งเข้าเตาอบให้แห้งสนิทประมาณ 1 ชม. แล้วจึงนำมาใส่ในโถกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปกติ จึงนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าแทนด้วย A
3. เทน้ำที่ทราบอุณหภูมิลงในขวดพิคโนมิเตอร์ให้สูงประมาณ ¾ ของขวด นำทรายส่วน B เติมลงไป เขย่าหรือคนให้ทั่วเพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด จากนั้นจึงเติมน้ำลงไปให้พอดีปากขวดพร้อมกับทำให้ไม่มีอากาศเหลืออยู่เลยเช่นเดียวกันแล้วจึงปิดฝาแก้วนำไปชั่งและบันทึกค่าแทนด้วย W
4. จากนั้นจึงนำค่าต่างๆมาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะ (เมื่อวัสดุแห้งสนิท) = A/(Wc + B – W)

ความถ่วงจำเพาะ (ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) = B/(Wc + B – W)

อัตราการดูดซึม = ((B – A)/A)×100%

โดยที่ A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งหลังจากผ่านการอบแห้งสนิท

B = น้ำหนักมวลรวมภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

Wc = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำชนิดเดียวกับที่ใช้ทดสอบเต็มปากขวด

W = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำและมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 บันทึกผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์ดูดซึมของมวลรวมละเอียด

Specific Gravity & Percent Absorption of Fine Aggregate

	Trial No.			
	1	2	3	Average
Wt. Of Sand (Sat.Surf.Dry) (g) = B	600	598	601	600
Wt. Flask + Water (g) = W	676	679	679	678
Wt. Of Flask +Sand (Sat.Surf.Dry)+Water (g) =W_c	1048	1052	1050	1050
Wt. Bowl (g)	262	262	262	262
Wt. Bowl + Dry Sand (g)	860	859	861	860
Wt. Dry Sand (g) = A	598	597	598	598
Wt. Bulk Specific Gravity { A/(B+W-W_c) }	2.62	2.65	2.60	2.62
Wt. Bulk Specific Gravity (Sat.Surf.Dry){B/(B+W-W_c)}	2.63	2.66	2.61	2.63
Apparent Specific Gravity { A/(W+A-W_c) }	2.65	2.67	2.63	**2.65**
Percent Absorption (%) { (B-A)×100/A }	0.33	0.17	0.50	**0.33**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

(Test for specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates)

A S T M : C 127 – 84

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึมของมวลรวมหยาบ เพื่อประโยชน์ในการออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต วิธีนี้เรียกว่า **Suspension Method**

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มวลรวมหยาบประมาณ 5 กก. ได้มาจากการแบ่งสี่ และคัดเอามวลรวมหยาบที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ออก
2. ตะกร้าลวดตาข่าย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 ซม. และสูงประมาณ 60 ซม. สามารถใส่มวลรวมได้ประมาณ 5 กก.
3. เตาอบ
4. ตาชั่งขนาดใหญ่
5. ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4
6. โถแก้วกันความชื้น

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมวัสดุที่จะนำมาทำการทดลอง ด้วยการล้างให้ทั่วถึงเพื่อให้ฝุ่นผงหรือเศษวัสดุอื่นๆที่ติดอยู่กับผิวหลุดออกจนหมด และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 – 3 ชม.
2. จากนั้นให้แช่วัสดุในน้ำสะอาดเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 15 ชม.
3. นำวัสดุขึ้นจากน้ำเมื่อครบเวลา เทลงผ้าผืนใหญ่ๆที่สามารถดูดซับน้ำได้กลิ้งวัสดุไปมาเพื่อให้ผ้าซับน้ำจนสังเกตด้วยตาเปล่าไม่เห็นมีน้ำอยู่ที่ผิววัสดุ แม้ว่าที่จริงแล้วผิวจะยังชื้นอยู่ก็ตาม หรือถ้าวัสดุเป็นก้อนใหญ่มากอาจจับมาเช็ดเป็นก้อนๆไปก็ได้ แต่ต้องระวังไม่ให้เกิดการระเหยหายไปของน้ำขณะอยู่ในขั้นตอนนี้
4. วัสดุที่จบขั้นตอนที่ 3นี้จะเรียกว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง(Saturated Surface Dry) ให้นำตัวอย่างวัสดุนี้ชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกไว้เช่นกัน
5. หลังจากนั้นนำวัสดุเข้าเตาอบด้วยอุณหภูมิระหว่าง 100 – 110 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชม. แล้วจึงนำมาใส่ในโถแก้วกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปกติอีกประมาณ 1 – 3 ชม. จึงชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จากนั้นให้นำค่าต่างๆมาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม(ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ) = A/(A – C)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)= B/(B – C)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม(เมื่อวัสดุแห้งสนิท) = A/(B - C)

อัตราการดูดซึม = ((B - A)/A)×100%

โดยที่

A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศหลังจากผ่านการอบแห้งสนิทแล้ว

B = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

C = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 บันทึกผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์ดูดซึมของมวลรวมหยาบ

Specific Gravity & Percent Absorption of Coarse Aggregate

	Trial No.			
	1	2	3	Average
Wt. Container + Coarse Agg.(Sat.Surf.Dry) (g)	5263	5277	5267	5269
Wt. Container + Coarse Agg.(Dry) (g)	5276	5285	5276	5279
Wt. Container (g)	316	316	316	316
Wt. Coarse Agg.(Sat.Surf.Dry) (g) =A	4949	4960	4950	4953
Wt. Coarse Agg.(Dry) (g) =B	4959	4969	4961	4963
Wt. Sat. Coarse Agg. In Water (g) = C	3157	3155	3144	3150
Bulk Specific Gravity(Oven Dry Basis) { A/(B-C) }	2.75	2.73	2.72	2.73
Bulk Specific Gravity(Sat.Surf.Dry) { B/(B-C) }	2.75	2.74	2.73	2.74
Apparent Specific Gravity { A/(A-C) }	2.76	2.75	2.74	**2.75**
Percent Absorption { [(B-A)/A]×100 } (%)	0.20	0.18	0.22	**0.20**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

(Test for Unit Weight of Aggregate)

A S T M : C 29 – 76

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาน้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร ไม่ว่าจะเป็นทราย หิน หรือมวลรวมผสมก็ตาม ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

1. มวลรวม อาทิ ทราย หินและกรวด
2. ตาชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.3%ของน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ
3. เหล็กกระทุ้ง เป็นแท่งเหล็กกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาวประมาณ 60 ซม. มีปลายด้านกระทุ้งมนเป็นลักษณะครึ่งวงกลม
4. ภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก อาจเป็นภาชนะโลหะรูปทรงกระบอกผิวเรียบ ควรมีมือจับทั้งสองข้าง ขนาดของภาชนะต้องเป็นไปตามตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 3.5 แสดงขนาดภาชนะที่ใช้วัดหน่วยน้ำหนัก

ปริมาตร (ลิตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง มม.	ความสูงภายใน มม.	ความหนาน้อยสุดก้นภาชนะ ผนังข้าง		ขนาดโตสุดของมวลรวม มม.
			มม.	มม.	
3	155±2	160±2	5.0	2.5	12.5
10	205±2	305±2	5.0	2.5	25.0
15	255±2	295±2	5.0	3.0	37.5
30	355±2	305±2	5.0	3.0	100.0

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การหาหน่วยน้ำหนักของน้ำ

1. เติมน้ำใส่ภาชนะให้เต็มและทำให้ไม่มีฟองอากาศอยู่เลย พร้อมปิดฝาด้วยแผ่นกระจกใส
2. วัดอุณหภูมิของน้ำ เพื่อนำไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนัก โดยเทียบจากตารางข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หาค่าแฟคเตอร์ (ความจุ) ของภาชนะ โดยการหารน้ำหนักของน้ำในภาชนะด้วยหน่วยน้ำหนักน้ำ

ข) การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักเมื่อมวลรวมอัดตัวแน่น

1. โดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง (Rodding procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 37.5 มม.(1 ½.")

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ

อุณหภูมิ		กกต่อม^3	ปอนด์ต่อลบฟุต
F	C		
60	15.6	969.01	62.336
65	18.3	998.53	62.336
70	21.1	997.97	62.301
73.4	23.0	997.53	62.274
75	23.9	997.32	62.261
80	26.7	996.60	62.216
85	29.4	995.80	62.166

1.1 เทมวลรวมที่จะทดสอบลงในภาชนะที่ชั่งน้ำหนักเรียบร้อย แล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ให้หนาประมาณ 1/3 ของความสูงของภาชนะ เกลี่ยผิวหน้าให้เรียบ และใช้เหล็กกระทุ้ง ๆ ให้เกือบถึงก้น โดยแผ่กระจายให้ทั่วผิวหน้ารวม 25 ครั้ง จากนั้นเติมมวลรวมลงไปอีกเป็นชั้นที่สอง ทำการกระทุ้งเช่นเดียวกันและเติมลงไปอีกเป็นชั้นสุดท้าย กระทุ้งอีก 25 ครั้ง เสร็จแล้วให้ปาดผิวหน้าของมวลรวมให้เรียบร้อยเสมอกับแนวขอบบนของภาชนะ อย่าให้ปุ่มหรือโปนเป็นอันขาด

1.2 ชั่งน้ำหนักภาชนะที่บรรจุมวลรวมดังกล่าว เพื่อคำนวณหาน้ำหนักเฉพาะของมวลรวมโดยแท้ โดยชั่งให้ได้ความละเอียดถึง 0.1% แล้วคูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ ก) จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่น

2. โดยวิธีกระแทกภาชนะ (Jigging procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตเกินกว่า 37.5 มม. แต่ไม่เกิน 100 มม. (4")

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 แบ่งเทมวลรวมใส่ภาชนะซึ่งควรวางบนพื้นที่แข็ง เช่น พื้นคอนกรีต เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเมื่อเทมวลรวมแต่ละชั้นแล้วให้เอียงภาชนะ เพื่อให้ด้านข้างสูงขึ้นจากพื้นประมาณ 50 มม. และปล่อยให้ตกลงกระแทกพื้น เป็นจำนวน 25 ครั้ง เสร็จแล้วเอียงกลับมาอีกด้านหนึ่งเพื่อให้ด้านที่ติดพื้นตอนแรกนั้น ยกลอยขึ้นมา 50 มม. บ้าง และปล่อยให้ตกกระทบพื้นอีก 25 ครั้งเช่นเดียวกัน ทำเช่นนี้ทั้ง 3 ชั้น จึงปาดผิวหน้ามวลให้เรียบไม่ให้ปูดหรือบุ๋มแล้วนำไปชั่ง

2.2 เมื่อได้น้ำหนักที่แท้ของมวลรวมแล้ว คูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ ก) ก็จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่นเช่นเดียวกัน

ค) การหาค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

1. แฟคเตอร์หรือความจุของภาชนะ หาได้จากสมการ

$$V = W_w / R_w$$

โดยที่

V = ความจุของภาชนะ ลบ.ม.

W_w = น้ำหนักของน้ำในภาชนะ กก.

R_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน กกต่อลบ.ม.

2. หน่วยน้ำหนักของมวลรวม หาได้จากสมการ

$$R_a = W_a / V_a$$

โดยที่

R_a = หน่วยน้ำหนักของมวลรวม กกต่อลบ.ม

W_a = น้ำหนักของมวลรวม กก.

V_a = ปริมาตรของมวลรวม ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 บันทึกผลการทดสอบค่าหน่วยน้ำหนักแห้งและอัดแน่นของมวลรวมหยาบ

Unit Weight Of Coarse Aggregate

	Trial No.			
	1	**2**	**3**	**Average**
1. Volume of Container(m^3) = V	0.00530	0.00530	0.00530	0.00530
2. Wt. Of Sample+Container(Kg) = W	19.901	19.912	20.068	19.960
3. Wt. Of Container(Kg) = W_1	11.608	11.604	11.606	11.606
4. Wt. Of Sample(Kg) = W - W_1	8.293	8.308	8.462	8.354
5. (W - W1)/V	1564.717	1567.547	1596.604	1576.289
6. Wt Of Wet Sample(Kg) = W_2	137.000	140.000	126.000	-
7. Wt Of Dry Sample(Kg) = W_3	137.000	139.000	126.000	-
8. W_3/W_2	1.000	0.993	1.000	0.998
9. **Unit Weight** = (W - W_1)/V × (W_3/W_2)	1560.99	1563.81	1592.80	**1572.536**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม

(Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying)

A S T M : C 566-67

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาอัตราความชื้นทั้งหมดที่มีอยู่ในมวลรวม โดยการทำให้มวลรวมแห้งด้วยการเผา ซึ่งจะทำให้ได้น้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมสำหรับชั่งผสมคอนกรีต

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

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

ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมที่จะนำมาทดสอบ แล้วเทลงในภาชนะบรรจุนำไปใส่หรือวางบนเตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สม่ำเสมอใช้แท่งเหล็กคนมวลรวมเป็นระยะ ๆ เพื่อให้มวลรวมทุกก้อนได้รับความร้อนทั่วถึงกัน
2. เมื่อมวลรวมแห้งสนิทดีแล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง
3. ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวมจะหาได้จากสูตร

$$P = 100(A-B)/B$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 บันทึกผลการทดสอบค่าความชื้นของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

Moisture Content Of Fine & Coarse Aggregate

	Trial No.					
	Sand			Rock		
	1	2	Ave	1	2	Ave
1. Wt.of Sample before Drying(g) =A	127	123	125	490	512	501
2. Wt.of Sample after Drying(g) =B	125	121	123	488	510	499
3. **Moisture Content** (%) { (A-B)×100/B }	1.60	1.65	**1.63**	0.41	0.39	**0.40**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบสามารถสรุปผลการทดสอบมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบได้ดังนี้

3.1.1 หิน

- หน่วยน้ำหนักแห้งและอัดแน่นของหิน(Unit Weight Of Coarse Aggregate) =1573 กก.ต่อลบ.ม.
- ค่าความถ่วงจำเพาะของหิน(Specific Gravity of Coarse Aggregate) =2.75
- ปริมาณความชื้นในหิน(Moisture Content Of Coarse Aggregate) =0.40%
- เปอร์เซ็นต์การดูดซึมของหิน(Percent Absorption of Coarse Aggregate) =0.20%
- ขนาดโตสุดของหิน= 3/4 " หรือ 20 มม.

3.1.2 ทราย

- ค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย (Finess Modulus) =2.57
- ค่าความถ่วงจำเพาะของทราย(Specific Gravity of Fine Aggregate) =2.65
- ปริมาณความชื้นในทราย(Moisture Content Of Fine Aggregate) =1.63%
- เปอร์เซ็นต์การดูดซึมของทราย(Percent Absorption of Fine Aggregate) =0.33%

3.1.3 สารผสมเพิ่มป้องกันการชะล้างของคอนกรีตใต้น้ำ

ผลิตภัณฑ์ Sikament 100 SC

ผลิตภัณฑ์นี้เป็นสารที่ใช้ในการผสมคอนกรีตที่ใช้งานโดยท่อทริมมี่ในงานคอนกรีตใต้น้ำ มีคุณสมบัติในการลดน้ำ และลดการชะล้างของซีเมนต์มอร์ต้า และช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตใต้น้ำกับเหล็กเสริม

การประยุกต์ใช้งาน

มีการนำสารผสมป้องกันการชะล้างนี้ไปใช้งานใน 3 ประเภท ได้แก่ ใช้ในงานผสมคอนกรีตเพื่อก่อสร้างใต้น้ำ งานก่อสร้างใต้ดิน และใช้ในงานซ่อมแซมโครงสร้างใต้น้ำ โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดการแยกตัวของคอนกรีตและเพื่อความอัดแน่นของคอนกรีตในกรณีที่ไม่สามารถใช้เครื่องจี้เข้าช่วยได้

Sikament 100 SC มักใช้เพื่อช่วยการลดการใช้น้ำและป้องกันการชะล้างของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จากน้ำหรือสารละลายต่าง ๆ รอบข้าง เช่น เบนโทไนท์ ในกรณีที่เทคอนกรีตใต้พื้นดิน หรือสารละลายอื่น ๆ ได้ และยังช่วยลดการแยกตัวของส่วนผสมในคอนกรีตได้ด้วย

ได้มีการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ได้ใช้ Sikament 100 SC พบว่าคอนกรีตสดสามารถมีสภาพอยู่ได้นานโดยที่ยังมีค่าความยุบตัวลดลงไปเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยไม่เกินเวลาก่อตัว เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมอะไร และพบว่าช่วยลดการสูญเสียมอร์ต้าได้มากถึง 30 % ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวในคอนกรีตจึงมีมากกว่าคอนกรีตโดยทั่ว ๆ ไปที่ใช้ทำงานใต้น้ำ Sikament 100 SC ยังสามารถช่วยลดการเยิ้มของคอนกรีตซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการแยกตัวได้อีกด้วย คอนกรีตที่ผสม Sikament 100 SC ยังมีความเหมาะสมในการใช้งาน Slip Form อีกด้วยเนื่องจากมีความสามารถเทได้และอัดตัวแน่นได้ง่ายเมื่อได้รับแรงสั่นสะเทือน

ข้อจำกัด

Sikament 100 SC ต้องใช้ในขอบเขตที่กำหนดเพราะถ้าใช้ในปริมาณมากอาจเป็นสาเหตุของการเกิดการเยิ้มในเนื้อคอนกรีตหรือเกิดรอยแตกร้าวในภายหลังได้

รูปแบบ

Sikament 100 SC มีลักษะเป็นของเหลวข้นสีน้ำตาลไหม้

อัตราส่วนผสม

ใช้ Sikament 100 SC อัตราส่วน 1-2% ต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์

การใช้งาน

การเทคอนกรีตใต้น้ำ บริเวณที่จะเทควรสะอาดไม่มีคราบน้ำมัน จาระบี มีระยะเทเล็กน้อยในการเทคอนกรีตลงสู่ท่อทริมมี่

การผสม

การผสม Sikament 100 SC ควรผสมหลังสุดจากการที่ได้ผสมส่วนผสมอื่น ๆ หมดแล้วจะได้ผลดีที่สุด

การเทจริง

เวลาที่มีการเท ควรมีระยะเทน้อยที่สุดและให้มีการรบกวนคอนกรีตน้อยที่สุด พยายามเทให้ต่อเนื่องมากที่สุดและให้ปลายท่อทริมมี่จมอยู่ในคอนกรีตตลอดเวลา ในกรณีที่ต้องมีการใช้ปั้มคอนกรีตเข้าช่วยแต่เกิดปัญหาที่ว่าคอนกรีตที่ผสม Sikament 100 SC เคลื่อนตัวได้ช้ากว่าปรกติทั้งที่มีความสามารถในการไหลสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำยาทำให้ความหนาแน่นในเนื้อคอนกรีตสูงขึ้นไม่เกี่ยวกับการ Set ตัวของคอนกรีตแต่อย่างใด

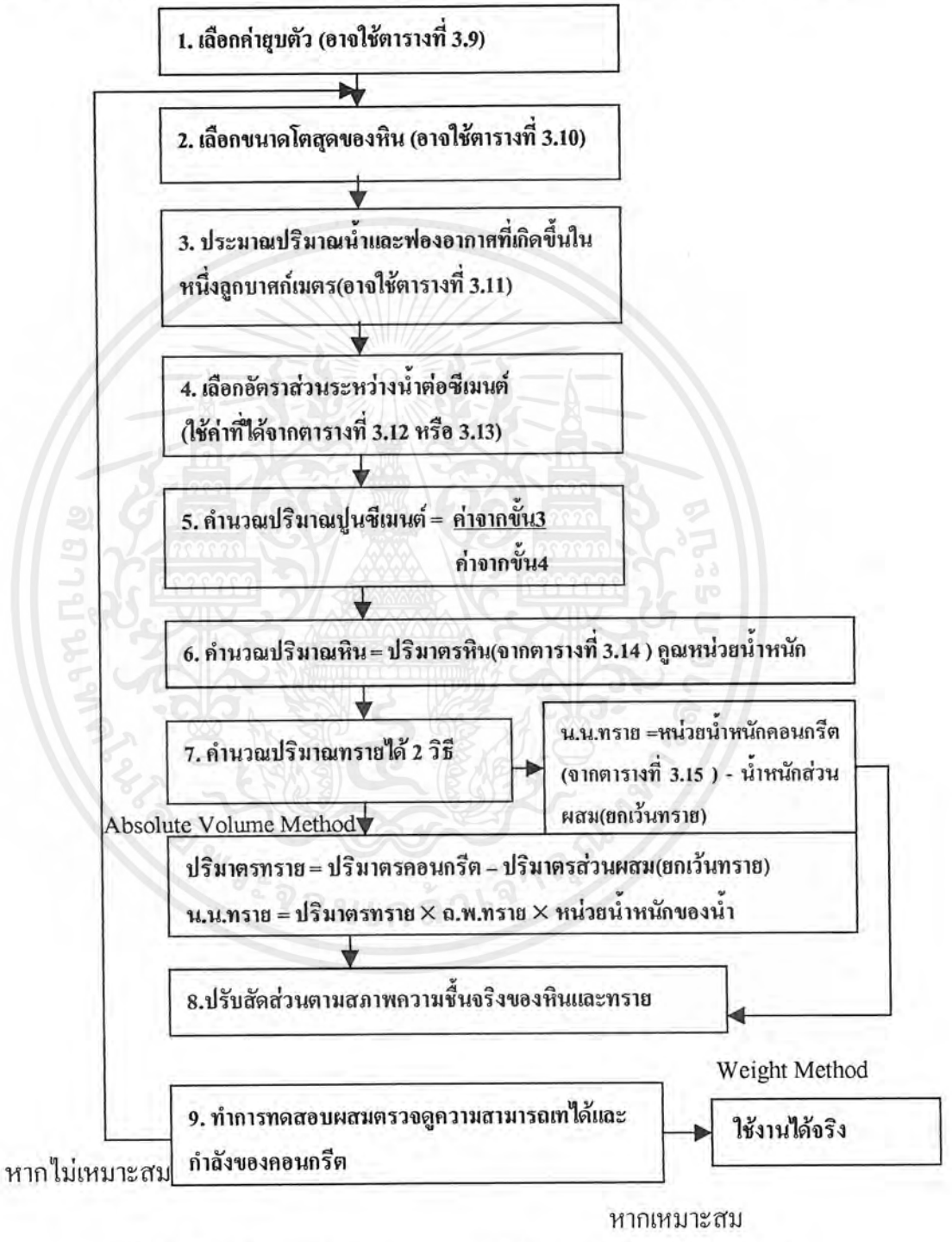
คำเตือน

ผลิตภัณฑ์บรรจุในภาชนะที่สะอาด มีผลระคายเคืองต่อผิวหนังได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต

เราสามารถสรุปวิธีการหาอัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้งานโดยทั่วไปได้ดังแผนภาพ



รูปที่ 3.2 แสดงแผนภาพการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต ตามมาตรฐานอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ประเภทของงาน	ค่าความยุบตัว(ซม.)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้น้ำ	8.0	2.0
งานพื้น คานและผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	5.0	2.0

ตารางที่ 3.10 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ขนาดความหนาของโครงสร้าง	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม							
	คาน ผนัง เสา คสล.		ผนังคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก		พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก		พื้นคอนกรีตรับน้ำหนักน้อย	
	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5. –15.0	½-¾	12.5-20	¾	20	¾-1	20-25	¾-1 ½	20-40
15.0–30.0	¾-1½	20-40	1 ½	40	1 ½	40	1 ½-3	40-75
30.0-75.0	1 ½-3	20-40	3	75	1 ½-3	40-70	3	75
< 75.0	1 ½-3	40-75	6	150	1 ½-3	40-75	3-6	75-150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.11 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวสำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ

ค่าความยุบตัว (ซม)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อ ลูกบาศก์เมตรสำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ							
	3/8" (10 มม.)	½" (12.5มม.)	¾" (20มม.)	1" (25มม.)	1 ½" (40มม.)	2" (50มม.)	3" (75มม.)	6" (150มม.)
คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ(Non-Air Entraining Concrete)								
3-5	205	200	185	180	160	155	145	125
8-10	225	215	200	195	175	170	160	140
15-18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณฟองอากาศ (% โดยปริมาตร)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ(Air Entraining Concrete)								
3-5	180	175	165	160	145	140	135	120
8-10	200	190	180	175	160	155	150	135
15-18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (% โดยปริมาตร)	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.12 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับสภาวะเปิดเผยรุนแรง

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลาหรือมีการเยือกแข็งและการละลายของน้ำสลับกันบ่อย ๆ (เฉพาะคอนกรีตกระจายกักฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำทะเลหรือสัมผัสซัลเฟต
โครงสร้างบาง ๆ ที่มีเหล็กหุ้มบางกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด	0.50	0.45*

*หมายเหตุ ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต อาจเพิ่มค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ได้อีก 0.05

ตารางที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28วัน	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.14 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรของวัสดุหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีตสำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่าง ๆ กัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8" (10มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
½" (12.5มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
¾" (20มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1" (25มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1½" (40มม.)	0.76	0.74	0.72	0.70
2" (50มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6" (150มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

หมายเหตุ ค่าที่กำหนดให้เป็นค่าสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆ ไป สำหรับงานคอนกรีตที่ทำงานได้ง่ายกว่า เช่น พื้น ถนน เป็นต้น อาจเพิ่มค่าเหล่านี้ขึ้นได้อีก 10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3.15 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ

ขนาดโตสุดของหิน	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	
	คอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตที่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ
3/8" (10มม.)	2285	2190
½" (12.5มม.)	2315	2235
¾" (20มม.)	2355	2280
1" (25มม.)	2375	2315
1½" (40มม.)	2420	2355
2" (50มม.)	2445	2375
3" (75มม.)	2465	2400
6" (150มม.)	2505	2435

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต

1. จากข้อมูลที่ได้ศึกษามาเห็นว่าการเทคอนกรีตใต้น้ำควรใช้ค่าความยุบตัว = 12 - 20 ซม. เลือกใช้ค่าความยุบตัว = 20 ซม.
2. จากข้อมูลที่ได้ศึกษามาเห็นว่าการเทคอนกรีตใต้น้ำควรใช้หินเบอร์ 1 (ขนาด ¾" หรือ 20 มม.)
3. คอนกรีตที่ใช้ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศต้องการค่าความยุบตัวประมาณ 20 ซม. (ไม่มีในตารางแต่ว่าค่าความยุบตัว 15 – 18 ซม. ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการถือว่าใช้ได้) จะได้ว่าต้องใช้น้ำ 210 ลิตรต่อลบ.ม. และมีปริมาณฟองอากาศ 2 % โดยปริมาตรคอนกรีต
4. จากข้อมูลที่ได้ศึกษามาพบว่าคอนกรีตที่ใช้งานใต้น้ำควรมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ไม่เกิน 0.45 และเราออกแบบให้คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดเฉลี่ย = 380 กก.ต่อตร.ซม. จากตารางที่ 7 เราจะได้ว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีค่า = 0.45
5. ดังนั้นเราจะได้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องการ = 210/0.45 = 466 กก.ต่อลบ.ม.
6. คำนวณน้ำหนักของหินจากตารางที่ 8 (ค่าโมดูลัสของทราย = 2.57 และขนาดโตสุดของหิน = ¾") จะได้ปริมาตรหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีต = 0.64
   ดังนั้นจะได้น้ำหนักหิน = 0.64×1573 =1006 กก.ต่อลบ.ม.
7. คำนวณหาปริมาณทรายเลือกใช้จากวิธี Absolute Volume Method

ปริมาตรน้ำ	=	210/1000	= 0.210 ลบ.ม.
ปริมาตรเนื้อแท้ซีเมนต์	=	466/(3.15×1000)	= 0.148 ลบ.ม.
ปริมาตรเนื้อแท้ของหิน	=	1006/(2.75×1000)	= 0.366 ลบ.ม.
ปริมาตรฟองอากาศ	=	0.02×1	= 0.020 ลบ.ม.
ดังนั้นปริมาตรส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทรายมีค่า			= 0.744 ลบ.ม.
ดังนั้นปริมาตรเนื้อทรายที่ต้องใช้	=	1-0.744	= 0.256 ลบ.ม.
ดังนั้นจะได้น้ำหนักทรายแห้ง	=	0.256×2.65×1000	= 679 กก.

8. ปรับสัดส่วนเนื่องจากความชื้น

   จะใช้หินที่มีน้ำหนักตามความเป็นจริง(ชื้นในอากาศ) = 1006×1.004 =1010 กก.

   จะใช้ทรายที่มีน้ำหนักตามความเป็นจริง = 679×1.0163 = 689 กก.

   น้ำที่ผิวหิน = 0.40-0.20 = 0.20 %

   น้ำที่ผิวทราย = 1.63-0.33 = 1.30 %

ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ต้องใช้จริง = 210-(1006×0.20/100)-(679×1.30/100)

=199 Kg = 199 ลิตรต่อลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ใช้ผลิตภัณฑ์ป้องกันการชะล้าง 2% โดยน้ำหนักซีเมนต์ = 0.02×466 = 9.32 กก.ต่อลบ.ม

สรุป

คอนกรีต 1 m^3 ต้องใช้

น้ำ	199	ลิตร
ซีเมนต์	466	กก.
หิน(ตามสภาพจริง)	1010	กก.
ทราย(ตามสภาพจริง)	689	กก.
น้ำยาป้องกันการชะล้าง	9.32	กก.
รวมน้ำหนักทั้งหมด	2373	กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตและการควบคุมคุณภาพ

คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วอย่างหนึ่งที่สำคัญคือความสามารถในการต้านทานแรงอัด และกำลังต้านทานแรงในด้านต่าง ๆ เช่น ต้านทานแรงเฉือน แรงยึดเหนี่ยว เป็นต้น โดยที่เราจะศึกษาในด้านกำลังต้านทานแรงอัดเป็นหลัก โดยผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดที่ได้มาจากการทดสอบเราต้องพิจารณาด้วยว่ามีตัวแปรใดที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดนั้นด้วย

ตัวแปรที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ตัวแปรเนื่องจากวิธีการทดสอบ
2. ตัวแปรเนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีตสด

ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตัวแปรเนื่องจากวิธีการทดสอบ	ตัวแปรเนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีต
1. วิธีการสุ่มตัวอย่างไม่เหมาะสม 2. วิธีการเตรียมตัวอย่างไม่แน่นอน - ปริมาณการกระทุ้ง - การดูแลตัวอย่าง การบ่ม 3. การทดสอบไม่แน่นอน - การหล่อฝาปิดหัวท้ายไม่ได้ฉาก - อัตราการกดตัวอย่าง 4. ขนาดของตัวอย่างไม่คงที่	1. การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ - การควบคุมปริมาณน้ำไม่ดีพอ - ความชื้นในมวลรวมมีมากและไม่ได้มีการปรับแก้ในการออกแบบปฏิภาคอัตราส่วนผสม 2. การเปลี่ยนแปลงในปฏิภาคอัตราส่วนผสม

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรต่าง ๆที่มีผลต่อกำลังอัดที่ได้จากการทดสอบ

ดังนั้นในการศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบการรับกำลังของคอนกรีตที่เทใต้น้ำโดยไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างกับเมื่อผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง จะต้องมีการควบคุมตัวแปรอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการศึกษาให้เหมือนกันในทั้ง 2 กรณี โดยมีตัวแปรที่มีผลต่อค่ากำลังอัดมีเพียงกรณีเดียวคือปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่เหลืออยู่ในเนื้อคอนกรีตเท่านั้น ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างไม่เท่ากันและต้องการเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีต ต้องพิจารณาค่าปรับแก้เนื่องจากอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 วิธีการเก็บตัวอย่างคอนกรีต

4.1.1 จำนวนตัวอย่างที่ต้องการเก็บในแต่ละกรณี

ทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก 3 กรณี คือ

1. คอนกรีตที่เทแบบปรกติ (เทบนบก)ไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง
2. คอนกรีตที่เทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง
3. คอนกรีตที่เทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง

โดยแต่ละกรณีเก็บตัวอย่างกรณีละ 20 ตัวอย่างเพื่อทดสอบที่อายุ 7 14 21 28 วัน โดยแต่ละช่วงอายุของคอนกรีตทดสอบครั้งละ 5 ตัวอย่าง

4.1.2 การเตรียมสถานที่และอุปกรณ์จำลองเพื่อช่วยในการเท

1. จัดสร้างบ่อทดสอบ จำลองสภาวะการเทคอนกรีตใต้น้ำขนาดประมาณ 4× 3 ม. ความสูงประมาณ 1 ม. บรรจุน้ำลงในบ่อลึกประมาณ 0.6 ม.
2. จัดทำอุปกรณ์ท่อทริมมี่จำลอง โดยทำจากท่อโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ซม. ยาวประมาณ 1.20 ม. ประกอบกับกรวยบรรจุคอนกรีตด้านบนของท่อ

4.1.3 กรณีที่เทแบบปรกติ (เทบนบก)

การเตรียมแบบหล่อ

1. เตรียมแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก (Cylinder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6×12 นิ้ว (15×30 ซม.) ทำด้วยโลหะที่ซีเมนต์ไม่เกาะติด
2. ทำความสะอาดแบบหล่อ อย่าให้มีเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันผิวด้านในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว
3. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ โดยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุดขณะเทคอนกรีต

การเท

1. นำคอนกรีตที่ได้จากการออกแบบส่วนผสม เทลงในท่อทริมมี่จำลองที่อุดปลายด้วยวัสดุอุดที่ดึงออกได้ง่าย จนกระทั่งคอนกรีตเต็มท่อ
2. นำปลายท่อที่มีคอนกรีตบรรจุเต็มใส่ในแบบหล่อห่างจากก้นแบบประมาณ 2-3 นิ้ว
3. ดึงวัสดุอุดปลายออกอย่างรวดเร็วปล่อยให้คอนกรีตตกอย่างอิสระ
4. ค่อย ๆ ดึงท่อขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อให้คอนกรีตสามารถไหลลงแบบได้ จนกระทั่งล้นแบบหล่อ
5. ทำการตกแต่งผิวหน้าให้เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทิ้งแบบหล่อที่ได้เทคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มประมาณ 24 ชม. จึงทำการแกะแบบออก
7. นำแท่งคอนกรีตที่แกะออกจากแบบไปบ่มโดยการแช่น้ำ เพื่อรอเวลาการทดสอบที่ 7 14 21 28 วัน

4.1.4 วิธีการเทคอนกรีตใต้น้ำ

การเตรียมแบบหล่อ

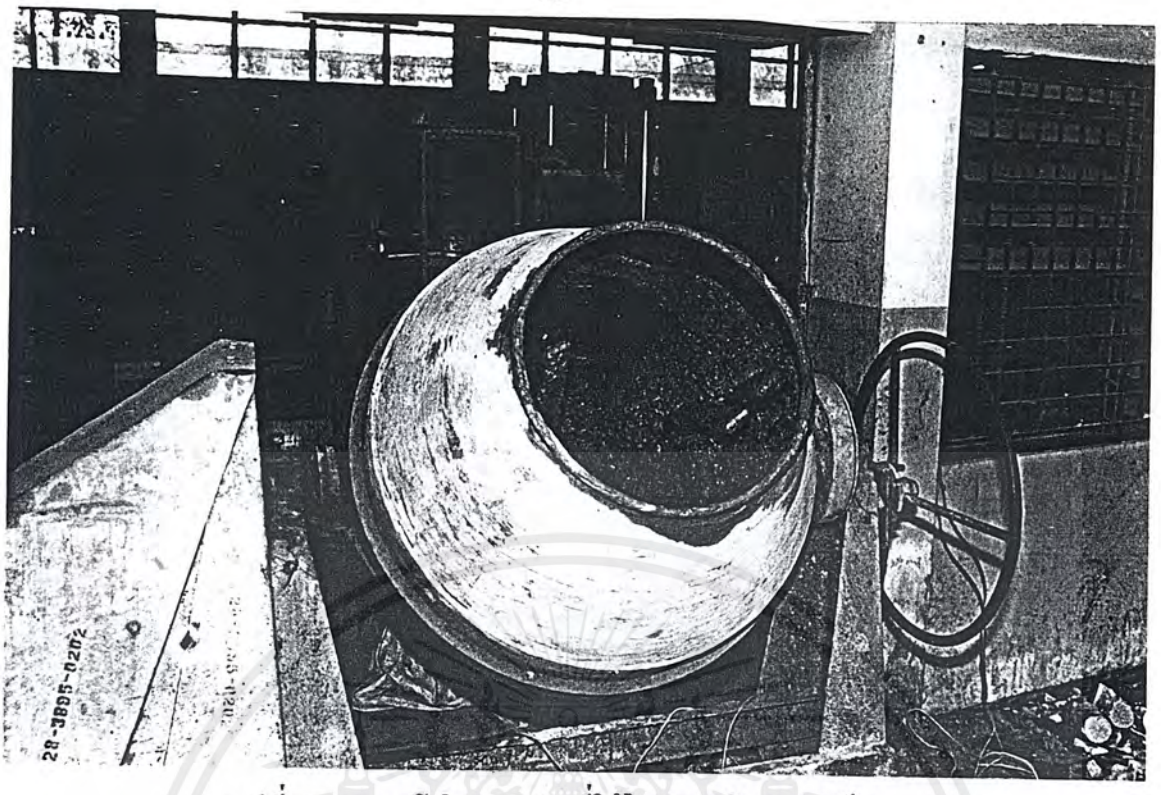
1. เตรียมแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก (Cylinder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6×12 นิ้ว (15×30 ซม.) ทำด้วยโลหะที่ซีเมนต์ไม่เกาะติด
2. ทำความสะอาดแบบหล่อ อย่าให้มีเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันผิวด้านในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว
3. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ โดยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุดขณะเทคอนกรีต

การเท

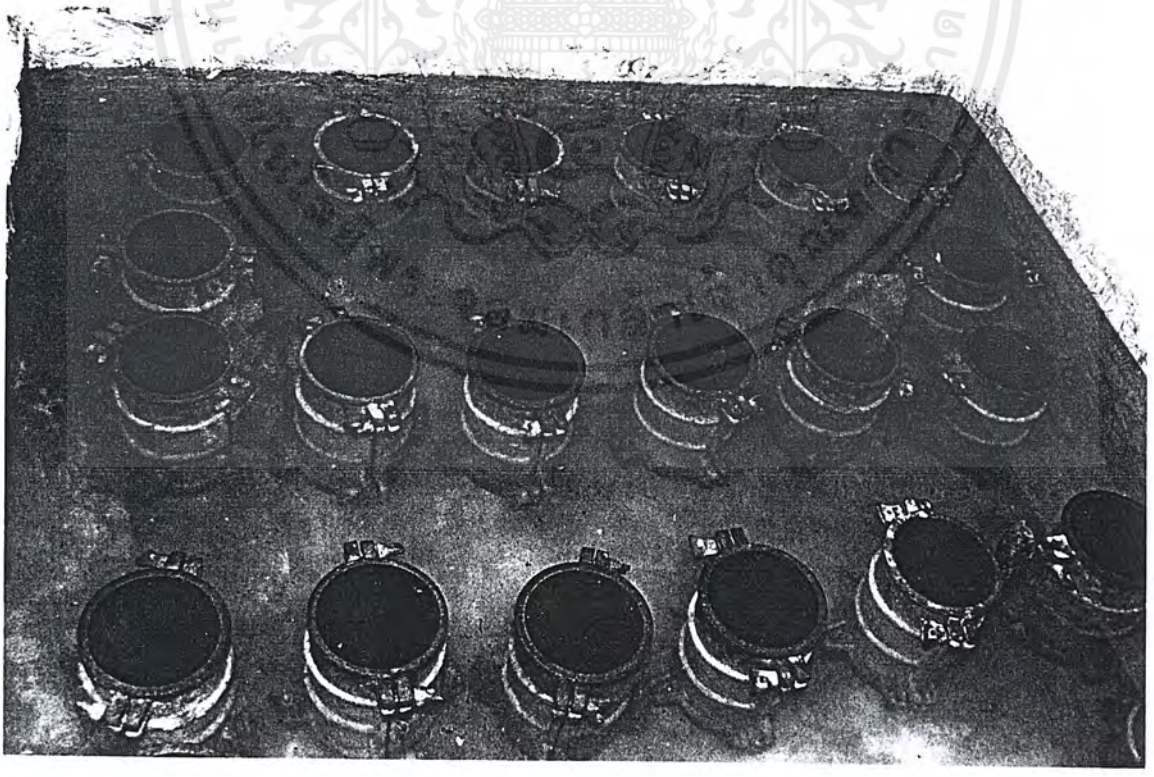
1. นำคอนกรีตที่ได้จากการออกแบบส่วนผสม โดยจะมีคอนกรีตอยู่ 2 กรณี คือ
   - กรณีไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง
   - กรณีผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง

   เทลงในท่อทริมมี่จำลองจนเต็ม
2. นำปลายท่อที่มีคอนกรีตบรรจุเต็มและมีการอุดปลายด้วยวัสดุอุดที่ดึงออกได้ง่ายใส่ในแบบหล่อเว้นระยะจากก้นของแบบหล่อประมาณ 2-3 นิ้ว
3. ดึงวัสดุอุดปลายออกอย่างรวดเร็วปล่อยให้คอนกรีตตกอย่างอิสระ
4. ค่อย ๆ ดึงท่อขึ้นเรื่อย ๆเพื่อให้คอนกรีตสามารถไหลลงแบบได้จนกระทั่งล้นแบบหล่อ
5. ทำการตกแต่งผิวหน้าให้เรียบ
6. ทิ้งแบบหล่อที่ได้เทคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในน้ำประมาณ 48 ชม. จึงทำการแกะแบบออก
7. นำแท่งคอนกรีตที่แกะออกจากแบบไปบ่มโดยการแช่น้ำ เพื่อรอเวลาการทดสอบที่ 7 14 21 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

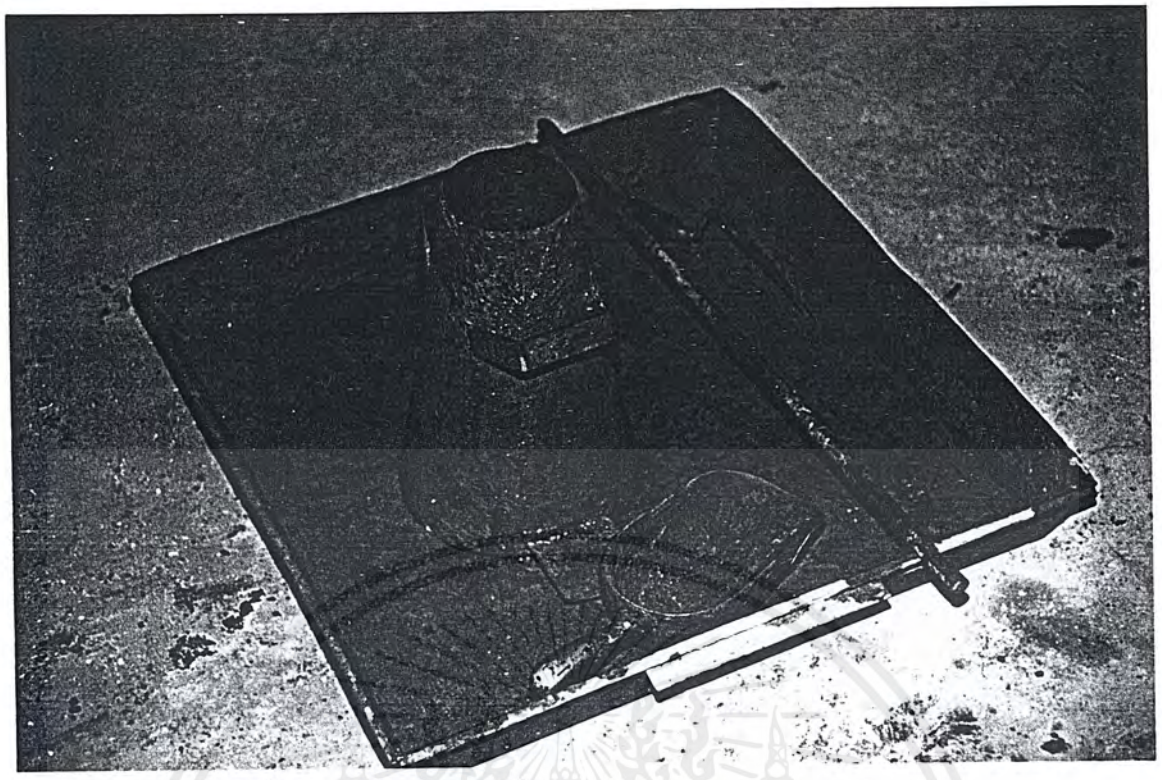


รูปที่ 4.1 แสดงโม่แบบ Tilt ที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต



รูปที่ 4.2 แสดงแบบหล่อ mould ที่ใช้หล่อตัวอย่าง

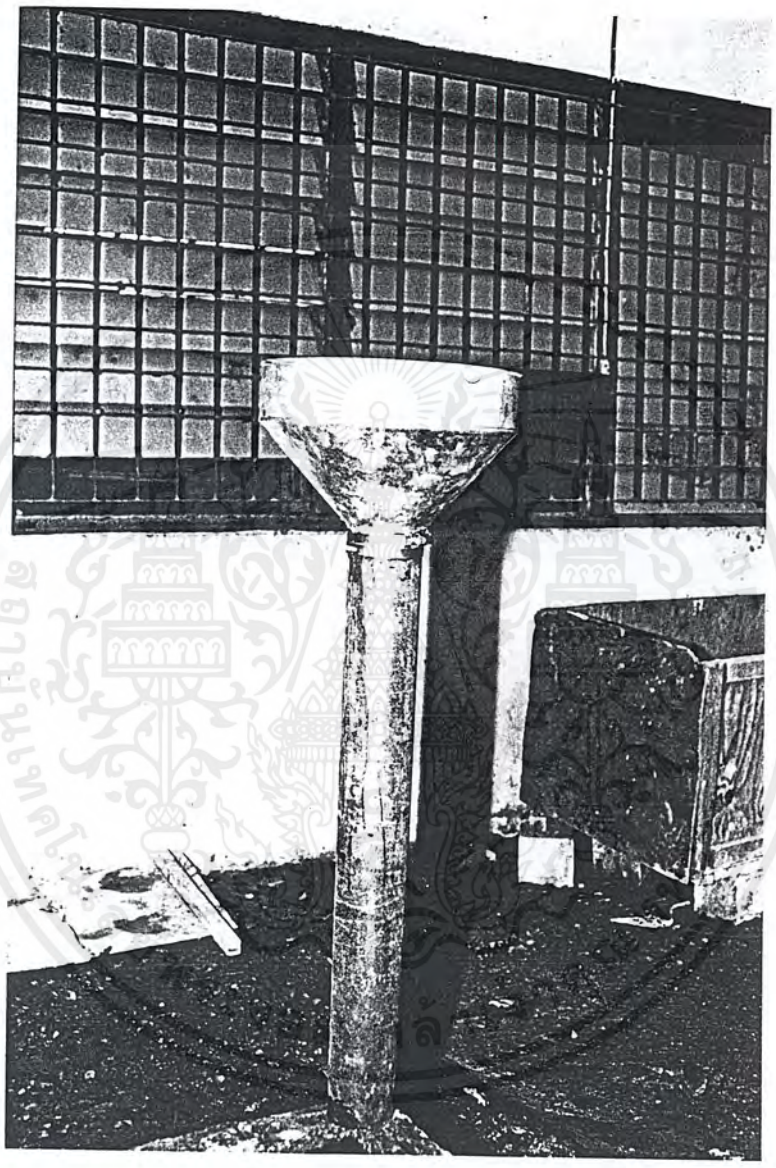
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบค่าการยุบตัว

รูปที่ 4.4 แสดงน้ำยาผสมป้องกันการชะล้าง

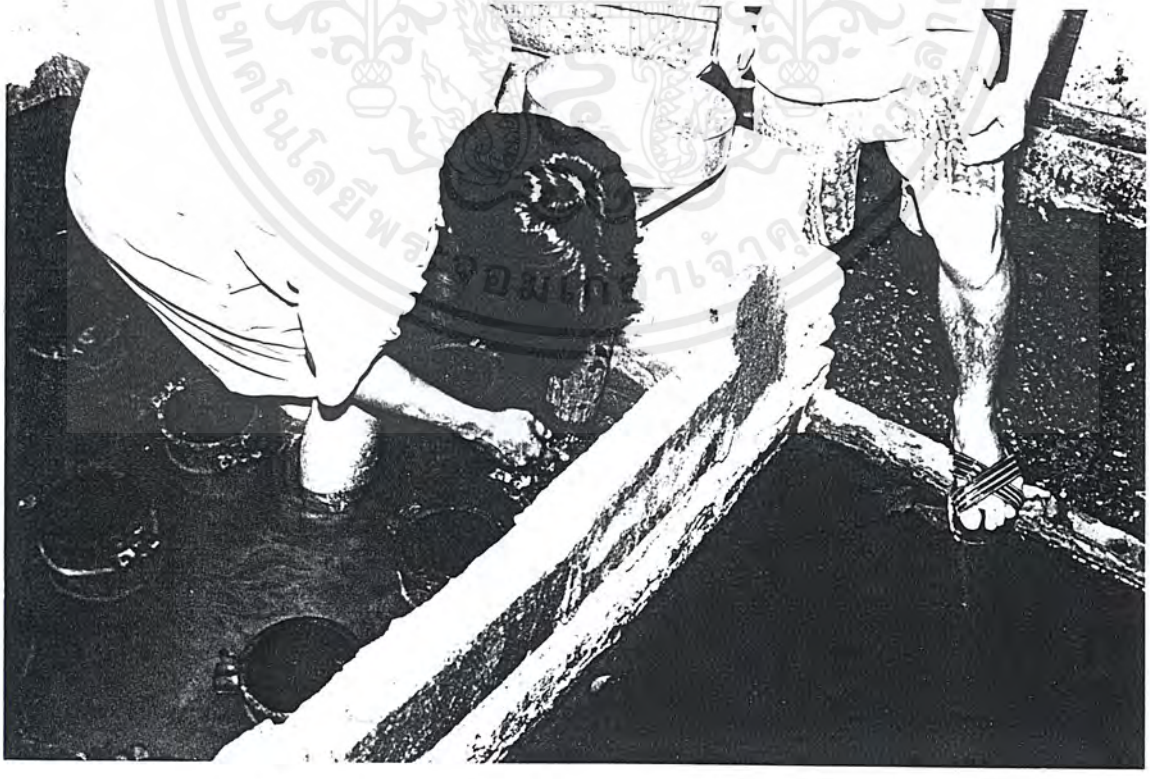
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงท่อทริมมี่ที่ใช้เทคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

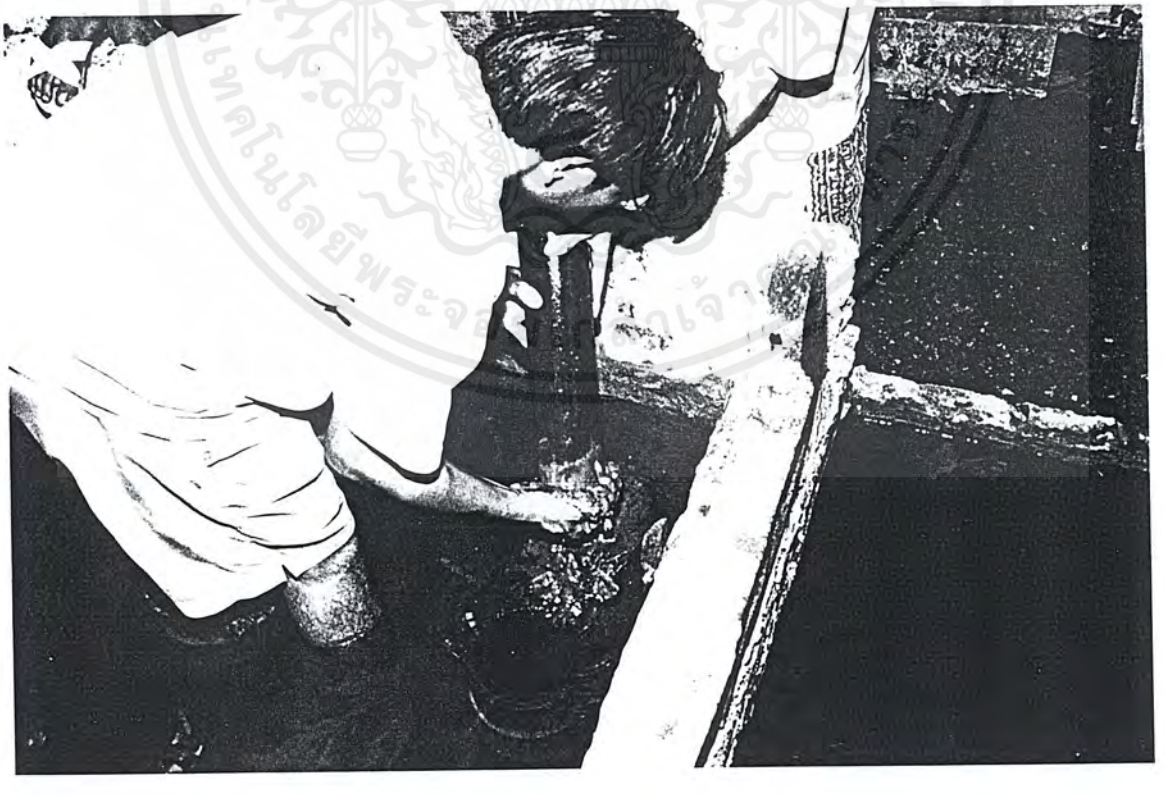
รูปที่ 4.6 แสดงการทดสอบค่าความยุบตัว (Slump Test)



รูปที่ 4.7 แสดงการปล่อยปลายท่อทริมมี่ลงสู่ก้นแบบหล่อ

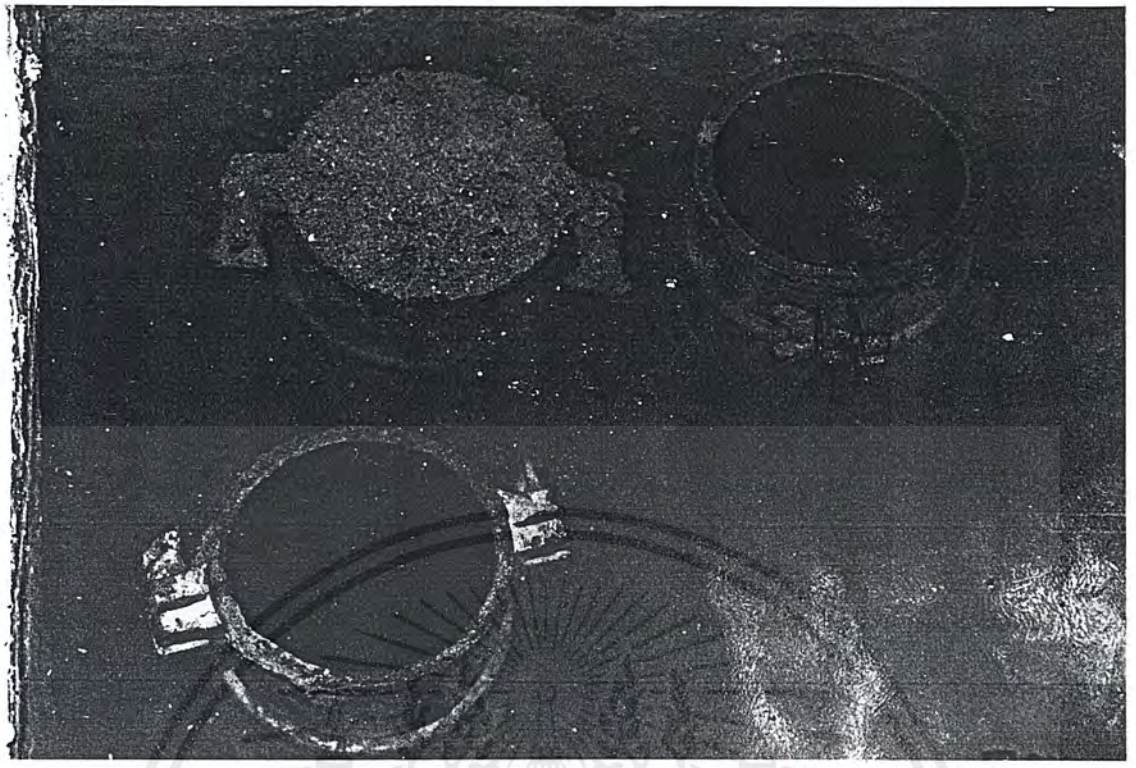
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 แสดงการเติมคอนกรีตลงในท่อทริมมี่



รูปที่ 4.9 แสดงการยกที่ทริมมี่เมื่อเทคอนกรีตเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงแบบหล่อที่เทคอนกรีตเสร็จแล้ว

รูปที่ 4.11แสดงแบบหล่อที่เทคอนกรีตเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต

การทดสอบจะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM: C39 – 72 ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบอาจถูกกระทบโดยตัวแปรต่าง ๆ เช่น ชนิดของตัวอย่างที่ทดสอบ ขนาดของตัวอย่าง ชนิดของMould การบ่ม การปรับแต่งผิวตัวอย่างคอนกรีต(Capped) ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรทดสอบและอัตราการเพิ่มแรงกด แต่การทดสอบในการศึกษากำลังรับแรงอัดในแต่ละกรณีสามารถควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ให้เป็นไปโดยมีมาตรฐานเดียวกันได้

4.2.1 การทดสอบรูปทรงกระบอก

ปรกติขนาดของตัวอย่างคอนกรีตมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นสองเท่าของความสูง โดยมีขนาดเท่ากับ 15 × 30 ซม. แต่เนื่องจากการเก็บตัวอย่างที่เทใต้น้ำมีปัญหาที่บริเวณด้านล่างของตัวอย่างจะมีรูโพรงมาก เนื่องจากมีการสัมผัสกับน้ำมากเกินไป ซึ่งตามทฤษฎีในการเทคอนกรีตใต้น้ำโดยใช้ท่อทริมมี่ คอนกรีตที่บริเวณที่สัมผัสกับน้ำโดยตรงจะถูกแทนที่ด้วยคอนกรีตที่เทลงไปใหม่ทำให้คอนกรีตส่วนที่ถือว่าคุณภาพต่ำและต้องกำจัดทิ้งถูกดันขึ้นด้านบนและสามารถกำจัดทิ้งได้ แต่ในการศึกษากำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตเทใต้น้ำ คอนกรีตที่เทลงไปสัมผัสกับน้ำไม่สามารถถูกดันขึ้นด้านบนได้ เนื่องจากแรงดันของคอนกรีตที่เทลงไปมีค่าต่ำ ทำให้เกิดส่วนเสียในแท่งคอนกรีต จึงต้องมีการตัดส่วนที่เสียนี้ออกไป ในการทดสอบจะตัดด้านหัว-ท้ายของแท่งตัวอย่างคอนกรีตออกด้านละ 5.5 ซม. จะเหลือความสูง 19 ซม. ทำให้ได้ขนาดของตัวอย่างที่มีขนาดไม่เท่ากับมาตรฐาน ซึ่งค่าของกำลังอัดที่ได้จะต้องนำไปปรับแก้เพื่อให้ได้ค่าของกำลังอัดที่ถูกต้อง

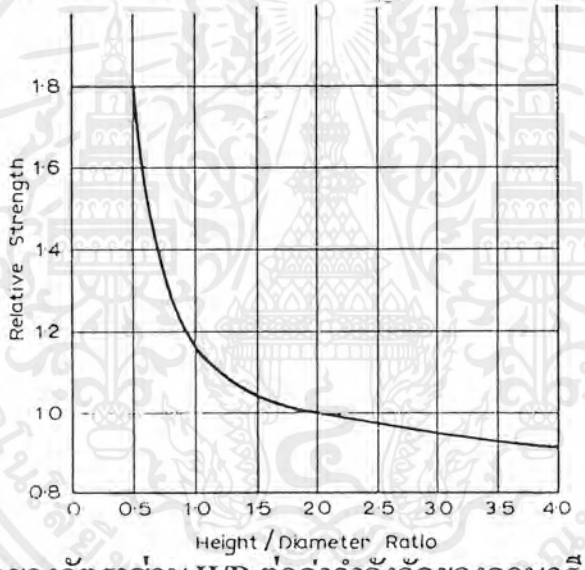
4.2.2 ค่าปรับแก้เนื่องจากอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง

ในกรณีที่อัตราส่วนของความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีต มีค่าไม่เท่ากับ 2 จะต้องมีการปรับแก้ค่ากำลังอัดที่ได้ โดยมาตรฐานของ ASTM C 42-90 และ BS 1881:Part 120:1983 ได้อ้างอิงตรงกันว่าต้องมีค่าปรับแก้ดังตารางที่ 4.2 ต่อมา Murdock และ Kesler ได้ศึกษาพบว่าค่าปรับแก้ในกรณีนี้ต้องพิจารณาถึงค่าของกำลังอัดของคอนกรีตด้วยดังรูปที่ 4.13 ในการทดสอบอัตราส่วน H/D ของแท่งตัวอย่างเท่ากับ 1.26 จะได้ค่าปรับแก้กำลังรับแรงอัดจากตารางที่ 4.2 เท่ากับ 0.93 (ปรับแก้ค่ากำลังรับแรงอัดโดยนำค่า 0.93 ไปคูณกับกำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบ จะได้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเทียบเท่ากับคอนกรีตขนาดทรงกระบอกมาตรฐาน)

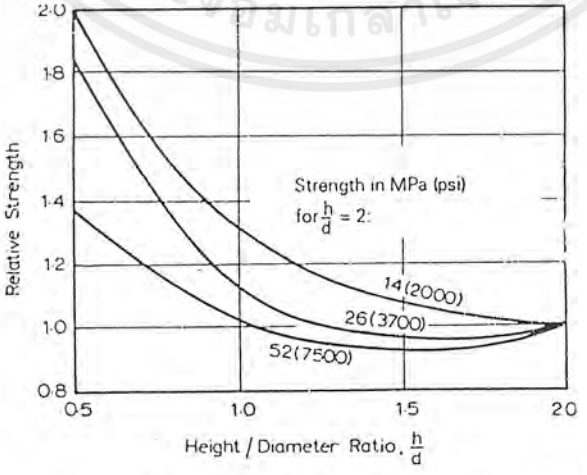
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนความสูง/เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง	ค่าปรับแก้กำลังอัด	
(H/D)	ASTM C42-90	BS1881 :Part120:1983
2.00	1.00	1.00
1.75	0.98	0.97
1.50	0.96	0.92
1.25	0.93	0.87
1.00	0.87	0.80

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าปรับแก้กำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก ที่มีค่าอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ กัน

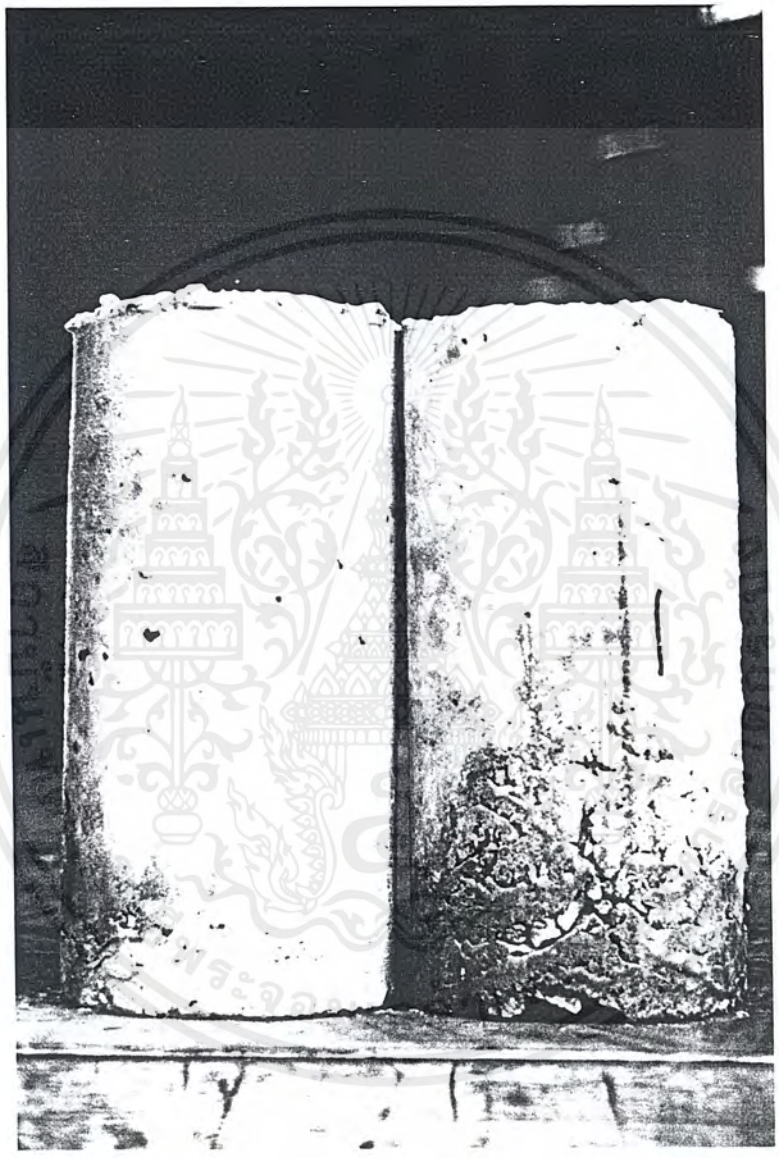


รูปที่ 4.12 อิทธิพลของอัตราส่วน H/D ต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก



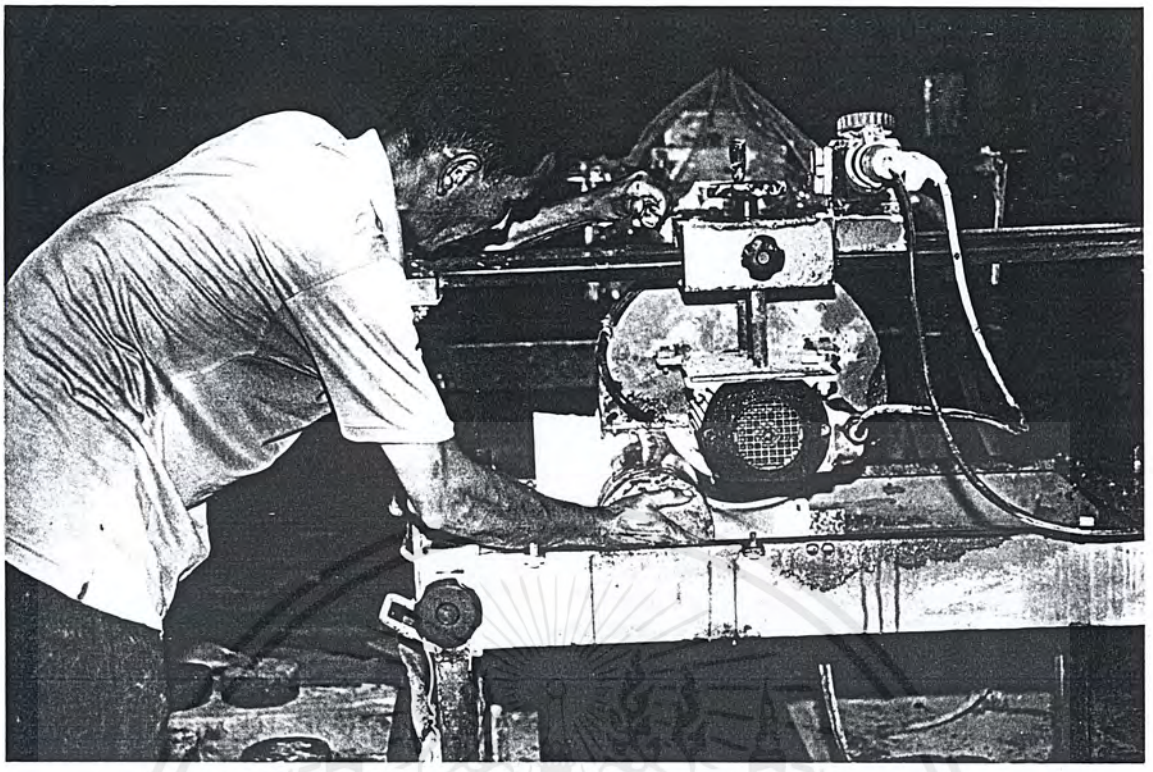
รูปที่ 4.13 อิทธิพลของอัตราส่วน H/D ต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก ในช่วงกำลังอัดที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

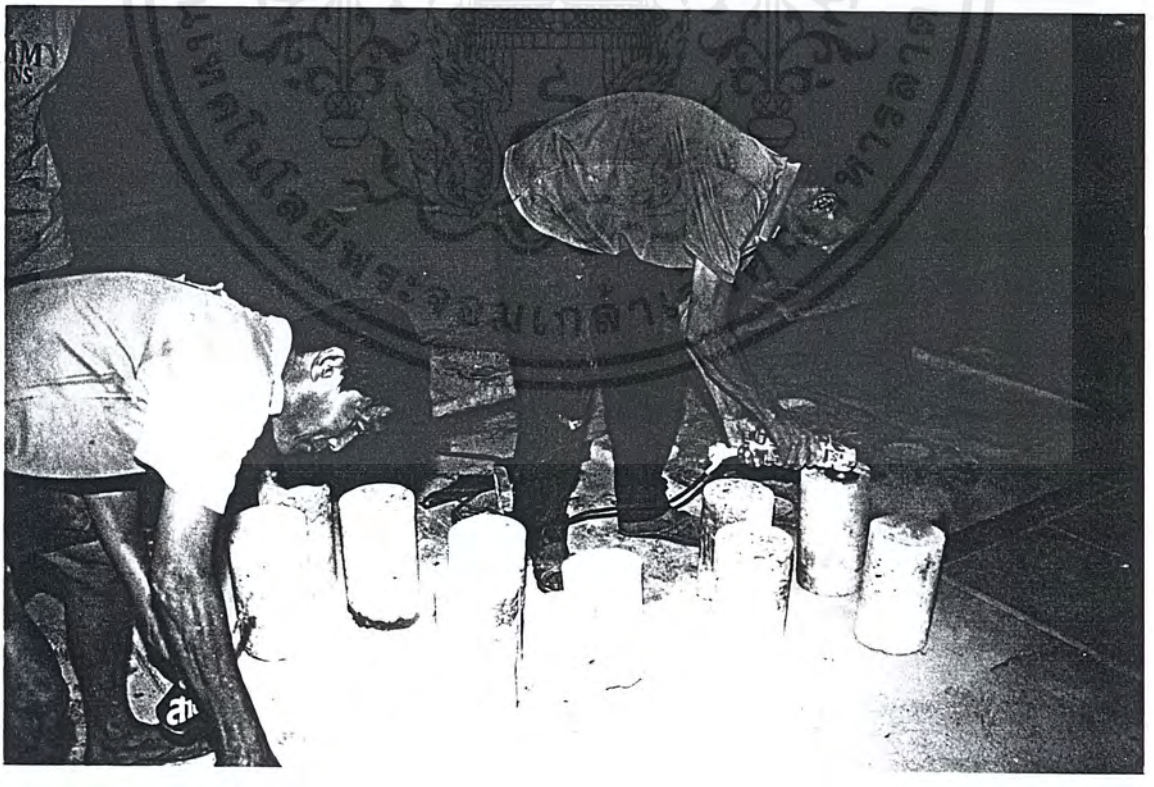


รูปที่ 4.14 แสดงรูปตัวอย่างรูปทรงกระบอกผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง (ซ้าย) และไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงการตัดตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก



รูปที่ 4.16 แสดงการแต่งผิวหน้าตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่ตัดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบ

1. เครื่องหล่อหมวก (Capped)หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง
2. เครื่องทดสอบกำลังอัด UTM (Universal Testing Machine)

การทดสอบ

ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดแท่งคอนกรีตตัวอย่างโดยเร็วที่สุดหลังนำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ก่อนการทดสอบควรตรวจสอบระนาบหัวท้ายของคอนกรีตว่ามีความราบแบนหรือไม่ โดยระนาบดังกล่าวไม่ควรเอียงมากกว่า 0.5 % (หรือประมาณ 3 มม.) หากไม่อยู่ในขอบเขตดังกล่าวให้ทำการหล่อหมวกหัวท้ายเสียก่อน โดยปฏิบัติตามมาตรฐานของ ASTM: C 617-84

การคำนวณ

ค่ากำลังอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างจะหาได้จากสูตร

$$f_c = P/A$$

โดย

f_c = กำลัดอัดประลัยของแท่งคอนกรีต

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ

$= \pi D^2/4$

4.3 การควบคุมคุณภาพและการตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่าง

ในกระบวนการผลิตคอนกรีต ต้องพยายามผลิตคอนกรีตให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพสม่ำเสมอและอยู่ในระดับมาตรฐานที่ยอมรับได้ ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น อาจจะเนื่องมาจากวัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีต วิธีการทำคอนกรีตหรือแม้แต่กระบวนการทดสอบ ล้วนแต่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตทั้งสิ้น ดังนั้นในการศึกษาการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตนี้ต้องมีการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตว่าได้ตามมาตรฐานหรือไม่

สถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI 214) ได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตและการประเมินผลการทดสอบ โดยประยุกต์จากหลักการทางสถิติและทฤษฎีของความน่าจะเป็น กล่าวคือ สมมุติให้การกระจายผลการทดสอบกำลังต้านทานของคอนกรีตเป็นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปรกติ (Normal Distribution) โดยมีตัวแปรหลัก 2 ค่า ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ย (Mean , $\bar{x}$) โดยที่

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{n}$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation , S) โดยที่

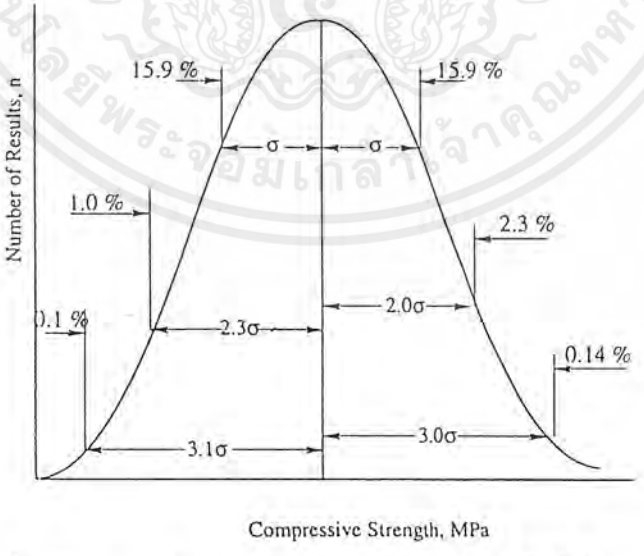
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n-1}}$$

และถ้าให้

$$Z = \frac{(x - \bar{x})}{S}$$

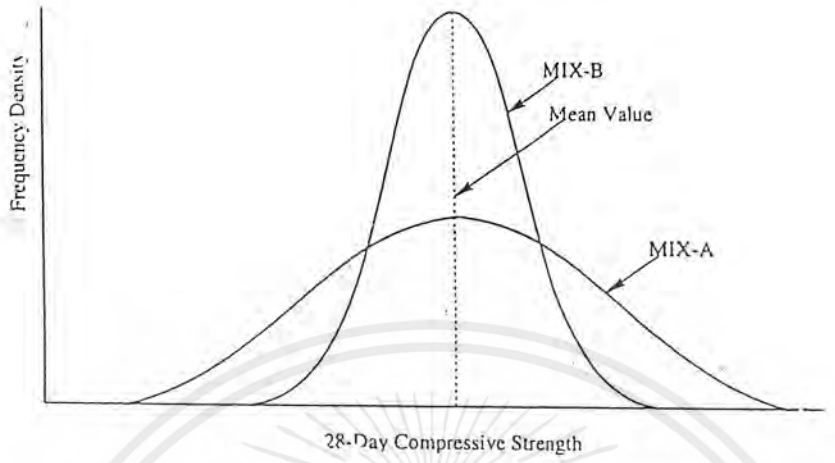
เป็นค่าแจกแจงมาตรฐานปรกติ (Standard Normal Distribution)

เมื่อนำค่าต่าง ๆ ไปเขียนกราฟจะได้โค้งปกติมาตรฐานเป็นรูปโค้งระฆังคว่ำดังแสดงในรูปที่ 4.17 โดยที่ Z = 1 ค่า $\bar{x}$ = 0 และพื้นที่ที่อยู่ใต้โค้งของโค้งปกติมีค่าเท่ากับ 1(โดยอาจคิดว่าเท่ากับ 100% ของจำนวนตัวอย่างมาตรฐานทั้งหมด)



รูปที่ 4.17 แสดงค่าการกระจายของข้อมูลภายใต้โค้งของการแจกแจงความถี่แบบปรกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงโค้งแจกแจงความถี่ปรกติเมื่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าแตกต่างกัน

ในรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่าง ๆ กัน โดยงานที่มีการควบคุมคุณภาพที่ดีจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำ ส่วนในงานที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพหรือควบคุมคุณภาพไม่ดีพอจะทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงจนบางครั้งอาจเกินกว่าที่จะยอมรับได้

4.3.1 กำลังเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องการผลิต

จากวิธีการทางสถิติและทฤษฎีของความน่าจะเป็นมาประยุกต์ดังกล่าว จะเห็นได้ว่าในการทำงานคอนกรีตเราสามารถควบคุมคุณภาพได้โดยอาจมีคอนกรีตจำนวนหนึ่งที่มีคุณภาพต่ำกว่าที่ได้กำหนดเอาไว้ ดังนั้นในการหาอัตราส่วนผสมคอนกรีต สถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI 214) จึงได้กำหนดพิจารณาจากกำลังต้านทานเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องการ (Required Average Strength) โดยคำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$f_{cr} = f_c' + TS$$

โดยที่ f_{cr} = ค่ากำลังต้านทานโดยเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องการผลิต

f_c' = ค่ากำลังต้านทานของคอนกรีตที่กำหนดใช้ในการออกแบบ

T = ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการควบคุมโอกาสของแท่งทดสอบคอนกรีตที่กำลังต้านทานต่ำกว่าที่กำหนด (f_c') แสดงในตารางที่ 4.3

S = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละของผลการทดสอบ ที่อยู่ในช่วง $x \pm TS$	โอกาสของแท่งคอนกรีต จะมีกำลังต่ำกว่าที่กำหนด	T
40	3 ใน 10	0.52
50	2.5 ใน 10	0.67
60	2 ใน 10	0.84
70	1.5 ใน 10	1.04
80	1 ใน 10	1.28
90	1 ใน 20	1.65
95	1 ใน 44	1.96
98	1 ใน 100	2.33
100	1 ใน 741	3.00

ตารางที่ 4.3 ค่ามาตรฐาน T

4.3.2 การวิเคราะห์และประเมินผลการทดสอบ

การวิเคราะห์และประเมินผลการแปรผันของข้อมูลโดยรวม อาจวิเคราะห์ได้โดยใช้ค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลในการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบกับค่าในตาราง 4.4

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	S<28	28<S<35	35<S<42	42<S<49	49<S
ระดับการควบคุมคุณภาพ	ดีเลิศ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง

ตารางที่ 4.4 แสดงระดับการควบคุมคุณภาพโดยดูจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการแปรผันของข้อมูลในด้านกระบวนการทดสอบสามารถพิจารณาได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบ โดยขึ้นกับค่าเฉลี่ยของพิสัย (Range) ของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบและจำนวนตัวอย่างในแต่ละชุด

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบ(S_{EXP}) = R/d_2

โดย

R = พิสัย = ค่าสูงสุดของข้อมูล – ค่าต่ำสุดของข้อมูล ในแต่ละชุดข้อมูล

d_2 หาได้จากตาราง 4.4

จำนวนแท่งทดสอบในแต่ละชุด	D_2	$1/d_2$
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946
7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249

ตารางที่ 4.5 ตัวประกอบเพื่อใช้คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการทดสอบ (S_{EXP})

นอกจากนี้การวิเคราะห์คุณภาพของคอนกรีตอาจวิเคราะห์ได้โดยการวิเคราะห์จากกราฟซึ่งโดยทั่ว ๆ ไป มีกราฟอยู่ 2 ชนิดได้แก่

1. กราฟแสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตแต่ละแท่งที่ทดสอบได้หรือค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละชุดของการทดสอบ
2. กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของกำลังอัดสะสมที่ได้ทดสอบมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อแสดงแนวโน้มของค่าเฉลี่ยของกำลังอัด ตลอดจนช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของกำลังอัด

โดยกราฟต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในบทที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG				COMPRESSIVE STRENGTH TEST ASTM : C 39 - 72			
PROJECT Compressive Strength Comparision Study of Underwater Concrete Between Mixing with Admixture and without Admixture							
OWNER พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย		TEST BY พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย		SAMPLE TYPE Cylinder (15x30cm)			
Case I :เทคอนกรีตบนบก							
Sample No.	Weight of Sample (kg)	Date		Age (day)	Compressive Strength		Average Compressive Strength (ksc)	Remark
		Casting	Testing		Load(kg)	Stress(ksc)		
1	12.537	14/12/41	21/12/41	7	52750	298.50	335.00	กำลังเฉลี่ยของคอนกรีตได้จากการนำค่ากำลังอัดของแท่งคอนกรีตทั้ง5ค่ามาหาค่าเฉลี่ย
2	12.582	14/12/41	21/12/41	7	63750	360.75		
3	12.558	14/12/41	21/12/41	7	61200	346.32		
4	12.727	14/12/41	21/12/41	7	52000	294.26		
5	12.636	14/12/41	21/12/41	7	66300	375.18		
1	12.605	14/12/41	28/12/41	14	65550	370.94	354.30	
2	12.568	14/12/41	28/12/41	14	60000	339.53		
3	12.564	14/12/41	28/12/41	14	64800	366.69		
4	12.605	14/12/41	28/12/41	14	63750	360.75		
5	12.635	14/12/41	28/12/41	14	58950	333.59		
1	12.611	14/12/41	4/1/42	21	69500	393.29	366.52	
2	12.515	14/12/41	4/1/42	21	59500	336.70		
3	12.803	14/12/41	4/1/42	21	61200	346.32		
4	12.509	14/12/41	4/1/42	21	67200	380.27		
5	12.613	14/12/41	4/1/42	21	66450	376.03		
1	12.662	14/12/41	11/1/42	28	70500	398.95	392.44	
2	12.625	14/12/41	11/1/42	28	68250	386.22		
3	12.584	14/12/41	11/1/42	28	69000	390.46		
4	12.364	14/12/41	11/1/42	28	67500	381.97		
5	12.81	14/12/41	11/1/42	28	71500	404.61		

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกรณีเทบนบก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG						COMPRESSIVE STRENGTH TEST ASTM : C 39 - 72		
PROJECT Compressive Strength Comparision Study of Underwater Concrete Between Mixing with Admixture and without Admixture								
OWNER พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย		TEST BY พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย				SAMPLE TYPE Cylinder (15x19cmCut Off11cm)		
Case II:เทคอนกรีตใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง						Reduction Factor : 0.93		
Sample No.	Date		Age	Compressive Strength		Average Compressive Strength (ksc)	Reduction Compressive Strength (ksc)	Remark
	Casting	Testing	(day)	Load(kg)	Stress(ksc)			
1	5/2/42	12/2/42	7	39500	223.52	211.41	196.62	กำลังเฉลี่ยของคอนกรีตได้จากการนำค่ากำลังอัดของแท่งคอนกรีตทั้ง5ค่ามาหาค่าเฉลี่ย
2	5/2/42	12/2/42	7	25600	144.87			
3	5/2/42	12/2/42	7	37500	212.21			
4	5/2/42	12/2/42	7	38600	218.43			
5	5/2/42	12/2/42	7	45600	258.04			
1	5/2/42	19/2/42	14	46050	260.59	261.66	243.35	ค่าReduction Factor ได้จากรูปที่ 4.12 หน้า 59
2	5/2/42	19/2/42	14	45500	257.48			
3	5/2/42	19/2/42	14	43250	244.74			
4	5/2/42	19/2/42	14	47500	268.80			
5	5/2/42	19/2/42	14	48900	276.72			
1	5/2/42	26/2/42	21	52300	295.96	277.91	258.45	
2	5/2/42	26/2/42	21	50500	285.77			
3	5/2/42	26/2/42	21	35900	203.15			
4	5/2/42	26/2/42	21	55650	314.91			
5	5/2/42	26/2/42	21	51200	289.73			
1	5/2/42	5/3/42	28	55600	314.63	312.37	290.50	
2	5/2/42	5/3/42	28	53500	302.75			
3	5/2/42	5/3/42	28	54200	306.71			
4	5/2/42	5/3/42	28	56700	320.86			
5	5/2/42	5/3/42	28	56000	316.90			

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกรณีเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG						COMPRESSIVE STRENGTH TEST ASTM : C 39 - 72		
PROJECT Compressive Strength Comparision Study of Underwater Concrete Between Mixing with Admixture and without Admixture								
OWNER พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย		TEST BY พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย				SAMPLE TYPE Cylinder (15x19cmCut Off11cm)		
Case III:เทคอนกรีตใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง						Reduction Factor :	0.93	
Sample No.	Date		Age	Compressive Strength		Average Compressive Strength (ksc)	Reduction Compressive Strength (ksc)	Remark
	Casting	Testing	(day)	Load(kg)	Stress(ksc)			
1	4/2/42	11/2/42	7	51500	291.43	273.21	254.08	กำลังเฉลี่ยของคอนกรีตได้จากการนำค่ากำลังอัดของแท่งคอนกรีตทั้ง5 ค่ามาหาค่าเฉลี่ย
2	4/2/42	11/2/42	7	52000	294.26			
3	4/2/42	11/2/42	7	48500	274.45			
4	4/2/42	11/2/42	7	35750	202.30			
5	4/2/42	11/2/42	7	53650	303.60			
1	4/2/42	18/2/42	14	55000	311.24	324.14	301.45	ค่าReduction Factor ได้จากรูปที่ 4.12 หน้า 59
2	4/2/42	18/2/42	14	57500	325.38			
3	4/2/42	18/2/42	14	56400	319.16			
4	4/2/42	18/2/42	14	55700	315.20			
5	4/2/42	18/2/42	14	61800	349.72			
1	4/2/42	25/2/42	21	62800	355.38	359.79	334.60	
2	4/2/42	25/2/42	21	64600	365.56			
3	4/2/42	25/2/42	21	61450	347.74			
4	4/2/42	25/2/42	21	65550	370.94			
5	4/2/42	25/2/42	21	63500	359.34			
1	4/2/42	4/3/42	28	65700	371.79	374.90	348.66	
2	4/2/42	4/3/42	28	65000	367.82			
3	4/2/42	4/3/42	28	68750	389.05			
4	4/2/42	4/3/42	28	67500	381.97			
5	4/2/42	4/3/42	28	64300	363.86			

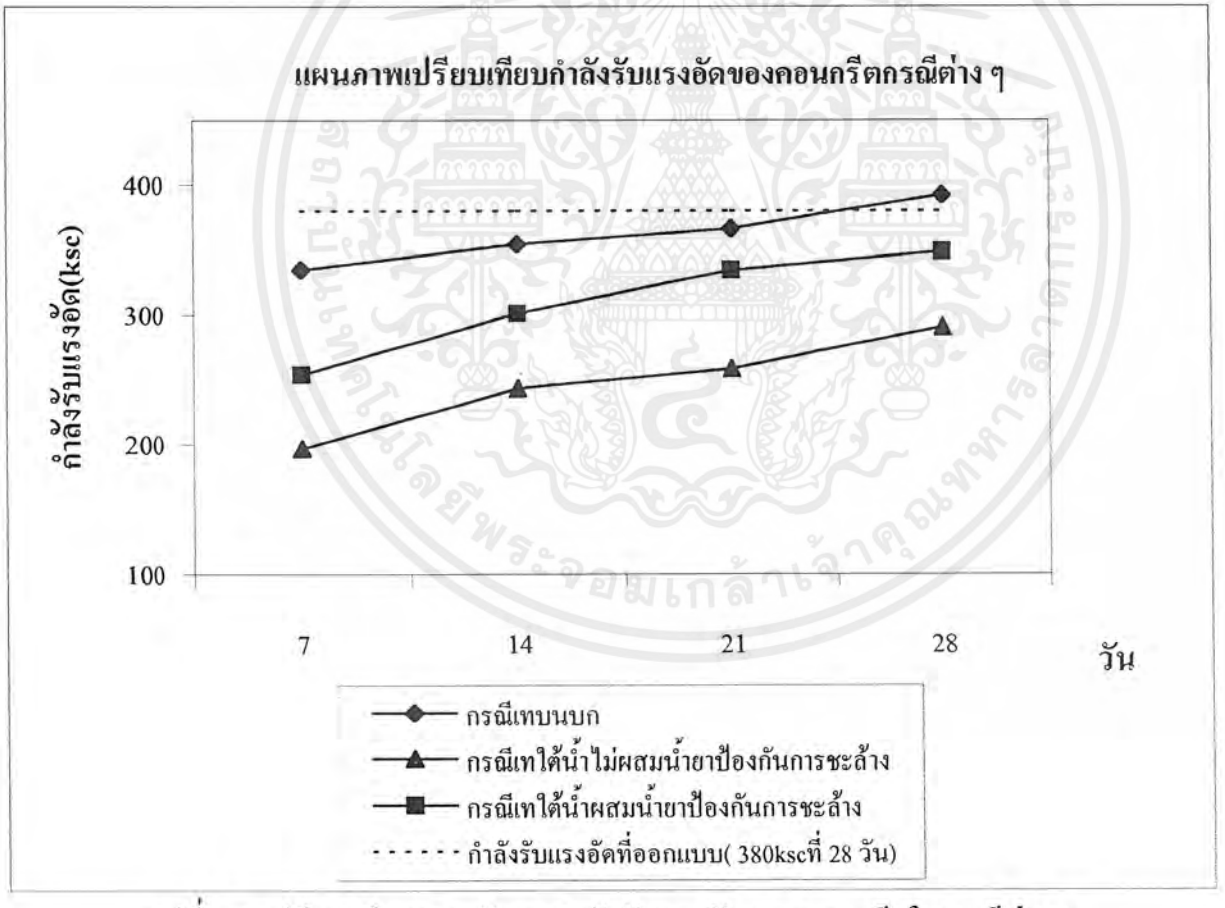
ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		COMPRESSIVE STRENGTH TEST ASTM : C 39 - 72		
PROJECT Compressive Strength Comparision Study of Underwater Concrete Between Mixing with Admixture and without Admixture				
OWNER พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย	TEST BY พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย			
กำลังรับแรงอัดอัดเฉลี่ยที่เวลาต่าง ๆ ทั้ง 3 กรณี				
ประเภทของตัวอย่างที่เก็บ	เวลา			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน*
1. กรณีเทบนบก	335.00	354.30	366.52	392.44
2. กรณีเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	196.62	243.35	258.45	290.50
3. กรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	254.08	301.45	334.60	348.66

*หมายเหตุ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ออกแบบไว้เมื่อ 28 วันเท่ากับ 380 กก.ต่อตร.ซม.

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในกรณีต่าง ๆ



รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในกรณีต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปวิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและข้อเสนอแนะในการใช้งาน

6.1 สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

1. คอนกรีตที่เทใต้น้ำโดยผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างซีเมนต์ ให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่เทใต้น้ำที่ไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างซีเมนต์
2. คอนกรีตที่เทใต้น้ำโดยผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างให้กำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตปรกติประมาณ 11.4 %
3. คอนกรีตที่เทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างให้กำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตปรกติประมาณ 27 %

6.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

1. สาเหตุที่คอนกรีตที่ไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างให้กำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตปรกติ เนื่องมาจากการถูกชะล้างซีเมนต์เพสต์ในเนื้อคอนกรีตในขณะเทใต้น้ำ โดยที่การเทแบบปรกติไม่มีการสัมผัสระหว่างน้ำกับซีเมนต์ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียซีเมนต์เพสต์ในเนื้อคอนกรีต ส่วนสาเหตุอื่นที่เป็นตัวแปรทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดแตกต่างกันได้ถูกควบคุมให้เหมือนกันทุกอย่าง ได้แก่ อัตราส่วนผสม เวลาในการบ่ม คุณสมบัติของมวลรวม วิธีการเท รวมทั้งสภาพใต้น้ำ ส่วนตัวแปรในด้านรูปร่าง ก็มีการคูณตัวแปรลดกำลังเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับกำลังคอนกรีตที่มีขนาดมาตรฐานได้
2. คอนกรีตที่เทใต้น้ำและผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง

   2.1 การที่คอนกรีตที่เทใต้น้ำและผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าคอนกรีตที่เทใต้น้ำแต่ไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง เนื่องจากมีการสูญเสียปริมาณซีเมนต์เพสต์ในเนื้อคอนกรีตน้อยกว่า เพราะน้ำยาป้องการชะล้างซีเมนต์เพสต์ได้เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเนื้อซีเมนต์เพสต์ ทำให้การชะล้างซีเมนต์เพสต์ลดลง

   2.2 คอนกรีตที่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างให้กำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตปรกติ เพราะน้ำยาป้องกันการชะล้างสามารถป้องกันการชะล้างไม่ได้ทั้งหมด ยังมีการสูญเสียซีเมนต์เพสต์ในเนื้อคอนกรีตไปบางส่วนจึงทำให้กำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่เทแบบปรกติ

   ส่วนตัวแปรอื่น ๆ ที่ต้องควบคุมให้คงที่ก็มีการควบคุมให้คงที่เหมือนกับข้อ 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่เทใต้น้ำ ไม่ได้แสดงว่าในการเทคอนกรีตใต้น้ำจริงผลกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะมีค่าเหมือนกับที่ทดลอง เนื่องจากข้อจำกัดในการทดลองสามารถทำให้ค่าคอนกรีตที่เทจริงอาจแตกต่างจากการทดลอง
4. ความแปรผันในกระบวนการผลิตและกระบวนการทดสอบพบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลในแต่ละชุดข้อมูลส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง15 - 30ซึ่งจะอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ถึงพอใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุคอนกรีต	กรณีเทแบบปรกติ			กรณีเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง			กรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง		
	ค่ากำลังอัด (ksc)	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด (ksc)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูล	ค่ากำลังอัด (ksc)	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด (ksc)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูล	ค่ากำลังอัด (ksc)	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด (ksc)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูล
7	298.50			207.88			271.03		
7	360.75			134.73			273.66		
7	346.32	335.00	36.73	197.35	196.62	38.34	255.24	254.08	38.14
7	294.26			203.14			188.14		
7	375.18			239.98			282.35		
14	370.94			242.35			289.45		
14	339.53			239.45			302.61		
14	366.69	354.30	16.73	227.61	243.35	11.22	296.82	301.45	14.16
14	360.75			249.98			293.13		
14	333.59			257.35			325.24		
21	393.29			275.24			330.50		
21	336.70			265.77			339.97		
21	346.32	366.52	23.94	188.93	258.45	40.23	323.39	334.60	8.35
21	380.27			292.87			344.97		
21	376.03			269.45			334.18		
28	398.95			292.61			345.76		
28	386.22			281.56			342.08		
28	390.46	392.44	9.26	285.24	290.50	6.93	361.81	348.66	9.66
28	381.97			298.40			355.23		
28	404.61			294.71			338.39		

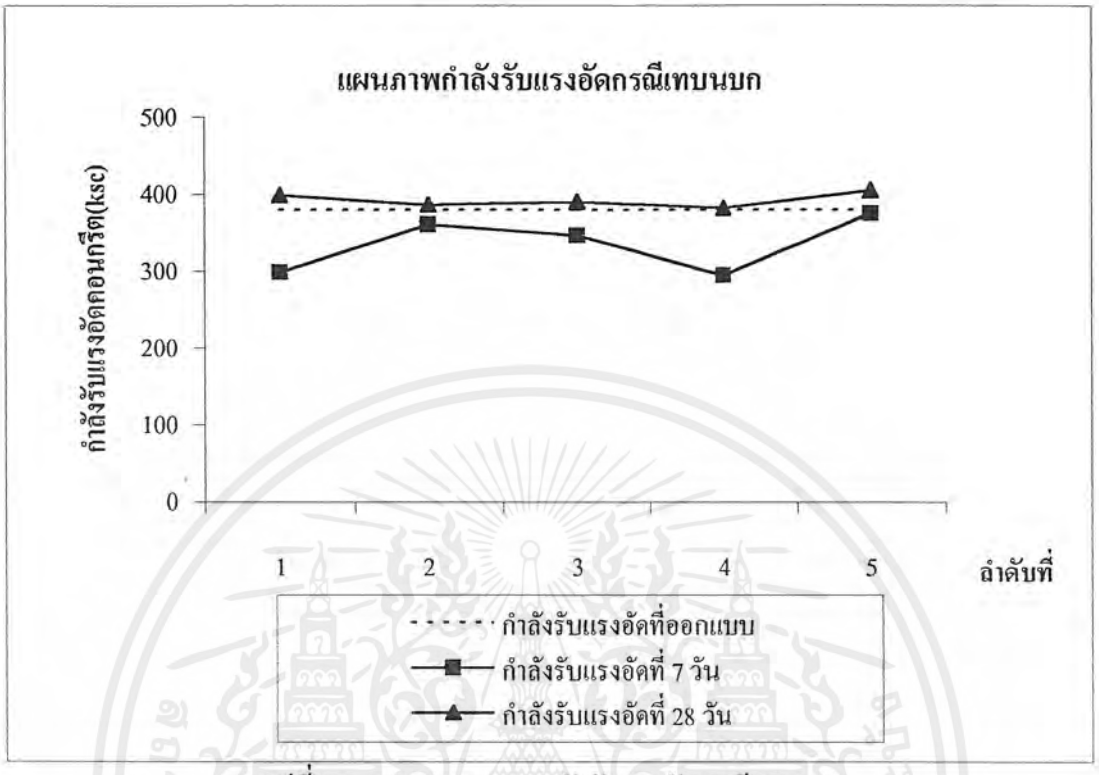
ตารางที่ 6.1 แสดงการวิเคราะห์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

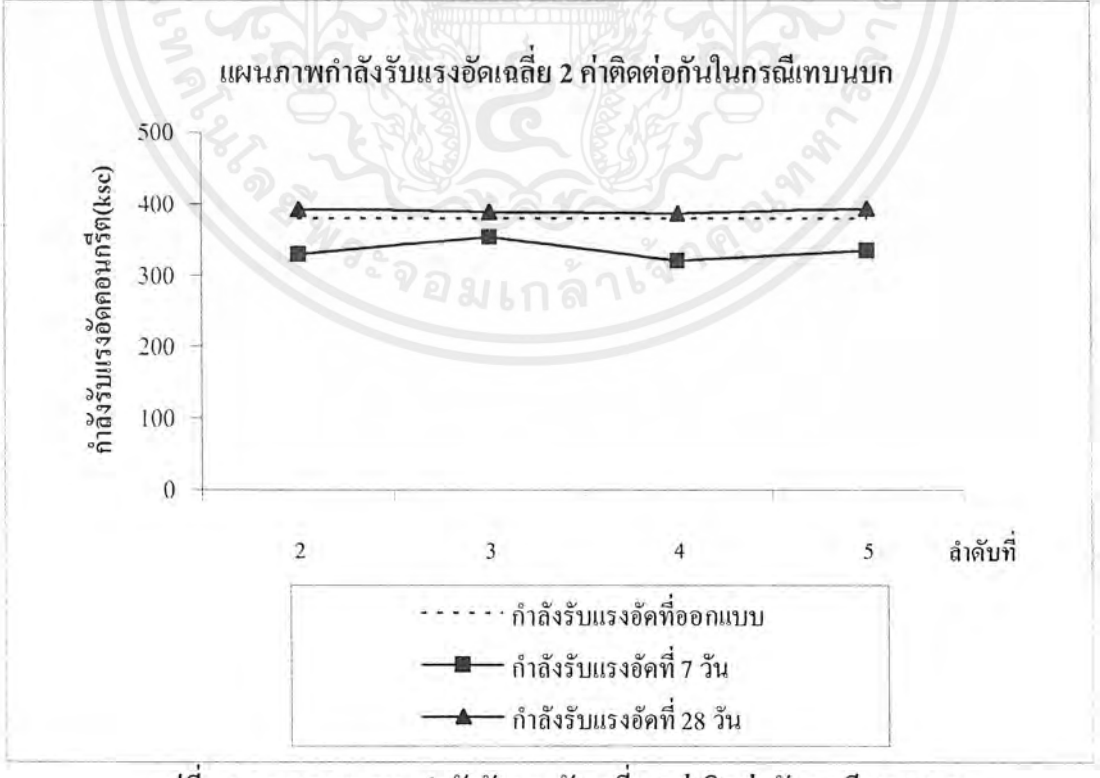
เลขที่	กำลังอัดที่อายุ 7 วัน (ksc)		กำลังอัดที่อายุ 28 วัน (ksc)		หมายเหตุ
	กำลังอัด	กำลังอัดเฉลี่ย2 ค่าติดต่อกัน	กำลังอัด	กำลังอัดเฉลี่ย2 ค่าติดต่อกัน	
1	298.50	-	398.95	-	1. กรณีเทบนบก
2	360.75	329.63	386.22	392.58	
3	346.32	353.54	390.46	388.34	
4	294.26	320.29	381.97	386.22	
5	375.18	334.72	404.61	393.29	
1	207.88	-	292.61	-	1. กรณีเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง 2. ค่ากำลังอัดที่ได้คูณตัวลดกำลังเนื่องจากอัตราส่วนH/Dแล้ว
2	134.73	171.30	281.56	287.08	
3	197.35	166.04	285.24	283.40	
4	203.14	200.25	298.40	291.82	
5	239.98	221.56	294.71	296.55	
1	271.03	-	345.76	-	1. กรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง 2. ค่ากำลังอัดที่ได้คูณตัวลดกำลังเนื่องจากอัตราส่วนH/Dแล้ว
2	273.66	272.35	342.08	343.92	
3	255.24	264.45	361.81	351.94	
4	188.14	221.69	355.23	358.52	
5	282.35	235.24	338.39	346.81	

ตารางที่ 6.2 แสดงการวิเคราะห์ค่ากำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

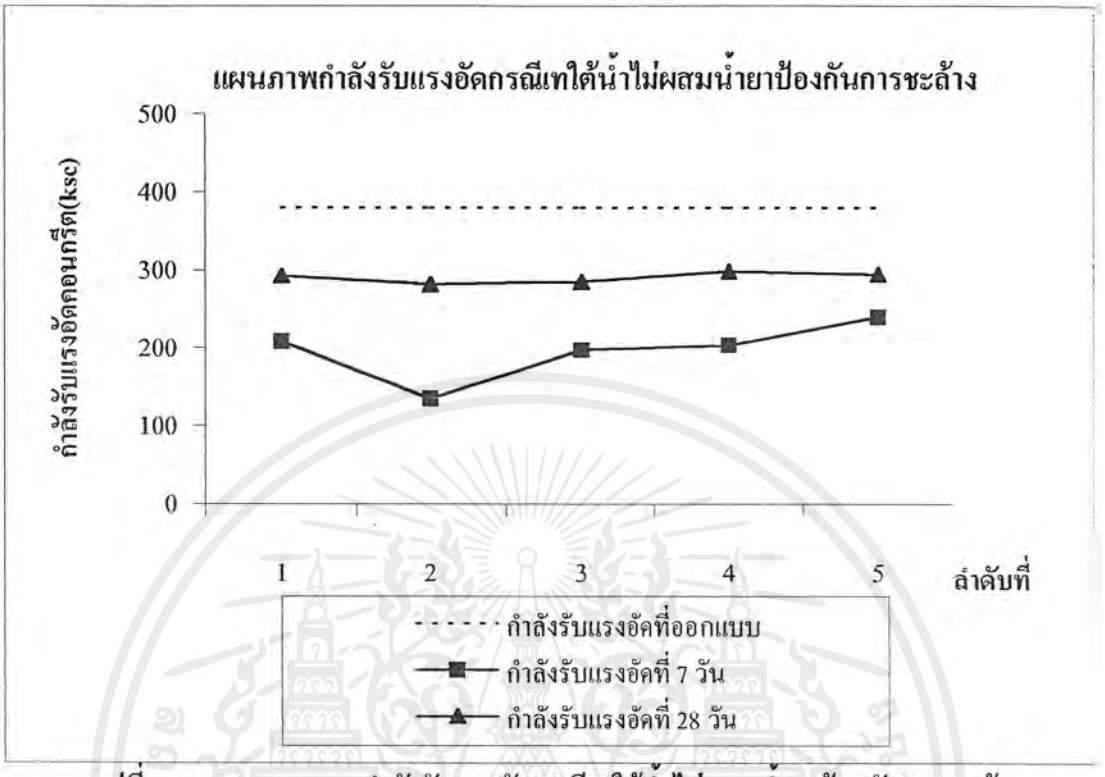


รูปที่ 6.1 แผนภาพแสดงกำลังรับแรงอัดกรณีเทบนบก

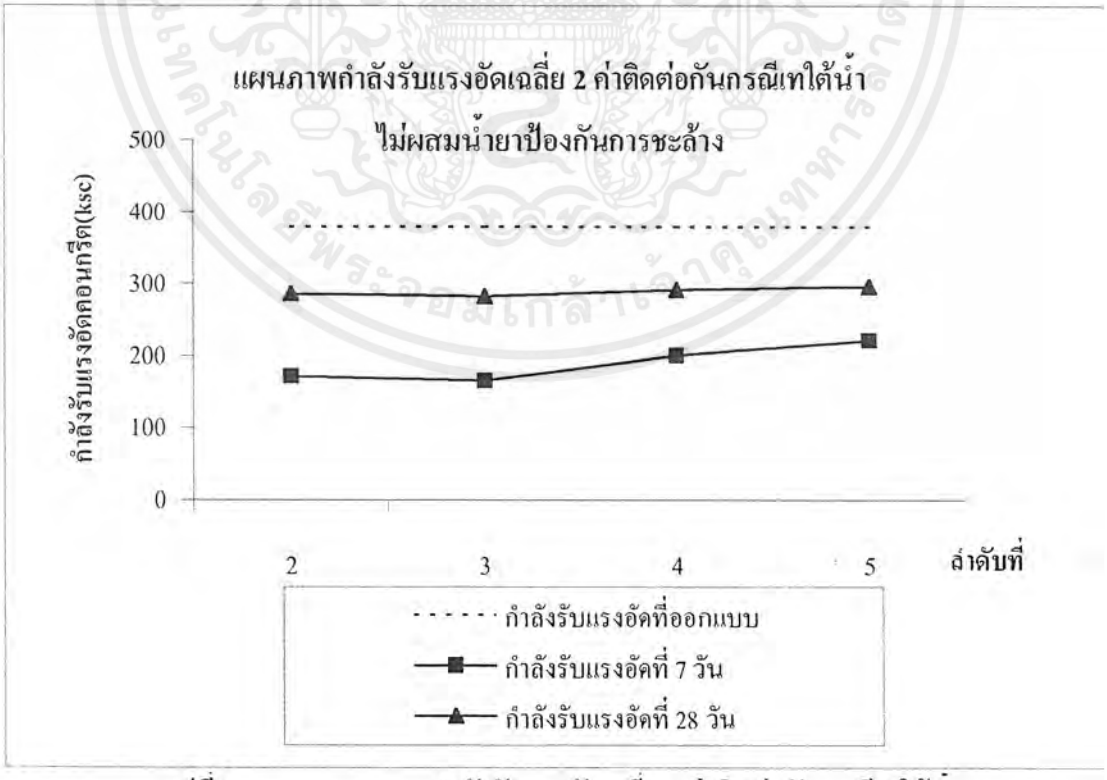


รูปที่ 6.2 แผนภาพแสดงกำลังรับแรงอัดเฉลี่ย 2 ค่าติดต่อกันกรณีเทบนบก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

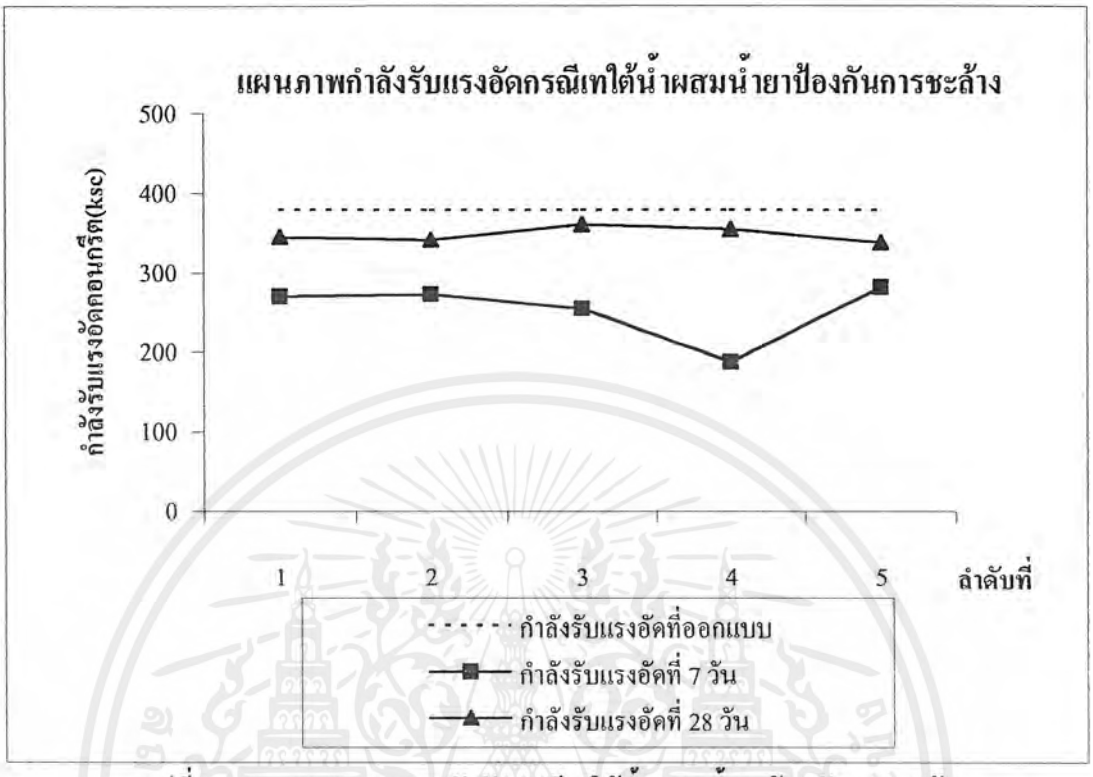


รูปที่ 6.3 แผนภาพแสดงกำลังรับแรงอัดกรณีเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง

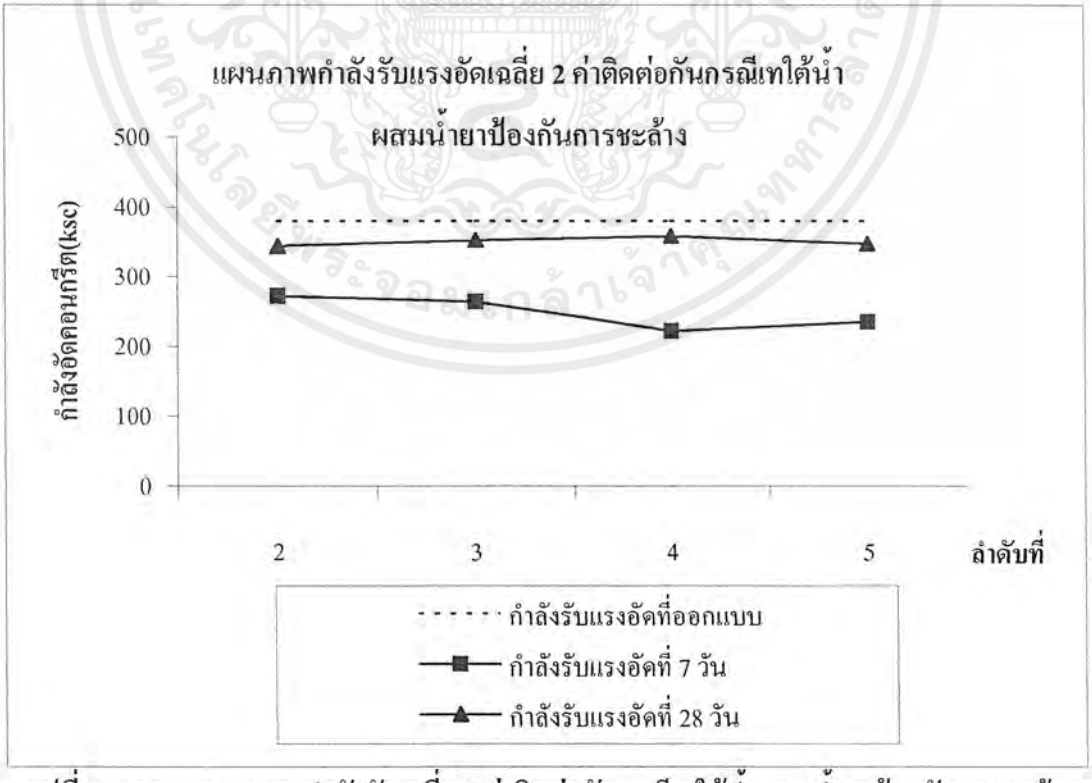


รูปที่ 6.4 แผนภาพแสดงกำลังรับแรงอัดเฉลี่ย 2 ค่าติดต่อกันกรณีเทใต้น้ำ ไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 แผนภาพแสดงกำลังอัดกรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง



รูปที่ 6.6 แผนภาพแสดงกำลังอัดเฉลี่ย 2 ค่าติดต่อกันกรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ข้อเสนอแนะในการใช้งาน

6.3.1 ทางด้านราคา

จากการศึกษากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เทใต้น้ำพบว่า

เมื่อไม่ได้ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างซีเมนต์เพสต์

กำลังรับแรงอัดจะลดลงประมาณ 20 – 25 % ดังนั้นในการทำงานจริง การคำนวณราคาคอนกรีตต้องคำนวณราคาคอนกรีตที่ได้เผื่อค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่ต้องสูญเสียจากการชะล้างนี้ด้วย เช่น

เมื่อต้องการคอนกรีตที่มีค่ากำลังรับแรงอัดในการใช้งาน 300 กก./ตร.ซม. เพื่อใช้เทใต้น้ำ

เผื่อค่ากำลังรับแรงอัด 25 % = $0.25 \times 300 = 75$ กก./ตร.ซม.

ต้องออกแบบคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัด = $300 + 75$ = 375 กก./ตร.ซม.

(สั่งคอนกรีตที่มีค่ากำลังรับแรงอัด 380 กก./ตร.ซม.)

ดังนั้นราคาคอนกรีตที่ใช้ = 2350 บาท/ลบ.ม.

เทียบกับราคาคอนกรีตเดิม = 2145 บาท/ลบ.ม.

ราคาคอนกรีตเพิ่มขึ้น

$$= \frac{(2350 - 2145)}{2145} \times 100$$

= 9.57% จากราคาคอนกรีตที่เทปรกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างซีเมนต์เพสต์

กำลังรับแรงอัดจะลดลงประมาณ 10 – 15 % ดังนั้นในการทำงานจริง การคำนวณราคาของคอนกรีตจะต้องคำนวณราคาคอนกรีตที่ได้เผื่อค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่สูญเสียจากการชะล้าง และต้องคำนวณค่าน้ำยาป้องกันการชะล้างด้วย เช่น

เมื่อต้องการคอนกรีตที่มีค่ากำลังรับแรงอัดในการใช้งาน 300 กก./ลบ.ซม. เพื่อใช้เทใต้น้ำ

เผื่อค่ากำลังรับแรงอัด 10 % = 0.10 × 300 = 30 กก./ลบ.ซม.

ต้องออกแบบคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัด = 300 + 30 = 330 กก./ลบ.ซม.

(สั่งคอนกรีตที่มีค่ากำลังรับแรงอัด 320 กก./ลบ.ซม.)

ราคาน้ำยาป้องกันการชะล้างซีเมนต์เพสต์ Sikament 100 SC

= 900 บาท/คอนกรีต 1 ลบ.ม.

ดังนั้นราคาคอนกรีตที่ใช้ = 2200 + 900 = 3100 บาท/ ลบ.ม.

เทียบกับราคาคอนกรีตเดิม = 2145 บาท/ลบ.ม.

ราคาคอนกรีตเพิ่มขึ้น

$$= \frac{(3100 - 2145)}{2145} \times 100$$

= 44.52% จากราคาคอนกรีตที่เทปรกติ

โดยราคาคอนกรีตที่ค่ากำลังรับแรงอัดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 6.3 จากตารางและแผนภาพเปรียบเทียบราคาคอนกรีตจะเห็นได้ว่าราคาของคอนกรีตเทใต้น้ำที่ไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง แต่ได้เผื่อค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตไว้ 25 % มีความคุ้มค่าในการใช้งานมากกว่าคอนกรีตเทใต้น้ำที่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง เนื่องจากราคาของน้ำยาป้องกันการชะล้าง sikment 100 SC มีราคาที่แพงมาก ดังนั้นการเลือกใช้คอนกรีตที่เทใต้น้ำในปัจจุบันจึงควรเลือกคอนกรีตที่ได้เผื่อค่ากำลังรับแรงอัดไว้ 25 % จะคุ้มค่ากว่า การใช้คอนกรีตเทใต้น้ำที่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างควรใช้ในกรณีที่มีการซ่อมแซมองค์อาคารใต้น้ำ เนื่องจากราคาของน้ำยาป้องกันการชะล้างในปัจจุบันยังมีราคาที่สูงมาก

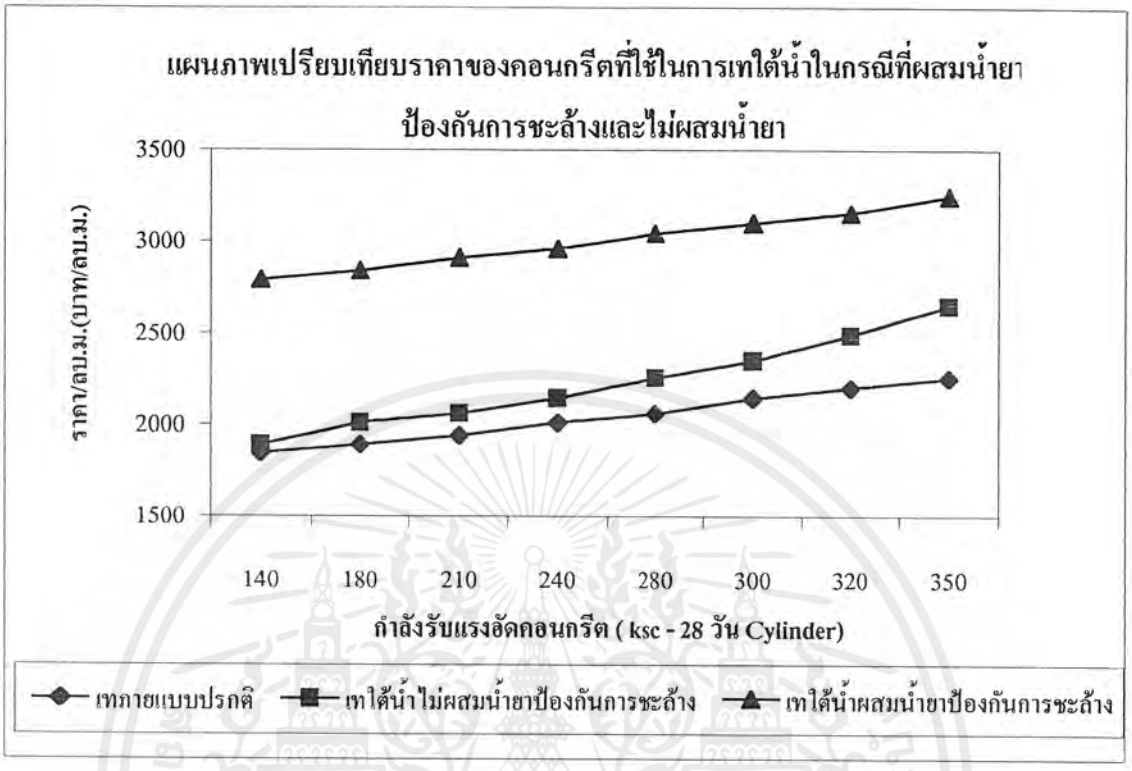
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังรับแรงอัดที่ต้องการ (ksc)	การเทในสภาวะปรกติ		การเทใต้น้ำ					
			คอนกรีตเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง			คอนกรีตเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง		
	กำลังอัดที่ออกแบบ (ksc)	*ราคา (บาท)	กำลังอัดที่ออกแบบโดยเผื่อค่ากำลังอัด 25 % (ksc)	ราคา (บาท)	ราคาเมื่อเทียบกับราคาในสภาวะปรกติ (%)	กำลังอัดที่ออกแบบโดยเผื่อค่ากำลังอัด 10 % + น้ำยาป้องกันการชะล้าง (ksc)	**ราคา (บาท)	ราคาเมื่อเทียบกับราคาในสภาวะปรกติ (%)
140	140	1845	180	1890	102.44	180	2790	151.22
180	180	1890	240	2010	106.35	210	2840	150.26
210	210	1940	280	2060	106.19	240	2910	150.00
240	240	2010	300	2145	106.72	280	2960	147.26
280	280	2060	350	2255	109.47	300	3045	147.82
300	300	2145	380	2350	109.56	320	3100	144.52
320	320	2200	400	2490	113.18	350	3155	143.41
350	350	2255	450	2650	117.52	380	3250	144.12

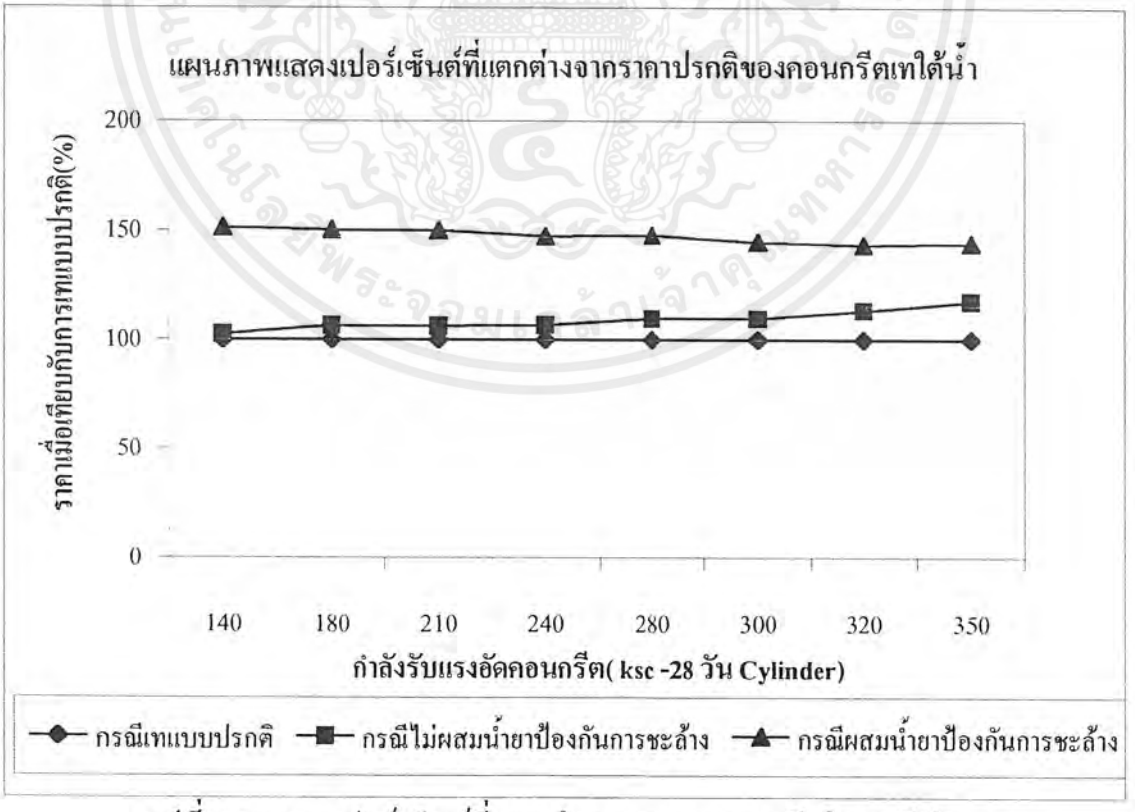
ตารางที่ 6.3 เปรียบเทียบราคาคอนกรีตที่เทใต้น้ำโดยการเผื่อค่ากำลังอัดและการผสมน้ำยาป้องกันการชะล้างซีเมนต์เพสต์

หมายเหตุ *ราคาคอนกรีตเมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2542 ของบริษัทคอนกรีตผสมเสร็จ CPAC

**น้ำยาป้องกันการชะล้าง Sikament 100 SC ราคา 900 บาท/คอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 6.7 แสดงราคาของคอนกรีตในกรณีต่าง ๆ



รูปที่ 6.8 แสดงเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างของราคาคอนกรีตในกรณีต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2 ทางด้านบุคลากรที่มีความรู้

ความรู้ทางด้านการใช้สารต้านทานการชะล้างซีเมนต์เพสต์ในต่างประเทศ เป็นเรื่องที่ได้มีการศึกษากันมานานแล้ว แต่ในบ้านเราการใช้ความรู้ทางด้านการผสมสารต้านทานการชะล้างยังไม่ได้นำมาใช้กันมากนักและยังไม่เป็นที่แพร่หลายทำให้ขาดบุคลากรที่มีความรู้ แต่ในอนาคตข้างหน้าเมื่อราคาต้นทุนในการผลิตลดลง และถ้ามีการผลิตสารต้านทานการชะล้างซีเมนต์เพสต์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่านี้ วิธีนี้น่าจะเป็นทางเลือกที่นิยมมากขึ้นในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตเมื่อไม่ตัดส่วนที่เป็นโพรงออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			COMPRESSIVE STRENGTH TEST ASTM : C 39 - 72				
PROJECT Compressive Strength Comparision Study of Underwater Concrete Between Mixing with Admixture and without Admixture							
OWNER พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย		TEST BY พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย		SAMPLE TYPE Cylinder (15x30cm)			
Case I :เทคอนกรีตบนบก							
Sample No.	Weight of Sample (kg)	Date		Age (day)	Compressive Strength		Average Compressive Strength (ksc)	Remark
		Casting	Testing		Load(kg)	Stress(ksc)		
1	12.537	14/12/41	21/12/41	7	52750	298.50	335.00	กำลังเฉลี่ยของคอนกรีตได้จากการนำค่ากำลังอัดของแท่งคอนกรีตทั้ง5ค่ามาหาค่าเฉลี่ย
2	12.582	14/12/41	21/12/41	7	63750	360.75		
3	12.558	14/12/41	21/12/41	7	61200	346.32		
4	12.727	14/12/41	21/12/41	7	52000	294.26		
5	12.636	14/12/41	21/12/41	7	66300	375.18		
1	12.605	14/12/41	28/12/41	14	65550	370.94	354.30	
2	12.568	14/12/41	28/12/41	14	60000	339.53		
3	12.564	14/12/41	28/12/41	14	64800	366.69		
4	12.605	14/12/41	28/12/41	14	63750	360.75		
5	12.635	14/12/41	28/12/41	14	58950	333.59		
1	12.611	14/12/41	4/1/42	21	69500	393.29	366.52	
2	12.515	14/12/41	4/1/42	21	59500	336.70		
3	12.803	14/12/41	4/1/42	21	61200	346.32		
4	12.509	14/12/41	4/1/42	21	67200	380.27		
5	12.613	14/12/41	4/1/42	21	66450	376.03		
1	12.662	14/12/41	11/1/42	28	70500	398.95	392.44	
2	12.625	14/12/41	11/1/42	28	68250	386.22		
3	12.584	14/12/41	11/1/42	28	69000	390.46		
4	12.364	14/12/41	11/1/42	28	67500	381.97		
5	12.81	14/12/41	11/1/42	28	71500	404.61		

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกรณีเทบนบก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG				COMPRESSIVE STRENGTH TEST ASTM : C 39 - 72				
PROJECT Compressive Strength Comparision Study of Underwater Concrete Between Mixing with Admixture and without Admixture								
OWNER พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย		TEST BY พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย		SAMPLE TYPE Cylinder (15x30cm)				
Case II:เทคอนกรีตใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง								
Sample No.	Weight of Sample (kg)	Date		Age (day)	Compressive Strength		Average Compressive Strength (ksc)	Remark
		Casting	Testing		Load(kg)	Stress(ksc)		
1	12.781	16/12/41	23/12/41	7	37050	209.66	220.75	กำลังเฉลี่ยของคอนกรีตได้จากการนำค่ากำลังอัดของแท่งคอนกรีตทั้ง5 ค่ามาหาค่าเฉลี่ย
2	12.825	16/12/41	23/12/41	7	31500	178.25		
3	12.891	16/12/41	23/12/41	7	45050	254.93		
4	12.826	16/12/41	23/12/41	7	38250	216.45		
5	12.801	16/12/41	23/12/41	7	43200	244.46		
1	12.904	16/12/41	30/12/41	14	40500	229.18	237.84	
2	12.679	16/12/41	30/12/41	14	36000	203.72		
3	12.796	16/12/41	30/12/41	14	42750	241.92		
4	12.815	16/12/41	30/12/41	14	47400	268.23		
5	12.854	16/12/41	30/12/41	14	43500	246.16		
1	12.678	16/12/41	6/1/42	21	18750	106.10	230.63	
2	12.936	16/12/41	6/1/42	21	47250	267.38		
3	12.895	16/12/41	6/1/42	21	42000	237.67		
4	12.556	16/12/41	6/1/42	21	42150	238.52		
5	12.895	16/12/41	6/1/42	21	53625	303.46		
1	12.934	16/12/41	13/1/42	28	45550	257.76	251.31	
2	12.813	16/12/41	13/1/42	28	47500	268.80		
3	12.793	16/12/41	13/1/42	28	46500	263.14		
4	12.712	16/12/41	13/1/42	28	34000	192.40		
5	12.712	16/12/41	13/1/42	28	48500	274.45		

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกรณีเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					COMPRESSIVE STRENGTH TEST ASTM : C 39 - 72			
PROJECT Compressive Strength Comparision Study of Underwater Concrete Between Mixing with Admixture and without Admixture								
OWNER พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย		TEST BY พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย			SAMPLE TYPE Cylinder (15x30cm)			
Case III:เทคอนกรีตใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง								
Sample No.	Weight of Sample (kg)	Date		Age (day)	Compressive Strength		Average Compressive Strength (ksc)	Remark
		Casting	Testing		Load(kg)	Stress(ksc)		
1	13.019	18/12/41	25/12/41	7	43200	244.46	260.42	กำลังเฉลี่ยของคอนกรีตได้จากการนำค่ากำลังอัดของแท่งคอนกรีตทั้ง5ค่ามาหาค่าเฉลี่ย
2	12.897	18/12/41	25/12/41	7	44250	250.40		
3	12.728	18/12/41	25/12/41	7	47250	267.38		
4	12.955	18/12/41	25/12/41	7	38550	218.15		
5	12.901	18/12/41	25/12/41	7	56850	321.71		
1	12.841	18/12/41	1/1/42	14	49650	280.96	285.88	
2	12.926	18/12/41	1/1/42	14	41250	233.43		
3	12.754	18/12/41	1/1/42	14	54750	309.82		
4	13.056	18/12/41	1/1/42	14	63750	360.75		
5	12.742	18/12/41	1/1/42	14	43200	244.46		
1	12.657	18/12/41	8/1/42	21	40500	229.18	308.41	
2	12.717	18/12/41	8/1/42	21	62000	350.85		
3	12.321	18/12/41	8/1/42	21	48000	271.62		
4	12.434	18/12/41	8/1/42	21	60500	342.36		
5	12.522	18/12/41	8/1/42	21	61500	348.02		
1	13.265	18/12/41	15/1/42	28	61500	348.02	328.67	
2	13.076	18/12/41	15/1/42	28	52200	295.39		
3	12.965	18/12/41	15/1/42	28	57800	327.08		
4	12.92	18/12/41	15/1/42	28	60000	339.53		
5	12.97	18/12/41	15/1/42	28	58900	333.31		

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง

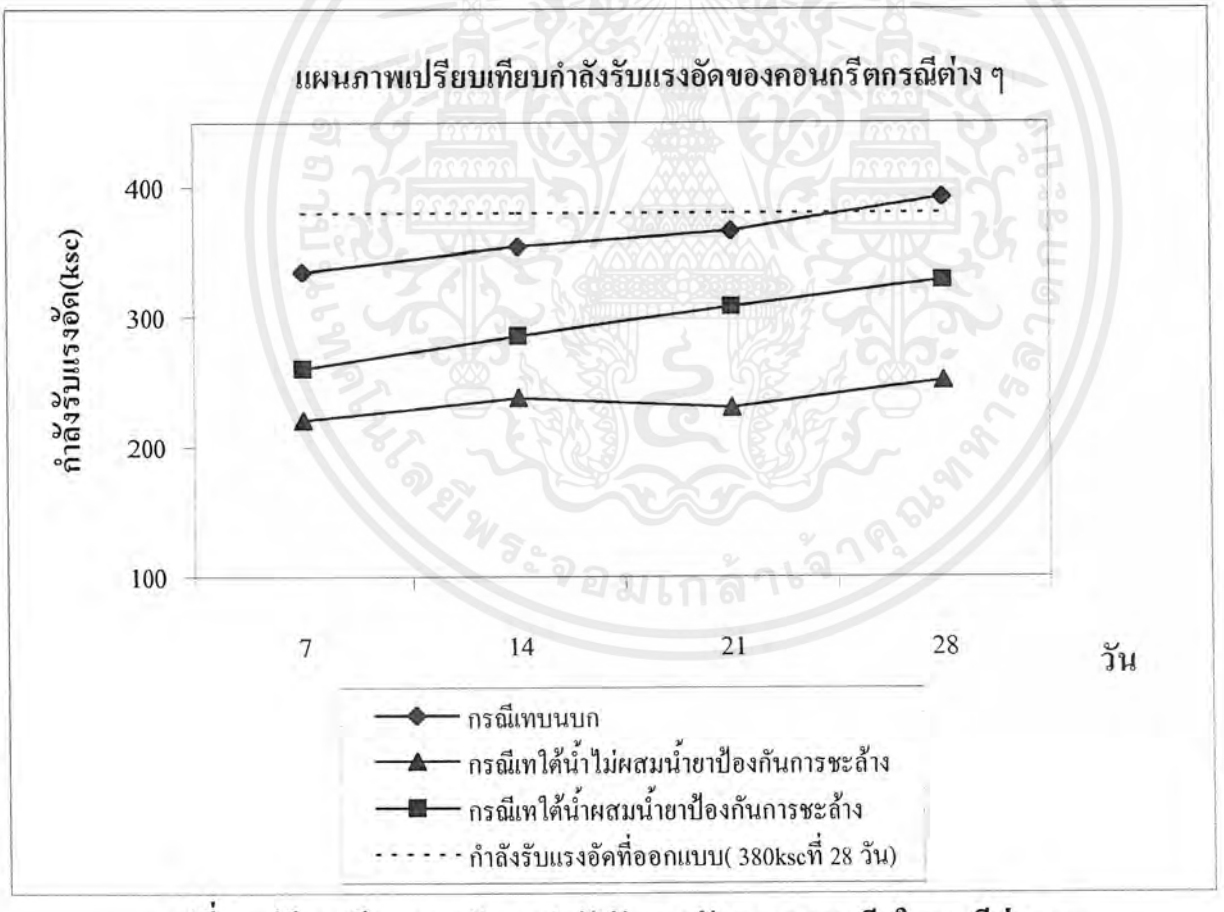
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			COMPRESSIVE STRENGTH TEST ASTM : C 39 - 72
PROJECT Compressive Strength Comparision Study of Underwater Concrete Between Mixing with Admixture and without Admixture			
OWNER พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย	TEST BY พิชาญ,ยุทธนา,สกลชัย		
กำลังรับแรงอัดอัดเฉลี่ยที่เวลาต่าง ๆ ทั้ง 3 กรณี			

ประเภทของตัวอย่างที่เก็บ	เวลา			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน*
1. กรณีเทบนบก	335.00	354.30	366.52	392.44
2. กรณีเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	220.75	237.84	230.63	251.31
3. กรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	260.42	285.88	308.41	328.67

*หมายเหตุ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ออกแบบไว้เมื่อ 28 วันเท่ากับ 380 กก.ต่อตร.ซม.

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในกรณีต่าง ๆ



รูปที่ 1 เปรียบเทียบการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในกรณีต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังอัดกรณีไม่ตัดส่วนหัว – ท้ายของแท่งตัวอย่างคอนกรีต

สาเหตุที่ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ไม่ได้ตัดส่วนใดทิ้ง ให้กำลังอัดที่ต่ำกว่าคอนกรีตที่มีการตัดส่วนหัว – ท้ายทิ้ง แล้วคูณด้วยตัวคูณลดกำลัง เพราะ

1. โพรงที่เกิดในตัวอย่างคอนกรีตมีมากโดยเฉพาะด้านล่างของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่เป็นตำแหน่งส่วนล่างของแบบหล่อ โพรงนี้เกิดขึ้นเนื่องจากคอนกรีตส่วนแรกที่ไหลผ่านท่อลงไปในแบบหล่อ มีการสัมผัสกับน้ำโดยตรงทำให้เกิดการชะล้างซีเมนต์เพสต์มาก ส่วนคอนกรีตที่เทตามมามีการสัมผัสกับน้ำน้อยลงเพราะปลายท่อจะจมในคอนกรีตส่วนที่เทลงมาก่อนแล้วจึงเกิดการชะล้างและเกิดโพรงน้อยลง ข้อจำกัดในการทดลองในเรื่องแรงดันของคอนกรีตที่เทมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการเทจริงที่สามารถจะกำจัดคอนกรีตส่วนเสียโดยการแทนที่ด้วยคอนกรีตที่เทลงไปใหม่ ทำให้ในการทดลองมีส่วนเสียในแท่งตัวอย่างคอนกรีตและไม่สามารถกำจัดออกไปได้ในขณะเท จึงมีส่วนเสียจมอยู่ด้านล่างแบบหล่อ
2. ในการทดสอบมักจะมีการพังทลายจากส่วนที่เป็นโพรงก่อน โดยที่ส่วนที่เป็นเนื้อคอนกรีตที่สมบูรณ์ยังไม่แตกร้าว ทำให้กำลังรับแรงอัดที่ได้ต่ำกว่าปรกติ

ดังนั้นในการทดสอบจึงมีการตัดส่วนของตัวอย่างคอนกรีตที่มีรูโพรงเนื่องจากการสัมผัสกับน้ำโดยตรงทิ้งคือทางด้านหัว – ท้ายของแท่งตัวอย่างคอนกรีต เพื่อความแน่ใจว่าคอนกรีตที่นำมาทดสอบเป็นส่วนที่มีการควบคุมคุณภาพได้ดี

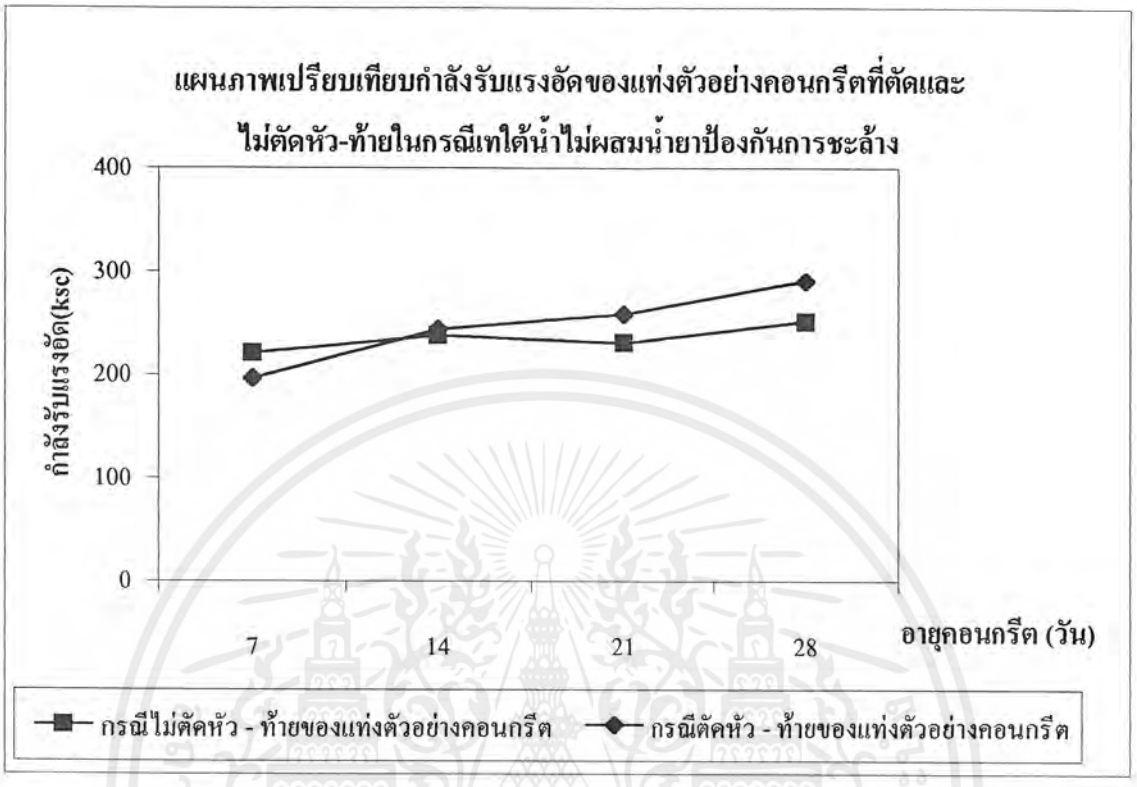
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของตัวอย่างที่เก็บ	เวลา				หมายเหตุ
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	
กรณีแทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	220.75	237.84	230.63	251.31	ไม่ตัดหัว-ท้าย
	196.62	243.35	258.45	290.50	ตัดหัว-ท้าย*
กรณีแทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง	260.42	285.88	308.41	328.67	ไม่ตัดหัว-ท้าย
	254.08	301.45	334.60	348.66	ตัดหัว-ท้าย*

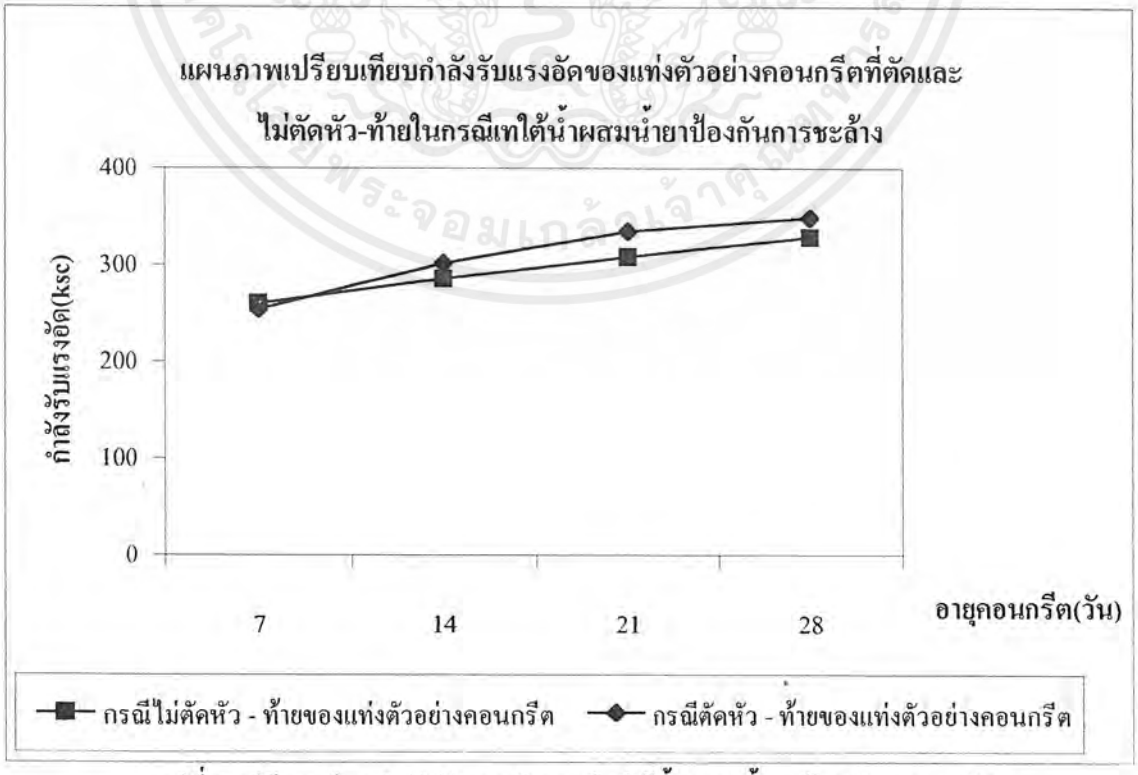
*หมายเหตุ กรณีที่ตัดส่วนหัว - ท้าย ค่ากำลังอัดที่ได้นำไปคูณด้วยตัวคูณลดกำลัง = 0.93 แล้ว

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบกำลังอัดของของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ตัดและไม่ตัดส่วนหัว - ท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดกรณีเทใต้น้ำไม่ผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง



รูปที่ 3 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดกรณีเทใต้น้ำผสมน้ำยาป้องกันการชะล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ,สุรัตน์ หวังเจริญและสุพจน์ ศรีนิล,การทดสอบคุณสมบัติคอนกรีต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2524
2. วินิต ช่อวิเชียร,คอนกรีตเทคโนโลยี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2539
3. ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร,คอนกรีตเทคโนโลยี , เครือซีเมนต์ไทย , 2539
4. A.M. Neville , Properties Of Concrete , New York , 1963
5. D.F. Orchard , Concrete Technology , 2nd Ed.,John Wiley , New York , 1962
6. M.L. Gambhir ,Concrete Technology , 2nd Ed., Prabhadevi , Bombey , 1968
7. V.K. Raina , Concrete for Construction Facts and Practice , Prabhadevi , Bombey ,1972
8. J.K. Bungey and S.G. Millard , Testing of Concrete in Construction , 3nd Ed., University Press , London , 1996
9. A. McLeish , Underwater Concreting and Repair , Epsom , Surry , UK.,1990
10. เอกสารประกอบผลิตภัณฑ์ของบริษัท ซิก้า(ประเทศไทย)จำกัด
11. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย,คู่มือการตรวจสอบคอนกรีต พ.ศ. 2517
12. เอกสาร "คำแนะนำในการผลิตคอนกรีตที่ดี" ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทยจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้