เปรียบเทียบการรับกำลังของคอนกรีตเมื่อใช้เศษคอนกรีตกับหินมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของวัสดุมวลรวมหยาบ

THE ULTIMATE COMPRESSIVE STESS AND COST OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE COMPARING WITH CONCRETE USING CRUSHED ROCK AS COARSE AGGREGATE

นายจิตติ เที่ยงธรรม

นายอดิศร แสงราม

นายอธิษฐาน เดชะสุรวานิชย์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เปรียบเทียบการรับกำลังของคอนกรีตเมื่อใช้เศษคอนกรีตกับหินมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของวัสดุมวลรวมหยาบ

THE ULTIMATE COMPRESSIVE STESS AND COST OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE COMPARING WITH CONCRETE USING CRUSHED ROCK AS COARSE AGGREGATE

นายจิตติ เที่ยงธรรม

นายอดิศร แสงราม

นายอธิษฐาน เดชะสุรวานิชย์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE ULTIMATE COMPRESSIVE STESS AND COST OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE COMPARING WITH CONCRETE USING CRUSHED ROCK AS COARSE AGGREGATE

MR. JITTI THEINGTHAM
MR. ADISORN SANGRAM
MR. ATITARN DECHASURAVANIT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEER IN CIVIL DEPARTMENT OF CIVIL ENGNEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ เปรียบเทียบการรับกำลังของคอนกรีตเมื่อใช้เศษคอนกรีตกับหินมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของวัสดุมวลรวมหยาบ THE ULTIMATE COMPRESSIVE STESS AND COST OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE COMPARING WITH CONCRETE USING CRUSHED ROCK AS COARSE AGGREGATE

นักศึกษา

นาย จิตติ	เที่ยงธรรม	รหัสประจำตัว	53010203
นาย อดิศร	แสงราม	รหัสประจำตัว	53011827
นาย อธิษฐาน	เดชะสุรวานิชย์	รหัสประจำตัว	53011835

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ. สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ. สุวัฒน์	ถิรเศรษฐ์	
ผศ. สมเกียรติ	ขวัญพฤกษ์	
อ. ทรงกลด	แซ่อึ้ง	
ดร. อาทิตย์	เพชรศศิธร	
ดร. อัฏฐวิทย์	สุจริตพงศ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 19 มีนาคม พ.ศ. 2557 เวลา 14.00 – 15.00 น.

สถานที่สอบ CV-202

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์สุพจน์ ศรีนิล)

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 31 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เปรียบเทียบการรับกำลังของคอนกรีตเมื่อใช้เศษคอนกรีตกับหินมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของวัสดุมวลรวมหยาบ			
นักศึกษา	นาย จิตติ	เที่ยงธรรม	รหัสประจำตัว	53010203
	นาย อดิศร	แสงราม	รหัสประจำตัว	53011827
	นาย อธิษฐาน	เดชะสุรวานิชย์	รหัสประจำตัว	53011835
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อาทิตย์	เพชรศศิธร		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ. สุวัฒน์	ถิรเศรษฐ์		
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา	
ปีการศึกษา	2556			

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการรับกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตที่มาจากคอนกรีตทรงกระบอกที่มีค่ากำลังอัด 240, 280 และ 320 ksc. มาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ นอกจากนั้นยังใช้เศษปูนฉาบอิฐมอญที่ไม่ทราบค่ากำลังอัดมาผสมเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ เพื่อมาเปรียบเทียบกับวัสดุมวลรวมหยาบที่เป็นหิน ทั้งนี้ทั้งนั้นทั้งหมดนี้ถูกควบคุมด้วยขนาดคละในช่วง ½ นิ้ว ถึง 1 นิ้ว และค่าสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์เดียวกัน ซึ่งออกแบบค่ากำลังอัดไว้ที่ 280 ksc. ซึ่งจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 5 ประเภท คือ Type RCA-24 (เศษคอนกรีตที่มาจากกำลังอัด 240), Type RCA-28 (เศษคอนกรีตที่มาจากกำลังอัด 280) , Type RCA-32 (เศษคอนกรีตที่มาจากกำลังอัด 320), Type RCA-24 (เศษคอนกรีตที่มาจากกำลังอัด 240), Type B (Brick ,เศษปูนฉาบอิฐมอญ) และ Type CR (Crushed Rock,หิน)

จากการศึกษาผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วันพบว่า มวลรวมหยาบที่นำมาใช้แม้จะมาจากเศษคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดแตกต่างกันของ Type RCA-24, Type RCA-28 และ Type RCA-32 เมื่อได้นำมาย่อยเป็นมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีตกำลังอัดที่ออกแบบไว้ที่ 280 ksc. ได้ค่าคอนกรีตโดยเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันคือ 213.596, 213.461, 205.337 ksc. ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันมากโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 210.798 ksc. ซึ่งค่ากำลังอัดต่ำกว่าหินย่อยธรรมดาโดยประมาณไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้หินเป็นมวลรวมหยาบมีค่า 290.831 ksc. ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยหรือรั่ว เป็นต้น ส่วนกำลังอัดจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อใช้เศษปูนฉาบอิฐมอญมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบที่ได้ค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 174.353 ksc. ซึ่งกำลังอัดมีค่าต่ำกว่าหินย่อยธรรมดาถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจนำไปใช้ประโยชน์ในโครงสร้างขนาดเล็กที่ไม่ได้ใช้เพื่อรับกำลังมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	THE ULTIMATE COMPRESSIVE STESS AND COST OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE COMPARING WITH CONCRETE USING CRUSHED ROCK AS AGGREGATE		
Student	MR. JITTI	THEINGTHAM	Student ID : 53010203
	MR. ADISORN	SANGRAM	Student ID : 53011827
	MR. ATITARN	DECHASURAVANIT	Student ID : 53011835
Advisor	DR. ARTHIT	PETCHSASITHON	
Assistant Advisor	ASSOC. PROF. DR. SUWAT DHIRASEDH		
Degree	BACHELOR OF ENGINEERING		
Year	2013		

Abstract

The purpose of this report is to study the capability of compressive force resistance in one direction of aggregate using debris of by concrete cylinder at compressive strength of 240, 280 and 280 ksc. as coarse aggregate, called type RCA-24, RCA-28 and RCA-32 respectively. In addition to these aggregate, the other type is earned by crushing brick attached with mortar called type B. These types of aggregate will be compared with concrete using crushed rock as normal concrete under the conditions that all grain sizes are in the range from 1/2 to 2 inches through sieve analysis laboratory and the proportion of water to cement is equal. Nevertheless, All coarse aggregate would be casted to test at 28 days after casting to concrete cylinder.

Result demonstrates that there is a marginal effect varying aggregate derived from concrete cylinder with the ultimate compressive strength range from 240 to 320 ksc. which can be obviously seen from the results. The results from the RCA-24 , RCA-28 and RCA -32 samples are 213.596, 213.461, 205.337 ksc. with the average ultimate compressive stress of 210.798 ksc. This illustrates that the ultimate compressive stress of concrete-aggagate concrete decreases to 30 percent compared with crushed rock. However, these three types might be used in such typical house or fence. On the other hand, the type of crushing brick attached with mortar has the ultimate compressive stress of 174.353 ksc. in average, 40 percent decrease compared with normal concrete. Type B concrete is probably used in some structures with low compressive strength required.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ การให้คำปรึกษา ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า และการทดลองจาก ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ รศ. สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ ที่ร่วมให้คำปรึกษาในการศึกษาและเพิ่มเติมแนวทางในการปฏิบัติงาน ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ขอขอบคุณ คุณธีรเดช คำวิไล และเจ้าหน้าที่ทุกท่านทุกท่านที่ให้คำแนะนำ รวมถึงการจัดหาอุปกรณ์ ที่วางเก็บตัวอย่าง และให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดสอบในห้องปฏิบัติการ

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณ มา ณ ที่นี้

นายจิตติ เที่ยงธรรม
นายอดิศร แสงราม
นายอธิษฐาน เดชะสุรวานิชย์
คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูป	ฏ
1	บทนำ	1
	1.1 กล่าวนำ	1
	1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
	1.3 วัตถุประสงค์	1
	1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
	1.5 ขอบเขตของการศึกษา	2
2	ทบทวนวรรณกรรมรวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
	2.1 ของเสียจากการก่อสร้าง	4
	2.1.1 อาคารที่อยู่อาศัย	4
	2.1.2 อาคารที่ไม่เป็นที่อยู่อาศัย	5
	2.2 ของเสียจากการรื้อถอน	6
	2.2.1 อาคารที่อยู่อาศัย	6
	2.2.2 อาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย	6
	2.3 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
	2.3.1 การวิจัยการนำเศษคอนกรีตมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบผสมคอนกรีตแทนหินย่อย	7
	2.3.2 การใช้เศษโฟมมาทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต	8
	2.3.3 RCA จากส่วนที่เหลือของเสาเข็มคอนกรีต	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.3.4 การใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำและความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า	9
	2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเรื่องคอนกรีต	10
	2.4.1 คอนกรีต	10
	2.4.2 ประเภทของคอนกรีต	10
	2.4.3 องค์ประกอบของคอนกรีต	11
	2.4.4 คุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีต	15
	2.4.5 ปูนซีเมนต์	17
	2.4.6 น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต (MIXING WATER)	19
	2.4.7 สารผสมเพิ่ม (ADMIXTURES)	20
	2.4.8 ความรู้เรื่องการบ่มคอนกรีต	21
3	**วิธีการดำเนินงาน**	**23**
	3.1 การทดสอบ	24
	3.1.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	24
	3.1.2 การทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ	31
	3.1.3 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม	36
	3.1.4 การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ	39
	3.1.5 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด	41
	3.1.6 การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม	43
	3.1.7 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	45
	3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	48
4	**ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง**	**51**
	4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาใช้ผสมคอนกรีต	51
	4.1.1 ผลการทดสอบค่าความละเอียดของทราย	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
4.1.2 ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของทราย	55
4.1.3 หาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบใน type ต่างๆ	56
4.1.4 หาค่าหน่วยน้ำหนักโดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง	60
4.1.5 ผลการทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม	62
4.2 ขั้นตอนในการคำนวณปริมาณส่วนผสมคอนกรีต	64
4.2.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	64
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ	75
4.4 คำนวณค่าใช้จ่ายในการผสมคอนกรีต	82
4.4.1 ราคาต่อหน่วยวัสดุมวลรวมในการผสมคอนกรีต	83
4.4.2 ประมาณราคาคอนกรีต	87
4.5 เปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมกรณีที่ใช้เศษคอนกรีต กับหินมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ	92
4.5.1 กรณีใช้มวลรวมหยาบที่เป็นหิน	92
4.5.2 กรณีต่อไปคือใช้มวลรวมหยาบจากเศษคอนกรีต ที่มีกำลังเฉลี่ยอยู่ประมาณ 210 ksc	95
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	**97**
5.1 สรุป	97
5.2 ปัญหาและอุปสรรค์ในการดำเนินงาน	97
5.3 การนำไปใช้ประโยชน์	98
5.4 ข้อเสนอแนะ	98
บรรณานุกรม	**100**
ภาคผนวก ก. การปรับแก้ค่ากำลังอัดที่ได้จากเครื่องทดสอบ	**ผ1**
ก.1 จากผลการสอบเทียบเครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต	ผ2
ภาคผนวก ข. รูปภาพที่เกี่ยวข้อง	**ผ3**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ของเสียที่ประเมินได้จากการก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัย (บ้าน 2 ชั้น) 332 ตารางเมตร	4
2.2	ของเสียที่ประเมินได้จากการก่อสร้างอาคารที่ไม่เป็นอยู่อาศัย (สถาบันการศึกษา) 20,050 ตารางเมตร	5
2.3	ของเสียที่ประเมินได้จากการรื้อถอนอาคารที่อยู่อาศัย (บ้าน 2 ชั้น)	6
2.4	ของเสียที่ประเมินได้จากการรื้อถอนอาคารที่ไม่ใช่อยู่อาศัย (สถาบันการศึกษา) 20,050 ตารางเมตร	6
2.5	ปริมาณของสิ่งเจือปนที่ยอมให้วัสดุมวลรวม	13
2.6	เกณฑ์กำหนดอัตราส่วนขนาดคละของวัสดุ	13
2.7	ขนาดของหินเบอร์ต่างๆ	15
2.8	ค่ายุบตัวสำหรับงานก่อสร้างชนิดต่างๆ	16
3.1	ค่ายุบตัวสำหรับงานประเภทต่างๆ	28
3.2	ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต	28
3.3 (ก)	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคอนกรีตกับอัตราส่วนของน้ำ-ซีเมนต์	29
3.3 (ข)	อัตราส่วนน้ำ – ซีเมนต์ที่ยอมให้สำหรับงานภายใต้สภาวะพิเศษ	29
3.4	ปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร	30
3.5	น้ำหนักคอนกรีตสด	30
3.6	ปริมาณมวลรวมหยาบ ที่ใช้ในการทดลอง	32
3.7 (ก)	สำหรับมวลรวมละเอียด (ทราย)	33
3.7 (ข)	สำหรับมวลรวมหยาบ (หินหรือกรวด)	34
3.8 (ก)	การคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวมหยาบ	34
3.8 (ก)	การคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวมละเอียด	34
3.9	ตารางบันทึกผลการทดสอบค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวม	35
3.10	ขนาดของภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก	36
3.11	แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ	37
3.12	ตารางบันทึกผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม	39
3.13	ตารางบันทึกผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
3.14	ตารางบันทึกผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวลรวมละเอียด	43
3.15	แสดงค่าใกล้เคียงของปริมาณความชื้นที่ผิวของมวลรวม	44
3.16	ตารางบันทึกผลการทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม	45
3.17	อัตราส่วนระหว่างความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางกับแฟคเตอร์เผื่อแก้ค่า	47
3.18	ตารางบันทึกผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	47
4.1	สรุปค่าคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาใช้ผสมคอนกรีต	51
4.2	ผลการทดสอบค่าความละเอียดของทราย ครั้งที่1	52
4.3	ผลการทดสอบค่าความละเอียดของทราย ครั้งที่2	53
4.4	ผลการทดสอบค่าความละเอียดของทราย ครั้งที่3	54
4.5	ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-24	76
4.6	ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-28	77
4.7	ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-32	78
4.8	ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type B	79
4.9	ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type CR	80
4.10	กราฟค่าเฉลี่ยกำลังอัดที่ 28 วัน ของคอนกรีต type ต่างๆ ที่ส่วนผสมออกแบบ 280 ksc.	81
4.11	กราฟค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของคอนกรีต type ต่างๆ	81
4.12	อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 2 (กิจการขนาดเล็ก)	84
4.13	WATER TARIFFS ตั้งแต่ ธันวาคม 2542/Effective December 1999	86
4.14	ราคาต่อหน่วยของคอนกรีต Type RCA-24, RCA28, RCA32, D และ CR	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	การผสมส่วนผสมคอนกรีต	10
2.2	สภาวะของวัสดุมวลรวม	14
2.3	การกองเก็บปูนซีเมนต์ถุง	19
3.1	เครื่องเขย่าตะแกรง ชนิดมอเตอร์สำหรับทราย	48
3.2	เครื่องชั่งดิจิตอล	48
3.3	ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้	48
3.4	เหล็กกระทุ้ง	49
3.5	ชุดเครื่องทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของวัสดุเม็ดหยาบ	49
3.6	ชุดการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม	49
3.7	แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก	50
3.8	เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Machine)	50
4.1	ขวด pycnometer	56
4.2	ข้อมูลประกาศจ้างรถบรรทุก	82
4.3	Catalog ของเครื่องย่อยมวลรวมหยาบ	83
4.4	การรับน้ำหนักบรรทุกของคานที่ใช้คำนวณเปรียบเทียบหน้าตัด	84
4.5	หน้าตัดการเสริมเหล็กของคานที่ใช้หินเป็นมวลรวมหยาบ	95
4.6	หน้าตัดการเสริมเหล็กของคานที่ใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบ	96
ข.1	วัสดุมวลรวมหยาบที่ใช้ในการผสมคอนกรีต	ผ4
ข.2	วัสดุมวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีต	ผ4
ข.3	วัสดุมวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตคละอิฐมอญ	ผ5
ข.4	วัสดุมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อย	ผ5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

เศษคอนกรีตหัก เป็นวัสดุที่ได้จากการรื้อถอนหรือทำลายถนนหรือโครงสร้างคอนกรีตเก่า ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว เศษคอนกรีตหักมักจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการถมที่ (Landfill) การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีต (Concrete Products) นอกจากนั้น เศษคอนกรีตหักยังสามารถนำมาใช้เป็นมวลรวมหยาบ (Recycled Aggregate Concrete) ในคอนกรีตได้อีกด้วย

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในงานการรื้อถอนโครงสร้างอาคารบางครั้งต้องมีการทุบทำลายโครงสร้างอาคารเก่าทิ้งทำให้เกิดเป็นเศษคอนกรีตหัก (Crushed Concrete) เป็นจำนวนมาก ปัจจุบันได้มีการนำเศษคอนกรีตหักไปใช้ประโยชน์หลักๆคือ ใช้ในการถมที่ (Landfill) และเป็นวัสดุถมที่ใช้ในการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งของแม่น้ำ ส่วนมากมีการนำคอนกรีตเหล่านั้นไปใช้ในการถมที่ ซึ่งการนำเศษคอนกรีตหักมาถมที่อาจทำให้เกิดปัญหาการตอกเสาเข็มไม่ลงในภายหลังได้ ปัจจุบันได้มีการวิจัยในการนำ เศษคอนกรีตหักมาใช้เป็นมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ในคอนกรีต เนื่องจากการเป็นการช่วยลดขยะจากเศษคอนกรีตหัก ซึ่งเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังช่วยลดการใช้หินใหม่ ลดการทำลายแหล่งหินที่จะนำมาใช้เป็นมวลรวมหยาบ และปัญหาที่เกิดจากขบวนการผลิตมวลรวมหยาบโดยเฉพาะฝุ่นละอองและการทำลายธรรมชาติที่เกิดจากขบวนการโม่หิน ซึ่งโดยทั่วไปเศษคอนกรีตหักไม่มีต้นทุนทางด้านราคาค่าวัสดุ และอาจต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนำไปทิ้งด้วย ทำให้การใช้เศษคอนกรีตหักยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างได้อีกด้วย แต่ในปัจจุบันยังในประเทศไทยยังไม่มีข้อมูลรองรับที่มากเพียงพอและยังไม่มีการยอมรับในการใช้งานทางด้านการใช้รับกำลัง

1.3 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการทำโครงงานพิเศษนี้ก็คือ เพื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดสูงสุดระหว่างคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตซึ่งมีกำลังอัดต่างๆ มาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบกับคอนกรีตธรรมดาที่ใช้หินเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ รวมถึงมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้เศษปูนฉาบคละกับอิฐมอญในส่วนที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังที่ไม่ได้คัดกำลังอัดมาผสมเพื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดของหินอีกด้วย ทั้งนี้ทั้งนั้นทั้งหมดถูกควบคุมด้วยขนาดคละของมวลรวมหยาบในช่วงเดียวกัน และค่า Water Cement Ratio เดียวกัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร ว่าการนำเศษคอนกรีตมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีตนั้นประหยัดกว่าการนำหินมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบในราคาต่างกันเท่าไร

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงความแตกต่างของค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบและเศษปูนฉาบอิฐมอญกับคอนกรีตธรรมดาที่ใช้หินเป็นวัสดุมวลรวมหยาบที่ Water Cement Ratio เดียวกัน และขนาดคละในช่วงเดียวกัน

1.4.2 ทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบไปใช้ โดยดูจากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ได้จากการเปรียบเทียบในข้อ 1.4.1 โดยดูความเหมาะสมของโครงสร้างที่จะนำไปใช้

1.4.3 ทราบค่าความแตกต่างของหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบและเศษปูนฉาบอิฐมอญกับคอนกรีตธรรมดาที่ใช้หินเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ

1.4.4 ทราบถึงค่าความต่างกันในค่าใช้จ่ายต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร ในกรณีที่ใช้เศษคอนกรีตกับหินมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีต

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

ในการทดสอบคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบกับคอนกรีตธรรมดาที่ใช้หินเป็นวัสดุมวลรวมหยาบนั้นจะพิจารณาควบคุมตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตดังต่อไปนี้

1.5.1 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type 1

1.5.2 มวลรวมละเอียดที่ใช้เป็นทรายแม่น้ำ

1.5.3 หินที่ใช้มีขนาดอยู่ระหว่าง 1/2 นิ้ว และ 1 นิ้ว

1.5.4 แบบหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้เป็นแบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. ความสูง 30 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C 192

1.5.5 ใช้ค่าการยุบตัวที่ 15 ถึง 18 ซม. ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

1.5.6 การทดสอบนี้เป็นผลการทดสอบเฉพาะในห้อง Laboratory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.7 ในขั้นตอนการทดสอบรับแรงอัดของคอนกรีตนั้น จะเป็น Unconfined Compression Test คือเป็นทดสอบแรงอัด โดยใส่แรงเข้าไปเพียงแกนเดียว

1.5.8 ในการทดสอบนั้นจะทำการทดสอบที่ 28 วัน โดยจะทำการทดสอบ 10 ตัวอย่าง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ทำการออกแบบค่ากำลังอัดที่ 280 ksc อ้างอิงจาก water cement ratio ใน mixed designโดยใช้วัสดุมวลรวมหยาบจากหินย่อย จากเศษคอนกรีตที่มีกำลังอัด 240 ksc 280 ksc และ 320 ksc และเศษปูนฉาบอิฐมอญในส่วนของผนังที่ไม่ได้คัดกำลังอัด จึงสรุปได้ว่ามีทั้งหมด 5 case ทำ case ละ 10 ตัวอย่าง ดังนั้นจึงรวมทั้งหมดเป็น 50 ตัวอย่าง

1.5.9 ใช้น้ำประปาในการผสมคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมรวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในการนำเศษคอนกรีตหักมาใช้เป็นมวลรวมหยาบในคอนกรีตได้ถูกดำเนินการมาเป็นเวลาหลายปีแล้วทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ ทั้งนี้เนื่องมาจากความต้องการในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากเศษขยะในการรื้อถอนโครงสร้างและปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะฝุ่นละอองและการทำลายธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ที่เกิดจากขบวนการโม่หิน เนื่องจากว่าปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกๆ ปีเนื่องจากมีการก่อสร้างที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ที่เพิ่มมากขึ้นทุกๆ ปี ในขณะที่หน่วยงานท้องถิ่นไม่ได้ให้ความสำคัญในการจัดการกับของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนเหล่านี้อย่างเหมาะสม ทำให้ของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนบางส่วนถูกนาไปแอบทิ้งอย่างผิดกฎหมายตามที่ว่าง มีบางส่วนที่เอกชนนาไปถมที่โดยไม่มีการแยกวัสดุอันตราย วัสดุที่ไม่ควรนำไปถมที่ และวัสดุที่สามารถนาไปรีไซเคิลได้ออก บางส่วนทิ้งรวมไปกับขยะมูลฝอยชุมชนเพื่อไปฝังกลบ ซึ่งจะทำให้อายุของหลุมฝังกลบลดลง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และทำให้ใช้ทรัพยากรได้ไม่คุ้มค่า จึงมีงานวิจัยหนึ่งที่ได้มีการศึกษา ปริมาณและองค์ประกอบของของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารในกรุงเทพมหานคร ซึ่งได้ประเมินจาก 4 กิจกรรมคือ การก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัย การก่อสร้างอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย การรื้อถอนอาคารที่อยู่อาศัย และการรื้อถอนอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย เป็นต้น

2.1 ของเสียจากการก่อสร้าง

2.1.1 อาคารที่อยู่อาศัย

ตารางที่ 2.1 ของเสียที่ประเมินได้จากการก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัย (บ้าน 2 ชั้น) 332 ตารางเมตร

ประเภทของวัสดุ	ค่าต่ำสุด		ค่าสูงสุด		ค่าเฉลี่ย	
	น้ำหนัก (กก.)	%	น้ำหนัก (กก.)	%	น้ำหนัก (กก.)	%
คอนกรีต	11,932.30	79.38	16,705.22	74.91	14,318.76	76.70
อิฐ	1,922.94	12.79	3,204.90	14.37	2,563.92	13.73
เหล็ก	601.71	4.00	1,242.16	5.57	921.93	4.94
กระเบื้องเซรามิก	338.42	2.25	676.84	3.03	507.63	2.72
กระเบื้องหลังคา	190.50	1.27	381.01	1.71	285.76	1.53
ยิบซั่มบอร์ด	40.64	0.27	81.28	0.36	60.96	0.33
ไม้	5.89	0.04	11.79	0.05	8.84	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1(ต่อ) ของเสียที่ประเมินได้จากการก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัย (บ้าน 2 ชั้น) 332 ตารางเมตร

ประเภทของวัสดุ	ค่าต่ำสุด		ค่าสูงสุด		ค่าเฉลี่ย	
	น้ำหนัก (กก.)	%	น้ำหนัก (กก.)	%	น้ำหนัก (กก.)	%
รวม	15,032.40	100.00	22,303.20	100.00	18,667.80	100.00
อัตราการผลิตของเสีย (กก./ตร.ม.)	45.28		67.18		56.23	

ที่มา: อุษณีย์ อุยะเสถียร และ อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย (พ.ศ.2550)

2.1.2 อาคารที่ไม่เป็นที่อยู่อาศัย

ตารางที่ 2.2 ของเสียที่ประเมินได้จากการก่อสร้างอาคารที่ไม่เป็นอยู่อาศัย (สถาบันการศึกษา) 20,050 ตารางเมตร

ประเภทของวัสดุ	ค่าต่ำสุด		ค่าสูงสุด		ค่าเฉลี่ย	
	น้ำหนัก (กก.)	%	น้ำหนัก (กก.)	%	น้ำหนัก (กก.)	%
คอนกรีต	338,382	60.82	353,391	53.11	345,886	56.62
เหล็ก	109,398	19.66	158,583	23.83	133,990	21.94
อิฐมวลเบา	55,612	10.00	92,686	13.93	74,149	12.14
ไม้	45,013	8.09	45,026	6.77	45,020	7.37
หินแกรนิต	4,493	0.81	8,987	1.35	6,740	1.10
กระเบื้องเซรามิก	1,440	0.26	2,729	0.41	2,084	0.34
ยิบซั่มบอร์ด	987	0.18	1,975	0.30	1,481	0.24
กระเบื้องยาง	581	0.10	1,162	0.17	872	0.14
ไฟเบอร์ซีเมนต์และอลูมิเนียม	424	0.08	848	0.13	636	0.11
รวม	556,330	100.00	665,387	100.00	610,858	100.00
อัตราการผลิตของเสีย (กก./ตร.ม.)	27.75		33.17		30.47	

ที่มา: อุษณีย์ อุยะเสถียร และ อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย (พ.ศ.2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ของเสียจากการรื้อถอน

2.2.1 อาคารที่อยู่อาศัย

ตารางที่ 2.3 ของเสียที่ประเมินได้จากการรื้อถอนอาคารที่อยู่อาศัย (บ้าน 2 ชั้น)

ประเภทวัสดุ	น้ำหนัก (กก.)	%
คอนกรีต	238,645.90	73.01
อิฐ	64,098.00	19.61
เหล็ก	10,484.15	3.21
กระเบื้องเซรามิก	6,768.36	2.07
กระเบื้องหลังคา	3,810.10	1.17
ยิบซั่มบอร์ด	2,709.33	0.83
ไม้	392.91	0.12
รวม	326,908.74	100.00
อัตราการผลิตของเสีย (กก./ตร.ม.)	984.66	

ที่มา: อุษณีย์ อุยะเสถียร และ อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย (พ.ศ.2550)

2.2.2 อาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย

ตารางที่ 2.4 ของเสียที่ประเมินได้จากการรื้อถอนอาคารที่ไม่ใช่อยู่อาศัย (สถาบันการศึกษา) 20,050 ตารางเมตร

ประเภทวัสดุ	น้ำหนัก (กก.)	%
คอนกรีต	32,032,427	88.56
อิฐมวลเบา	1,853,730	5.13
เหล็ก	1,767,919	4.89
หินแกรนิต	299,544	0.83
กระเบื้องเซรามิก	81,019	0.22
ยิปซั่มบอร์ด	65,846	0.18
กระเบื้องยาง	38,695	0.11
ไฟเบอร์ซีเมนต์	20,827	0.06
ไม้และอลูมิเนียม	7,455	0.02
รวม	36,169,166	100.00
อัตราการผลิตของเสีย (กก./ตร.ม)	1,803.94	

ที่มา: อุษณีย์ อุยะเสถียร และ อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย (พ.ศ.2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงสรุปได้ว่าอัตราการผลิตของเสียจากการก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยที่ประเมินได้จากการศึกษานี้มีค่า 56.23 กก./ตร.ม. และ 30.47 กก./ตร.ม. ตามลาดับ สำหรับอัตราการผลิตของเสียจากการรื้อถอนอาคารที่อยู่อาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยที่ประเมินได้มีค่า 984.66 กก./ตร.ม. และ 1,803.44 กก./ตร.ม. ตามลำดับ ซึ่งที่สังเกตเห็นว่าจากตารางทั้ง 4 ตารางว่ามีปริมาณคอนกรีตจำนวนมากมายที่เป็นของเสีย ทางกลุ่มของข้าพเจ้าจึงมีความคิดที่จะศึกษาการนำเศษคอนกรีตเหล่านี้มารีไซเคิล และได้มีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.3 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การวิจัยการนำเศษคอนกรีตมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบผสมคอนกรีตแทนหินย่อย (นายศักดิ์ชัย วงษ์ชัย, ปี 2553)

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้นำเศษคอนกรีต 2 ชนิดมาใช้ คือ ใช้เศษคอนกรีตที่มีความต้านแรงอัดทั่วไป กับเศษคอนกรีตที่คัดเฉพาะความต้านแรงอัดไม่น้อยกว่า 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความต้านแรงอัดที่ออกแบบไว้เท่ากัน ว่าความต้านแรงอัดที่ทดสอบออกมาได้จริงมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ที่มีความต้านแรงอัด 150, 210, 240, 280 และ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมความสามารถของแท่งตัวอย่างคอนกรีต ที่ใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบว่าจะสามารถต้านแรงอัดตามที่กำหนดไว้หรือไม่ เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกความต้านแรงอัดที่ใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบในอนาคต จากการวิจัยนำเศษคอนกรีตมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบผสมคอนกรีตแทนหินย่อย ผลของการทดสอบตามส่วนผสมในขนาดค่าความต้านแรงอัดต่าง ๆ กัน การนำเศษคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดต่าง ๆ กันมาใช้เป็นส่วนผสมแทนหินย่อยนั้น สามารถสรุปผลสำเร็จของงานที่จะนำไปใช้งานได้จริงเป็น 2 ส่วน ดังนี้

(1) เศษคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ได้คัดแยก ค่าความต้านแรงอัดสามารถใช้เป็นมวลรวมหยาบแทนหินย่อยได้ แต่ต้องเป็นคอนกรีตที่มีความต้านแรงอัดไม่สูงมากนัก คือ ไม่เกิน 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสามารถใช้กับคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างบ้านพักอาศัย, รั้ว และถนนภายในอาคาร เป็นต้น

(2) เศษคอนกรีตที่คัดเฉพาะที่มีความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรสามารถใช้เป็นมวลรวมหยาบแทนหินย่อย ในการผสมคอนกรีตได้ถึงความต้านแรงอัด 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสามารถใช้กับคอนกรีตในงานก่อสร้างโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น อาคารสูง, ถนน, สะพาน และคอนกรีตอัดแรง เป็นต้น แต่ต้องมีการศึกษาวิจัยคุณสมบัติของคอนกรีตด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) และอัตราส่วนปัวซอง (Poisson' S Ratio)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การใช้เศษโฟมมาทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต (สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ, 2549)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปัญหาขยะโฟมที่ไม่สามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติ โดยนำโฟมที่เหลือใช้มาย่อยให้ได้ขนาดตามต้องการผสมกับปูนซีเมนต์ขึ้นรูปเป็นวัสดุผสมโฟมซีเมนต์ ทั้งนี้จะคำนึงถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตด้านเชิงกล แบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือ การหาความเหมาะสมในการนำโฟมมาเป็นมวลรวมทดแทนหิน อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้ 0.4, 0.5, 0.6 สัดส่วนผสมซีเมนต์:ทราย:โฟม คือ 1:0.5:3, 1:0.5:4, 1:0.5:5 โดยปริมาตร ทำการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ เลือกสัดส่วนผสมเพื่อทำคอนกรีต ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ คือ 0.7 อัตราส่วนซีเมนต์:ทราย:โฟม คือ 1:2.8:6.3, 1:2.2:5.3 โดยปริมาตร และทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน จากการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตที่อัตราส่วนผสม 1:2.8:6.3 และ 1:2.2:5.3 โดยปริมาตร ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 ตามหัวข้อที่ 5.2 พบว่าผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วน 1:2.2:5.3 โดยปริมาตร ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 อายุการบ่มที่ 28 วัน ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดคือ 6.41 เมกกะปาสคาล และผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต มีค่าโมดูลัสการแตกหัก เท่ากับ 1.42 เมกกะปาสคาล จากงานวิจัยครั้งนี้พบว่าสามารถนำโฟมซีเมนต์ไปใช้ผสมคอนกรีตในงานโครงสร้างได้เนื่องจากมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้านการรับกำลังและความเป็นไปได้ในการนำโฟมที่เหลือใช้หรือไม่ได้ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง

2.3.3 RCA จากส่วนที่เหลือของเสาเข็มคอนกรีต (เทอดศักดิ์ สายสุทธิ์, 2555)

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมด้วยมวลรวมหยาบคอนกรีตที่นำกลับมาใช้ใหม่ (RCA) หรือมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากส่วนที่เหลือของเสาเข็มคอนกรีต คอนกรีตใหม่ที่ได้นี้จะถูกเรียกว่า “คอนกรีตรีไซเคิล” หลักการก็คือ โดยใช้ RCA แทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติ (NCA) ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักตามลำดับเพื่อหาค่าการรับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตปกติหรือคอนกรีตธรรมชาติ (NC) และคอนกรีตรีไซเคิล (RC) ตามมาตรฐาน BS 1881 ซึ่งใช้แบบหล่อเหล็กรูปลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร จำนวน 180 ตัวอย่าง และเพื่อหาค่าการรับกำลังดัดประลัยของ NC และ RC ตามมาตรฐาน ASTM C78 ซึ่งใช้แบบหล่อคานขนาด 15x15x60 เซนติเมตร จำนวน 180 ตัวอย่าง โดยใช้ค่ากำลังอัดประลัยที่ออกแบบไว้เท่ากับ 210, 280 และ 350 กก/ตร.ซม. จากนั้นทำการบ่มตัวอย่างในน้ำที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วันตามลำดับ รวมตัวอย่างทั้งสิ้นจำนวน 360 ตัวอย่าง จากการวิจัยพบว่า “ คอนกรีตรีไซเคิล สำหรับค่ากำลังอัดประลัยที่ออกแบบไว้เท่ากับ 210, 280 และ 350 กก/ตร.ซม.โดยใช้ RCA แทนที่ NCA ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 ตามลำดับ เมื่ออายุการบ่ม 28 วัน จะมีค่ากำลังอัดประลัยลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 3.75, 17.02, 19.37 และ 30.40 ตามลำดับ และค่ากำลังดัดประลัยลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 7.00, 16.54, 18.67, และ 32.48 ตามลำดับ ” หรือกล่าวโดยสรุปว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“คอนกรีตรีไซเคิล จะมีค่ากำลังอัดประลัยและกำลังดัดประลัยลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 30 และ 33 ตามลำดับเมื่ออายุการบ่ม 28 วัน” คอนกรีตรีไซเคิลจะมีความเหมาะสมกับการใช้งานลักษณะต่างๆ เช่น งานถนนภายในโครงการ งานพื้นทางเท้า งานโครงสร้างอาคารชั่วคราวหรือโครงสร้างอาคารที่พักอาศัย เป็นต้น ในอนาคตน่าจะมีการวิจัยต่อยอดสำหรับคอนกรีตรีไซเคิลนี้ เช่น การใช้เถ้าลอย เถ้าชีวมวล ซิลิก้าฟูม กากแร่หรือสารเคมีผสมเพิ่ม เป็นต้น เพื่อเพิ่มค่ากำลังอัดประลัย ค่ากำลังดัดประลัย ค่าความคงทนและคุณสมบัติทางวิศวกรรมอื่นๆ เพราะว่า RCA นอกจากจะช่วยลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจแล้ว ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นการพัฒนาการใช้วัสดุก่อสร้างอย่างคุ้มค่า ยั่งยืนและบูรณาการ เนื่องจากมวลรวมหยาบรีไซเคิลสามารถนำมาใช้แทนมวลรวมหยาบธรรมชาติได้และเถ้าลอยหรือเถ้าชีวมวลก็เป็นวัสดุที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิต ที่สามารถนำมาใช้เพิ่มกำลังคอนกรีตได้เช่นกัน

2.3.4 การใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า (รัฐพล สมนา และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล 2554)

บทความนี้มุ่งหวังที่จะนำเถ้าชานอ้อยซึ่งเป็นของที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านการรับกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า โดยออกแบบกำลังอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตควบคุมเท่ากับ 350 กก./ซม.2 ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าแทนหินปูนย่อยเพื่อผลิตคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า และใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ในคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าในอัตราร้อยละ 20, 35 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ทำการทดสอบหาค่ากำลังอัด ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ และค่าความลึกคลอไรด์แทรกซึมของคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดของการใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าเพื่อให้ได้ทั้งกำลังอัดในช่วงอายุปลาย ความทึบน้ำ และความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ที่สูง คือร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน โดยการใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนสามารถช่วยให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่ามีค่าต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตควบคุมประมาณ 2 ถึง 3 เท่า และต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าที่ไม่ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดประมาณ 3 ถึง 5 เท่า นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าให้สูงขึ้นได้อย่างชัดเจน โดยความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์จะสูงขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชานอ้อยบดละเอียดที่เพิ่มขึ้น

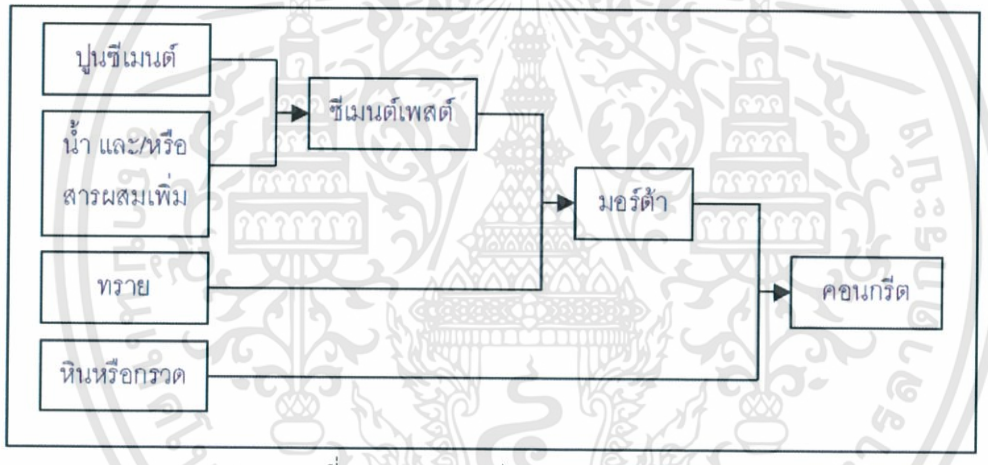
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเรื่องคอนกรีต

2.4.1 คอนกรีต

คอนกรีตได้จัดให้เป็นวัสดุที่ใช้สำ หรับงานก่อสร้างอย่างแพร่หลายกันมานานหลายสิบปีแล้วอันเป็นผลมาจากคุณลักษณะที่เด่น ๆ คือ คอนกรีตสามารถออกแบบหล่อหลอมเป็นโครงสร้างหรือเป็นสิ่งก่อสร้างได้ทุกรูปลักษณะตามต้องการ คอนกรีตมีคุณสมบัติในการรับแรงอัดได้ดี และมีความทนทานสูง ทั้งยังสามารถเลือกใช้ส่วนผสมให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ กัน เพื่อให้เหมาะกับงานก่อสร้างแต่ละชนิดได้ นอกจากนี้คอนกรีตยังสามารถนำ มาใช้ร่วมกับวัสดุอื่น เช่น เหล็กจะสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการรับแรงต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม

คอนกรีต เป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้จากการผสม ปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ เข้าด้วยกัน ในขณะที่คอนกรีตยังเหลวอยู่ จะถูกเทลงในแบบหล่อเพื่อให้ได้รูปทรงตามที่ต้องการ เช่น เสา คาน พื้น ผนัง เป็นต้น เมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัว ซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ทำ ให้คอนกรีตจะแข็งตัวขึ้นเรื่อยๆ สำหรับขั้นตอนการผสมคอนกรีต จะมีแสดงอยู่ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การผสมส่วนผสมคอนกรีต

2.4.2 ประเภทของคอนกรีต

คอนกรีตที่ใช้ในงานโครงสร้างสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

(1) คอนกรีตล้วน เป็นคอนกรีตอย่างเดียวล้วนๆ ไม่มีวัสดุอื่นมาเสริม จะใช้กับโครงสร้างรับแรงอัด

(2) คอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นคอนกรีตที่มีเหล็กเสริมร่วมกับคอนกรีต โดยหล่ออยู่ในเนื้อคอนกรีต ใช้กับโครงสร้างที่รับแรงดึง และแรงอัด

(3) คอนกรีตอัดแรง เป็นคอนกรีตที่อัดแรงก่อนไว้ก่อนใช้งาน โดยการดึงเหล็กที่ทนแรงดึงสูงให้ยืดออก และตัดเหล็ก ปล่อยให้เหล็กพยายามหดตัวกลับจากจุดที่ยึดเป็นการอัดแรงให้กับคอนกรีต คอนกรีตอัดแรงสามารถรับแรงได้ดีกว่าเพราะใช้ประโยชน์จากหน้าตัดคอนกรีตได้ดีกว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 องค์ประกอบของคอนกรีต

คอนกรีต คือ วัสดุที่ได้จากผสมกันของปูนซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ และสารผสมเพิ่ม ในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณลักษณะตามที่ต้องการ หากจะพิจารณาคอนกรีตตามลักษณะเนื้อคอนกรีต จะสามารถแบ่งคอนกรีตออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste) และวัสดุมวลรวม(Aggregate)

(1) ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste)

ก) ส่วนประกอบ และหน้าที่ของซีเมนต์เพสต์

ซีเมนต์เพสต์ จะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ และอากาศ โดยทั่วไปในเนื้อคอนกรีตจะมีปริมาณของซีเมนต์เพสต์ประมาณ 23 - 40 % โดยปริมาตรในซีเมนต์เพสต์จะมีปริมาตรของปูนซีเมนต์ 3 - 15 % น้ำ 14 - 21 % และปริมาตรของอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่างประมาณ 8 % หน้าที่หลักๆ ของซีเมนต์เพสต์ คือ เป็นตัวยึดวัสดุมวลรวมเข้าด้วยกัน

ข) คุณภาพของซีเมนต์เพสต์

คุณภาพของซีเมนต์ส่วนใหญ่ดูที่กำลัง (Strength) เป็นหลักกำลังของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำ ต่อซีเมนต์ (Water/Cement ratio) โดยฎ อัตราส่วนน้ำ ต่อซีเมนต์มาก (น้ำมากปูนน้อย) กำ ลังของซีเมนต์เพสต์ก็จะน้อย ในทางกลับกันถ้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์น้อย (น้ำน้อย ปูนมาก) กำลังของซีเมนต์เพสต์จะมากตาม ฉะนั้น การควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตจึงเป็นเรื่องสำคัญที่สุด การเพิ่มน้ำเพื่อให้คอนกรีตเหลวขึ้น ทำ งานได้ง่ายขึ้น โดยไม่เพิ่มปูนซีเมนต์ด้วยจะทำ ให้คอนกรีตที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่าที่ต้องการ

ค) ปฏิกิริยาระหว่างน้ำและปูนซีเมนต์

เมื่อนำน้ำมาผสมกับปูนซีเมนต์จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration) ซึ่งจะทำ ให้ปูนซีเมนต์แปรสภาพจากเม็ดเล็กละเอียด เป็นวัสดุที่มีลักษณะคล้ายเจลาติน (หรือวุ้น) ซึ่งจะค่อย ๆ แข็งตัวขึ้นตามลำดับ ตราบเท่าที่ยังมีน้ำเข้าทำปฏิกิริยาอยู่ นั่นคือปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเริ่มต้นตอนแรก และจะช้าลงตามลำดับในตอนหลัง ดังนั้นปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยเพียงใด ขึ้นกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในคอนกรีตนี่เอง ที่หลังจากที่เทคอนกรีตและถอดแบบแล้ว ต้องทำ การบ่มคอนกรีตทันที จุดประสงค์ก็คือ เพื่อให้มีน้ำเข้าทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ตลอดไม่ขาดตอนผลลัพธ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นนอกจากจะทำ ให้ซีเมนต์เพสต์แข็งตัวแล้ว ยังมีความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาด้วย ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Heat of Hydration) จะระบายผ่านออกมาทางเนื้อคอนกรีต แต่ถ้าหากมีความร้อนมาก ๆ จะทำ ให้คอนกรีตเสียกำ ลังไปและอาจทำ ให้คอนกรีตแตกร้าวได้ เนื่องจากแรงดันภายในคอนกรีต ฉะนั้น ในการเทคอนกรีตขนาดใหญ่หนา ๆ (เช่น ฐานรากขนาดใหญ่) ความร้อนจะระบายออกไม่ทัน ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้สารผสมเพิ่ม เพื่อลดปริมาณความร้อนที่จะเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) วัสดุมวลรวม (Aggregates)

วัสดุมวลรวม คือ ส่วนผสมคอนกรีตที่ยึดเข้าไว้ด้วยกันด้วยซีเมนต์เพสต์ วัสดุมวลรวมนี้จะได้จากธรรมชาติ เป็นแร่ธาตุเฉื่อยไม่มีปฏิกิริยา ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ หินอ่อน หินกรวด และทรายหยาบ การเลือกใช้วัสดุมวลรวมมีส่วนสำคัญที่ช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดี

ก) ประเภทของวัสดุมวลรวม

วัสดุมวลรวม สามารถแบ่งตามลักษณะขนาดได้เป็น 2 ชนิด คือ

- วัสดุมวลรวมละเอียด (Fine aggregate) หมายถึงวัสดุมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม.หรือเป็นเม็ดที่สามารถลอดผ่านตระแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ทั้งนี้จะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มม.วัสดุมวลรวมที่ เล็กกว่า 0.07 มม. เรียกว่า ฝุ่น (Silt หรือ Clay) วัสดุมวลรวมละเอียดที่ใช้กันทั่วไป คือ ทรายหยาบ

- วัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse aggregate) หมายถึง วัสดุมวลรวมที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม.ขึ้นไป หรือที่ไม่สามารถลอดผ่านตระแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ซึ่งได้แก่ หินย่อย, กรวด การเลือกใช้วัสดุมวลรวมหยาบ อาจกำหนดขนาดเพื่อให้เหมาะสมกับโครงสร้างนั้น ๆ เช่น ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมหยาบ อาจเป็น 1 ใน 5 ของความหนาคาน หรือ 1 ใน 3 ของความหนาของแผงพื้น

ข) คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุมวลรวม

วัสดุมวลรวมเป็นองค์ประกอบหลักของคอนกรีต ดังนั้น คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม จึงมีผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตโดยตรง คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุมวลรวมจะมีดังต่อไปนี้

- กำลัง (Strength) วัสดุมวลรวม ต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีต โดยทั่วไปหินจะมีกำ ลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตมาก กำ ลังรับแรงอัดของหิน มีค่าประมาณ 700 ถึง 3,500 กก./ซม.^{2}

- ความทนทานต่อการสึกหรอ (Abrasive resistance) หินที่นำมาผสมคอนกรีตในงาน ต้องทนทานต่อแรงกระแทกและเสียดสีมาก ๆได้ โดยเฉพาะคอนกรีตที่ใช้ทำ พื้นหรือถนน ซึ่งต้องเผชิญการเสียดสีอยู่ตลอดเวลา

- ความทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature resistance) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำ ให้คอนกรีตเกิดการขยายตัวและหดตัว หากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบ่อย ๆ ซ้ำ ๆ ตลอดเวลา จะทำ ให้เกิดหน่วยแรงมากพอที่จะทำ ให้คอนกรีตแตกร้าวได้ วัสดุผสมจึงควรทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี คือ ไม่ขยาย หรือหดตัวมาก และทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบ่อย ๆ ซ้ำ ๆ ได้ดี

- ความคงตัวต่อปฏิกิริยาเคมี วัสดุมวลรวมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปร่าง และผิว (Particle shape and Surface texture) มีความสำคัญต่อการยึดเกาะกับซีเมนต์เพสต์ และ “ ความสามารถเทได้ ” ของคอนกรีต ดังนั้น วัสดุที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นแง่เหลี่ยมคม และผิวหยาบเพื่อช่วยในการยึดเกาะ และไม่ควรมีรูปทรงเป็นแผ่นแบนๆ หรือเป็นชิ้นยาวๆ เพราะจะทำ ให้เทได้ยาก ควรมีรูปทรงก้อนกลม หรือลูกบาศก์

- ความสะอาด (Cleanliness) วัสดุมวลรวม ต้องสะอาดมีสารที่จะทำ ให้เกิดการเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีตน้อยที่สุด สารเหล่านี้ ได้แก่ เปลือกหอย ชานอ้อย ถ่านหิน ถ่านเศษไม้ เศษกระดาษ ก้อนหิน โคลนเลน ฝุ่น หรือผงละเอียด (Silt) ถุงพลาสติก ใบไม้ เป็นต้น สิ่งดังกล่าวนี้ทำ ให้ความทนทาน และแรงยึดเหนี่ยวลดลง บางครั้งทำ ให้คอนกรีตร้าว, มีกำลังต่ำ, แข็งตัวช้า ปริมาณสิ่งเจือปนที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต จะต้องมีไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณของสิ่งเจือปนที่ยอมให้วัสดุมวลรวม

สิ่งเจือปนในวัสดุผสม	เปอร์เซ็นต์ที่ยอมให้สูงสุดโดยน้ำหนัก	
	ในวัสดุผสมละเอียด	ในวัสดุผสมหยาบ
1. ดินเหนียว	1	1
2. ฝุ่นหรือผงละเอียดที่ผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 200		
2.1 คอนกรีตที่รับแรงเสียดสี	5	5
2.2 คอนกรีตทั่วไป	5	5
3. ถ่านหินหรือลิกไนท์		
3.1 สำหรับงานที่อวดผิวหน้า	0.5	0.5
3.2 คอนกรีตทั่วไป	1	1
4.1 วัสดุอ่อน (เช่น รากไม้, เศษไม้)	-	-

- ความลดหลั่นของขนาด หรืออัตราส่วนขนาดคละ (Gradation) วัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมทำ คอนกรีต จะต้องมีความลดหลั่นของขนาดที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยให้เรียงตัวกันได้แน่นและมีช่องว่างน้อย ทำ ให้คอนกรีตมีกำ ลังมากขึ้น ทั้งยังช่วยให้ทำงานได้ง่าย เกณฑ์กำหนดส่วนคละของขนาดวัสดุมวลรวม มีแสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์กำหนดอัตราส่วนขนาดคละของวัสดุ

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์สะสมที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาดต่างๆ				
	ทราย	No.4 ถึง ¾”	No.4 ถึง 1”	No.4 ถึง 1½”	No.4 ถึง 2”
2”			0	0	0-5
1½”			0	0-5	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6(ต่อ) เกณฑ์กำหนดอัตราส่วนขนาดคละของวัสดุ

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์สะสมที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาดต่างๆ				
	ทราย	No.4 ถึง ¾"	No.4 ถึง 1"	No.4 ถึง 1½"	No.4 ถึง 2"
1"		0	0-5	-	30-65
3/4"		0-10	-	30-65	-
1/2"		-	40-75	-	70-90
3/8"	0	45-80	-	70-90	-
No.4	0-5	90-100	90-100	95-100	95-100
No.8	0-20	95-100	95-100		
No.16	15-50				
No.30	40-75				
No.50	70-90				
No.100	90-98				

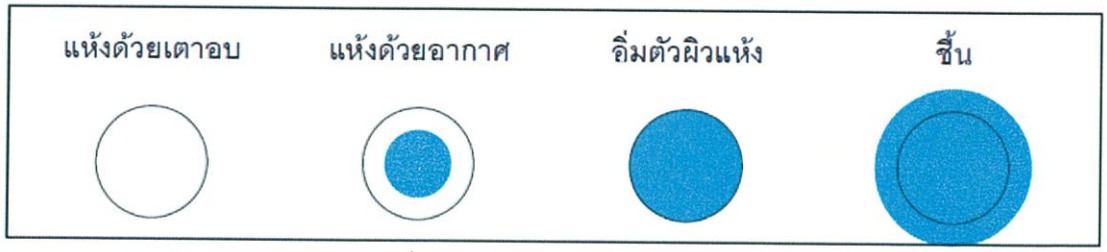
- ความชื้นและการดูดซึม (Moisture and Absorption) ภายในก้อนของวัสดุมวลรวม จะประกอบไปด้วย เนื้อและช่องว่าง ช่องว่างและเนื้อเหล่านี้จะเก็บดูดความชื้นในอากาศเข้าไว้ ทำ ให้วัสดุอยู่ในสภาวะใดสภาวะหนึ่ง ในสี่สภาวะต่อไปนี้

• แห้งด้วยเตาอบ คือ แห้งสนิทโดยตลอด ทำ ให้วัสดุสามารถดูดความชื้นได้เต็มที่

• แห้งด้วยอากาศ คือ แห้งที่ผิวแต่มีความชื้นอยู่ภายในช่องว่างข้างใน ทำ ให้วัสดุสามารถดูดความชื้นได้บ้าง

• อิ่มตัวผิวแห้ง คือ มีความชื้นทั่วถึงตลอด สภาวะนี้ถือว่าดีที่สุดสำหรับใช้ผสมคอนกรีต เพราะจะไม่ดูด หรือคายความชื้น

• ชื้นหรือเปียก คือ มีน้ำอยู่รอบผิววัสดุสภาพความชื้น และการดูดซึมของวัสดุ จะมีผลต่อปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต หากวัสดุสามารถดูดความชื้นได้น้ำในคอนกรีตจะถูกดูดไป ทำ ให้มีปริมาณน้ำที่เข้าทำ ปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์น้อยลง หรือถ้าวัสดุมีความชื้นมากเกินไป ปริมาณน้ำในคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น เท่ากับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.2 สภาวะของวัสดุมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การพองตัว (Particle shape and Surface texture) ดังได้กล่าวแล้วว่าความชื้นที่วัสดุมวลรวมเป็นตัวการสำคัญ ทำให้ต้องควบคุมส่วนผสม และอัตราส่วนปริมาณน้ำ นอกจากนั้นแล้ว ความชื้นที่ผิวจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างเม็ดทรายทำ ให้เม็ดทรายแยกตัวห่างออกจากกันปริมาตรจึงเพิ่มขึ้นหรือที่เรียกว่าทรายพองตัว (Bulking of Sand) ปริมาตรการพองตัวขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของความชื้นและขนาดของวัสดุมวลรวม วัสดุมวลรวมที่ละเอียดกว่าจะพองตัวมากกว่าเมื่อความชื้นเท่ากัน สำ หรับทรายละเอียดจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นถึง 40 % ทรายหยาบอาจเพิ่มขึ้นถึง 25 % ซึ่งทำ ให้หน่วยน้ำหนักของทรายละเอียดลดลง 25 % ทรายหยาบลดลง 15 % ตามลำดับ แต่เมื่อทรายอิ่มตัวปริมาตรจะคงที่

- โมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) ค่าโมดูลัสความละเอียด (ค่า FM) นี้ เป็นเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในวัสดุมวลรวมที่กำหนด นั่นคือวัสดุมวลรวมยิ่งหยาบ ค่า FM ยิ่งสูงขึ้น สำหรับทรายที่ใช้ทำ คอนกรีต ควรมีค่า FM ระหว่าง 2.25-3.25 หินที่ใช้ผสมคอนกรีต ควรมีค่า FM ระหว่าง 5.5-7.5

- ขนาดโตสุดของวัสดุมวลรวม (Maximum size of Aggregate) ขนาดโตสุดของวัสดุมวลรวม ต้องอยู่ในเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน และต้องไม่โต กว่า 1/5 ของด้านที่แคบสุดของแบบหล่อ หรือไม่โตกว่า 3/4 ของระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมแต่ละเส้น หรือแต่ละมัด ทั้งทางดิ่งและทางระดับ ขนาดของหินเบอร์ต่าง ๆ มีแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ขนาดของหินเบอร์ต่างๆ

หินเบอร์	ขนาด (มม.)	หินเบอร์	ขนาด (มม.)
0	หินฝุ่น,เศษหินย่อย	3	50-75
1	20-25	4	75-100
2	25-50	หินใหญ่พิเศษ	100 ขึ้นไป

2.4.4 คุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีต

สำหรับการพิจารณาถึงคุณสมบัติของคอนกรีตที่สำคัญ ๆ ในที่นี้จะแยกพิจารณาคุณสมบัติของคอนกรีตใน 2 ลักษณะ คือ คอนกรีตในสภาพที่ยังเหลว และคอนกรีตในสภาพที่แข็งตัวแล้ว

(1) คอนกรีตในสภาพที่ยังเหลว มีคุณสมบัติอยู่ 2 ประการที่ควรพิจารณา คือ

ก) ความสามารถเทได้ (Workability) ความสามารถเทได้หรือความคล่องตัวในการเท คือ ผลรวมของพลังงานที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคส่วนผสมในคอนกรีตและแรงเสียดทานระหว่างคอนกรีต กับแบบหล่อและเหล็กเสริมคอนกรีต หากคอนกรีตมีความสามารถเทได้ดี คอนกรีตจะไหลได้เต็มแบบ และหุ้มเหล็กเสริมได้ดี ทั้งยังสามารถทำ ให้แน่นได้โดยปราศจากการแยกตัว ปัจจัยที่สำ คัญที่มีผลต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีต ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาณน้ำในส่วนผสม น้ำมากจะช่วยเพิ่มการหล่อลื่นให้คอนกรีต แต่เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จะมีช่องว่างในคอนกรีตมาก ทำ ให้กำลังของคอนกรีตลดลง

- คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ และวัสดุมวลรวม

- ส่วนผสมของคอนกรีต ถ้าใช้ทรายมากจะมีความสามารถการเทได้มากขึ้น แต่กำ ลังจะลดลง

- สารผสมเพิ่ม

การทดสอบความสามารถเทได้ของคอนกรีตที่ใช้กันแพร่หลาย คือ การทดสอบหาค่ายุบตัว (Slump Test) ตัวอย่างค่ายุบตัวที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไปในประเทศไทยมีแสดงไว้ในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ค่ายุบตัวสำหรับงานก่อสร้างชนิดต่างๆ

ชนิดของงานก่อสร้าง	ค่ายุบตัว
ฐานราก	7.5 ±2.5
แผ่นพื้น คาน ผนัง ค.ส.ล.	10.0 ±2.5
เสา	10.0 ±2.5
ครีบ ค.ส.ล. และผนังบางๆ	10.0 ±2.5
ถนน สนามบิน	5.0 ±2.5
งานที่ใช้คอนกรีตปั๊ม	10.0 ±2.5
เสาเข็มเจาะระบบแห้ง หรือเสาเข็มขนาดเล็ก	10.0 ±2.5
งานเทคอนกรีตใต้น้ำ (Trimie)	มากกว่า 15
เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่	มากกว่า 15
งานคอนกรีตที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	มากกว่า 15

ข) การอยู่ตัว (Soundness) การอยู่ตัวหรือความข้นเหลวหมายถึง การที่คอนกรีตคงความสม่ำเสมอของเนื้อคอนกรีตตลอดช่วงเวลาที่เท หรือขนย้าย คอนกรีตที่มีการอยู่ตัวดีจะสามารถอัดแน่นในแบบหล่อได้ดี โดยไม่เกิดการแยกตัว (Segregation) และไม่เกิดการเยิ้ม (Bleeding) ในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือวัดค่าการอยู่ตัวจะอาศัยการสังเกตเป็นหลัก

(2) คอนกรีตในสภาพที่แข็งตัวแล้ว คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีหลายประการ แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดคือ กำลังของคอนกรีต (Strength) กำลังของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ปัจจัยที่สำคัญมากอย่างหนึ่งคือ อัตราส่วนน้ำ-ซีเมนต์ (water-cement ratio [w/c]) ถ้าใช้น้ำผสมคอนกรีตมากกำลังของคอนกรีตจะน้อย การที่กำ ลังของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ นั้น เป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับซีเมนต์น้ำจึงมีความจำ เป็นอย่างมากต่อกำลังของคอนกรีต ดังนั้น ในงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อผสมคอนกรีตจะต้องควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตให้ได้ตามที่ออกแบบส่วนผสม และเมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัวจะต้องคอยควบคุมให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตสูญเสียน้ำน้อยที่สุด โดยปกติแล้วถือเอากำลังของคอนกรีตเมื่ออายุครบ 28 วัน เป็นมาตรฐานในการบอกกำลังของคอนกรีต และกำลังของคอนกรีตจะหาจากแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก หรือแท่งคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

2.4.5 ปูนซีเมนต์

(1) ลักษณะของปูนซีเมนต์

คำว่าปูนซีเมนต์ เป็นคำ เรียกสั้นๆ ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ปูนซีเมนต์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากเผาส่วนผสมต่าง ๆ แล้วผสมกันเป็นเนื้อเดียวส่วนประกอบทางเคมีที่สำ คัญของปูนซีเมนต์ คือ แคลเซี่ยม และอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (HYDRATION) ซึ่งจะทำ ให้ปูนแข็งตัว มีคุณสมบัติในการเป็นตัวประสานวัสดุมวลรวมเข้าด้วยกัน

(2) ประเภทของปูนซีเมนต์ แบ่งตาม มาตรฐาน มอก. สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ASTM) และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ของประเทศไทย ได้แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 5 ประเภท คือ

ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำ หรับใช้ในการทำคอนกรีตที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และใช้ในงานคอนกรีตตามปกติทั่วไป ที่ไม่อยู่ในสภาวะอากาศรุนแรง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราทีพีไอสีแดง ตราพญานาคสีเขียว และตราเพชรเม็ดเดียว

ข) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสอง คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำ หรับใช้ในการทำคอนกรีตที่เกิดความร้อนต่ำและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำ แพงกันดินหนาๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ตอม่อสะพาน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร

ค) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสาม คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (High-Early Strength Portland Cement) หรือที่เรียกว่าซูเปอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังสูงในระยะแรก เนื้อปูนมีลักษณะเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ผลิตได้โดยการเปลี่ยนสัดส่วนส่วนผสม โดยการเติมสารอื่นและโดยการบดให้ละเอียดยิ่งขึ้นหรือโดยการเผาให้ดีขึ้น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็วมีประโยชน์สำ หรับทำ คอนกรีตที่ต้องการความเร่งด่วนหรือในกรณีที่ต้องการรื้อแบบหล่อเร็ว ๆ เช่น เสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้น และคานที่ต้องการจะใช้เร็ว เป็นต้น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง ตราสามเพชร

ง) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสี่ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement)เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด ปูนซีเมนต์ชนิดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้กันมากในการก่อสร้างคอนกรีตหลา เช่น เขื่อนเป็นต้น เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำ กว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่น

จ) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้า คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์สำหรับใช้กับโครงสร้าง ที่อยู่ภายใต้สภาพที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น ในน้ำ หรือในดินที่มีด่าง (Alkaline) สูง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่งตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม

(3) ประเภทของปูนซีเมนต์ ที่ไม่แบ่งตามมาตรฐาน มอก.

นอกจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐาน มอก.ทั้ง 5 ประเภทข้างต้นแล้ว ยังมีปูนซีเมนต์ประเภทอื่นที่สำคัญอีก คือ

ก) ปูนซีเมนต์ซัลเฟตสูง (Super-Sulfated Cement)

คือ ปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดส่วนผสมของเม็ดตะกรันเตาถลุง,คัลเซียมซัลเฟต และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาเข้าด้วยกัน มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเล และพวกซัลเฟตได้ดี ทั้งยังทนทานต่อ กรด และน้ำมัน

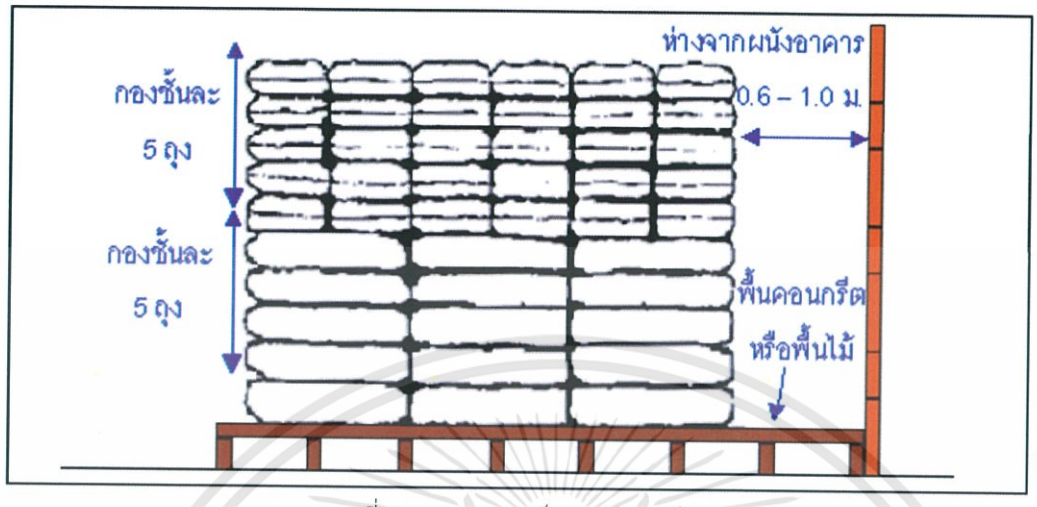
ข) ปูนซีเมนต์ซิลิก้า (Cilica) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ทาง ม.อ.ก. เรียก " ปูนผสม " ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ คือ ปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดเม็ดปูนของ ปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ธรรมดากับทรายประมาณ 25 - 30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเนื้อซีเมนต์จึงมากขึ้นและมีราคาถูกลง มีลักษณะแข็งตัวช้าไม่ยืดหรือหดตัวมาก เหมาะกับงานก่อ งานถือปูนหรืองานที่ไม่ต้องการกำ ลังของคอนกรีตมาก ๆ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเสือ ตรางูเห่า และตรานกอินทรีย์ เป็นต้น

(4) การเก็บปูนซีเมนต์

การเก็บปูนซีเมนต์ไว้ใช้งาน เป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากปูนซีเมนต์เป็นวัตถุที่ดูดความชื้นจากอากาศ หรือของที่อยู่ใกล้เคียงได้ง่าย เมื่อปูนซีเมนต์ได้สัมผัสกับความชื้นจะเกิดเป็นเม็ดและก้อนแข็ง ถ้าหากความชื้นมีเพียง 1 - 2 % ก็ไม่ถือว่าเกิดความเสียหายแต่อย่างใด แต่ถ้ามากไปกว่านี้ จะให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวช้าลง และกำ ลังก็จะลดลงด้วย และถ้าดูดความชื้นเข้าไว้มากกว่า 5 % แล้วปูนซีเมนต์นั้นจะเป็นก้อนแข็งใช้งานไม่ได้วิธีเก็บปูนซีเมนต์อย่างดีที่สุด คือ เก็บไว้ในสถานที่แห้งมีหลังคาและผนังปกคลุมมิดชิด โดยการเก็บควรเก็บไว้เป็นปริมาณมาก ๆ ในที่เก็บแห่งเดียวการกองเก็บปูนซีเมนต์ ควรกองเก็บให้มีอากาศผ่านเข้าภายในกองได้น้อยที่สุดและต้องระมัดระวังอย่าให้ความชื้นหรือน้ำเข้าทางพื้นได้ ถ้าพื้นเป็นไม้ต้องยกพื้นไม้ให้อยู่พ้นระดับดินขึ้นไปไม่ต่ำกว่า 30 ซม. การวางถุงปูนซีเมนต์ ควรวางเรียงเป็นชั้น ๆ ที่นิยมทำกันคือ วางตามยาวของถุง 5 ถุง แล้ววางตามขวาง 5 ถุง สลับกัน การวางซ้อนกันไม่ควรให้สูงมากเกินไปกว่าที่จะหยิบมาใช้งานได้สะดวก แต่อย่าวางให้ชิดติดผนังหรือฝา เพราะปูนซีเมนต์อาจถูกความชื้นจากข้างนอกเข้ามาข้างในได้ ในกรณีจำ เป็น ต้องวางกองปูนซีเมนต์ไว้กลางแจ้ง ควรหาไม้มาทำ เป็นพื้น (ยกพื้น) และต้องเตรียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ้าใบ (ที่กันน้ำได้) เพื่อใช้คลุมกันความชื้นหรือเวลาฝนตก และในกรณีเช่นนี้ไม่ควรกองเก็บปูนซีเมนต์ไว้นานๆ ควรสั่งมาแต่น้อยแล้วรีบใช้ให้หมดจะดีกว่า



รูปที่ 2.3 การกองเก็บปูนซีเมนต์ถุง

2.4.6 น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต (MIXING WATER)

(1) ลักษณะของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตควรต้องสะอาดปราศจากสิ่งเจือปน เช่น กรด ด่าง น้ำมัน และ สารอินทรีย์ อื่น ๆ มากจนเกินไป จนทำให้เป็นอันตรายต่อคอนกรีตและเหล็กเสริม ตามปกติแล้วน้ำประปา น้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน หรือจากโรงงานอุตสาหกรรม จัดได้ว่าเป็นน้ำที่มีคุณภาพดีพอที่จะใช้ผสมคอนกรีตได้ดี น้ำทะเลซึ่งมีเกลือของโซเดียม (NaCl) ละลายอยู่ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ (35,000 PPM.) แม้สามารถใช้ผสมเทคอนกรีตได้ แต่จะทำ ให้กำ ลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตลดลง 10 – 20 % แต่ถ้าน้ำมีเกลือของโซเดียม เกิน 5.0% จะทำ ให้กำ ลังคอนกรีตลดลง 3 % ดังนั้นไม่ควรนำ น้ำทะเลมาผสมคอนกรีต ถ้าสามารถหาน้ำจืดใช้แทนได้ นอกจากนี้ยังไม่ควรใช้น้ำทะเลในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งนี้เพราะจะทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม และผุกร่อนเร็ว สำหรับงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในน้ำทะเลควรมีคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมอย่างน้อย 7 ซม.

(2) หน้าที่ของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต

น้ำทำหน้าที่หลายประการในการผสมคอนกรีต หน้าที่ที่สำคัญ ได้แก่

ก) เคลือบวัสดุมวลรวม น้ำทำให้วัสดุมวลรวมเปียก เพื่อให้ปูนซีเมนต์เข้าเกาะได้โดยรอบและจับยึดตัวกันได้

ข) หล่อลื่นวัสดุมวลรวมทำให้เกิดความเหลว เมื่อคอนกรีตมีความเหลวสามารถเทได้ กระทุ้ง เขย่าเข้ารูปแบบหล่อเป็นรูปต่าง ๆ ได้

ค) ทำปฏิกริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ น้ำเมื่อทำปฏิกิริยาเคมี(ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น) จะทำ ให้ผงซีเมนต์ติดอยู่กับวัสดุมวลรวมกลายเป็นวุ้นช่วยประสานผิวระหว่างวัสดุผสมให้เกาะยึดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่นเมื่อแข็งตัว สารที่เจือปนอยู่ในน้ำซึ่งมีผลทำ ให้คุณภาพคอนกรีตเสียไป ได้แก่ พวกฝุ่น หรือผง (Silt) น้ำมัน กรด ด่าง เกลือต่าง ๆ และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือบ้านเรือนต่างๆ เป็นต้น

2.4.7 สารผสมเพิ่ม (ADMIXTURES)

สารผสมเพิ่มหมายถึง สารเคมีอื่นๆ นอกเหนือไปจาก ปูนซีเมนต์ วัสดุมวลรวม และน้ำ ที่ใช้เติมลงในส่วนผสมของคอนกรีต ด้วยจุดประสงค์เพื่อ ปรับเปลี่ยนคุณสมบัติบางประการของคอนกรีต สารผสมเพิ่มจะให้ผลแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ที่ใช้, ขนาด รูปร่าง และส่วนขนาดคละของวัสดุมวลรวม, น้ำ และอุณหภูมิ ดังนั้น การใช้สารผสมเพิ่ม จึงควรได้ทราบถึงข้อมูล ตลอดจนข้อแนะนำ ในการใช้ของบริษัทผู้ผลิตโดยละเอียด นอกจากนี้ สารผสมเพิ่มจะให้ผลดีต่อเมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม สารผสมเพิ่มที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่

(1) สารเร่งการก่อตัว (Accelerators)

สารเร่งการก่อตัวจะทำ ให้คอนกรีตก่อตัวและแข็งตัวเร็วขึ้นกว่าปกติ นอกจากนี้ ผลพลอยได้ของการใช้สารเร่งการก่อตัว คือ จะทำ ให้คอนกรีตมีกำ ลังในระยะแรกสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา โดยทั่วไปแล้วสารเร่งการก่อตัวจะใช้เมื่อต้องการเร่งเวลาการถอดแบบหล่อ หรือเมื่อต้องการให้คอนกรีตรับแรงได้เร็วกว่าปกติ เช่น การทำ เสาเข็มธรรมดา และเสาคอนกรีตอัดแรง ใช้อุดรูรั่วในเนื้อคอนกรีตสารที่นิยมใช้เป็นตัวเร่งการก่อตัวคือ แคลเซียมคลอไรด์ และโซเดียมซิลิเกต เป็นต้น

(2) สารหน่วงการก่อตัว (Retarders)

สารหน่วงการก่อตัว มีคุณสมบัติช่วยให้คอนกรีตก่อตัวช้ากว่าธรรมดา (เกินกว่า 1 ½ ชั่วโมง) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ ในกรณีที่ต้องเสียเวลาเคลื่อนย้ายคอนกรีตที่ผสมแล้วไปยังจุดเทที่อยู่ไกล ๆ หรือในกรณีที่ต้องใช้เวลาในการเคลื่อนย้าย และการเทนาน ๆ ข้อเสียของการใช้สารหน่วงการก่อตัว คือ จะทำ ให้กำลังคอนกรีตลดต่ำ ไปในช่วง 3 วันแรก แต่ผลพลอยได้คือ ช่วยลดปริมาณน้ำได้ประมาณ 5 – 15% ซึ่งเป็นผลทำ ให้คอนกรีตมีกำ ลังสูงในระยะเวลาหลัง และมีกำ ลังเท่ากับหรือสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาเมื่อ อายุ 28 วัน สารชนิดนี้ ได้แก่ แคลเซียม หรือยิบซัม ซึ่งบริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์ทั้งหลาย ก็ได้ใช้ปนอยู่แล้วในปูนซีเมนต์ที่ผลิต

(3) สารลดปริมาณน้ำ (Water Reducing Admixture)

สารลดปริมาณน้ำจะช่วยลดปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในส่วนผสมคอนกรีต แต่ยังได้ความข้นเหลวเทียบเท่ากับคอนกรีตธรรมดา เมื่อใช้น้ำในส่วนผสมคอนกรีตน้อยลง (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์น้อยลง) จะมีผลในการเพิ่มกำ ลังของคอนกรีตสารชนิดนี้เป็นสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่ทำ มาจากเกลือลิกโนซัลโฟนิค (Lignosulfonic Acid)หรือเกลือ และสารประกอบของกรดไฮดรอกซี่คาร์บอซีลิค (Hydroxycarboxylic Acid) หรือสารประกอบโพลีเมอร์บางชนิด เช่น โพลิเมอร์ ไฮดรอกซีเลต (Hydroxylated Polymers)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) สารป้องกันน้ำ (Waterproofing)

สารป้องกันน้ำจะทำ ให้คอนกรีตทึบน้ำกันน้ำไม่ให้น้ำซึมผ่านได้ สารป้องกันน้ำจะเข้าไปแทรกอุดรูเล็ก ๆ ในคอนกรีตทำ ให้คอนกรีตทึบน้ำ ถ้าสามารถออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้พอดี และสามารถผสมคอนกรีตได้ตามที่ออกแบบ เมื่อนำ คอนกรีตไปหล่อแล้วคอนกรีตจะแน่นทึบกันน้ำ แต่กรณีไม่สามารถทำได้ก็จำเป็นต้องใช้สารชนิดนี้ช่วย สารป้องกันน้ำมักจะใช้กับคอนกรีตที่ต้องการไม่ให้น้ำซึมผ่านได้ เช่น โครงสร้างที่กั้นน้ำ ห้องใต้ดิน อุโมงค์ สระน้ำ หลังคา พื้นห้องน้ำ เป็นต้น นอกจากนี้สารป้องกันน้ำ ยังนำมาใช้กับมอร์ต้า (ปูน ทราย น้ำ) ที่ใช้โบกกำแพง หรือเทพื้น เพื่อกันมิให้ความชื้นซึมเข้าไปได้ และป้องกันราชื้นสารชนิดนี้เป็นพวก อัลคาไลน์ซิลิเกต (Alkaline Silicates) เช่น โซเดียมซิลิเกตหรืออลูมิเนียม และสังกะสีซัลเฟต (Zinc Sulphates)

(5) สารกระจายกักฟองอากาศ (Air-Entraining Admixture)

สารกระจายกักฟองอากาศ จะช่วยทำ ให้เกิดฟองอากาศเล็ก ๆ มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น แผ่ปนอยู่ทั่วเนื้อคอนกรีต โดยฟองเหล่านี้จะไม่ทะลุถึงกันได้ ในคอนกรีต 1 ลบ.ม. อาจมีฟองอากาศเล็ก ๆ นี้ประมาณ 3 - 6 % ของเนื้อคอนกรีตทั้งหมดโดยปริมาตร การที่ในเนื้อคอนกรีตมีฟองอากาศขนาดเล็ก ๆเหล่านี้ จะช่วยทำ ให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทได้มากขึ้น แม้ว่าจะมีปริมาณน้ำน้อยก็ตาม เพราะฟองอากาศเหล่านี้จะช่วยทำ หน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นแทนน้ำ นอกจากนี้ช่วยมิให้น้ำในคอนกรีตแข็งเป็นน้ำแข็งก่อนที่คอนกรีตจะก่อตัว ซึ่งเป็นประโยชน์ในการหล่อคอนกรีตในฤดูหนาว หรือในที่ที่มีอากาศหนาวเย็นมากสารกระจายกักฟองอากาศยังช่วยลดการแยกตัว, การสูญเสียน้ำ, ไม่รั่วซึมรวมทั้งเพิ่มความต้านทานซัลเฟตด้วย ข้อเสียของการใช้สารนี้ก็คือทำ ให้คอนกรีตมีกำลังต่ำลง เนื่องจากคอนกรีตมีรูพรุนมากและในการใช้เครื่องเขย่าคอนกรีต เพื่อทำให้คอนกรีตแน่นตัว ต้องระวังให้มากกว่าเดิม เพราะถ้าเขย่ามากแล้วจะทำ ให้จำนวนฟองอากาศลดน้อยลงไปเกือบ 50 เปอร์เซ็นต์ สารกระจายกักฟองอากาศมีหลายชนิด อาจทำมาจาก ยางไม้ ไขมัน น้ำมันสัตว์–พืช นอกจากการใช้สารเคมีกระจายกักฟอกอากาศมาผสมในคอนกรีตแล้ว ปัจจุบันยังมีคอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ ซึ่งผลิตขึ้นโดยใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดกระจายกักฟองอากาศ (Air-Enrraining Cement) ซึ่งให้คุณสมบัติเช่นเดียวกันกับการเติมสารดังได้กล่าวมาแล้ว

2.4.8 ความรู้เรื่องการบ่มคอนกรีต

การบ่มหรือการบำรุงคอนกรีต (Curing) เป็นการควบคุมและป้องกันไม่ให้น้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ระเหยออกมาจากคอนกรีตที่เทลงแบบหล่อและแข็งตัวแล้วเร็วเกินไป เพื่อให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในการรับแรงและความทนทานตามความต้องการหลังจากเทคอนกรีตและทิ้งไว้จนผิวหน้าคอนกรีตหมาดแข็งปราศจากรอยแล้วจะต้องทำการบ่มทันทีด้วยวิธีที่ถูกต้อง โดยปกคลุมผิวไม่ให้ถูกแดดหรือลมร้อน และไม่ให้ถูกรบกวนหรือสะเทือนโดยเฉพาะในระยะ 24 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีและมีคุณสมบัติตามต้องการ อีกทั้งเป็นการป้องกันการสูญเสียน้ำจากคอนกรีตที่เทใหม่ๆ มิฉะนั้นคอนกรีตจะเกิดการหดตัวเร็ว ทำให้เกิดแรงดึงที่ผิวที่กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะแห้ง เป็นผลให้เกิดรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต ช่วงระยะเวลาที่ป้องกันและรักษาความชื้นนี้ไว้ ภายหลังจากเทคอนกรีตลงแบบหล่อแล้ว เรียกว่าระยะเวลาของการบ่มคอนกรีต (Curing period)

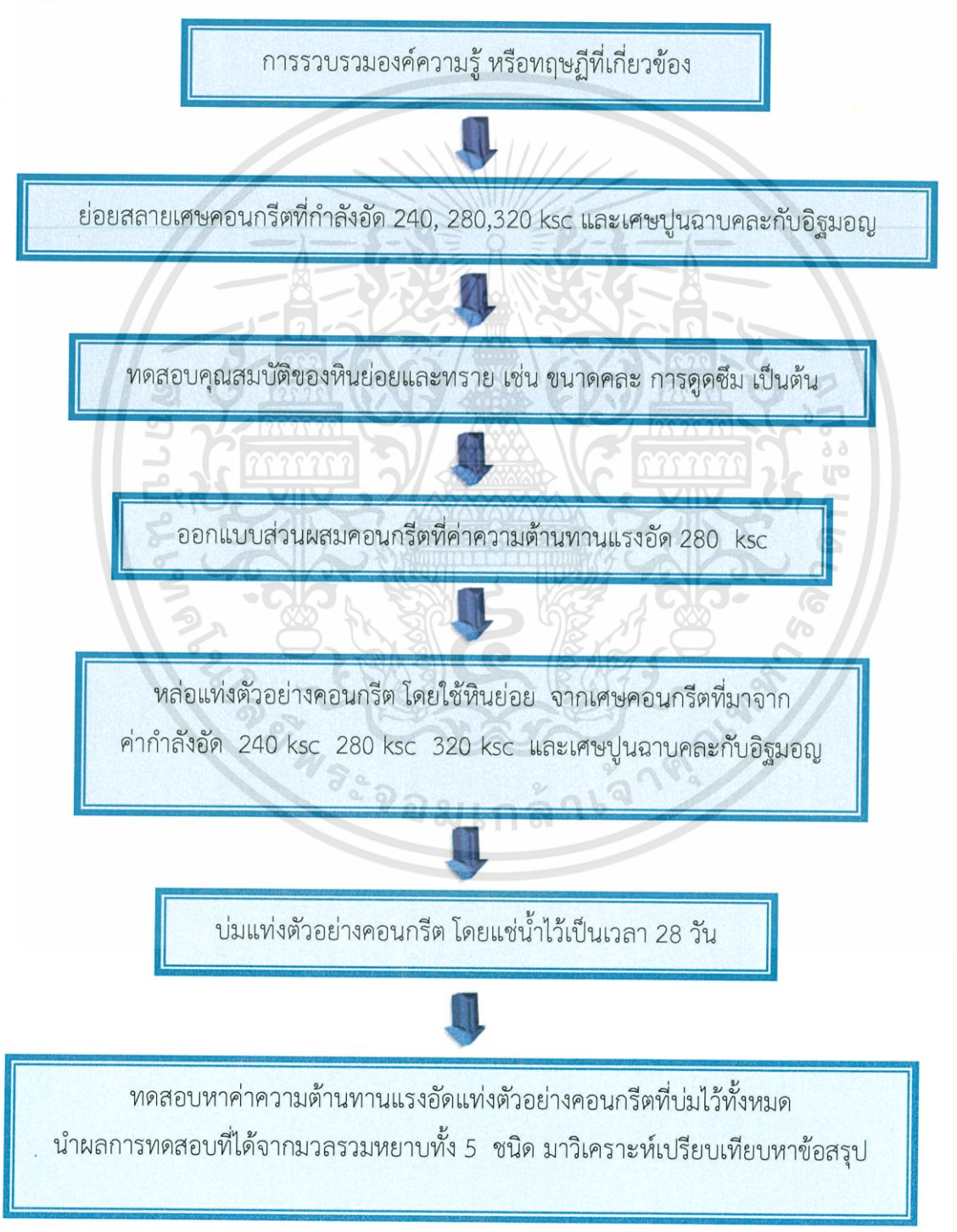
กำลังของคอนกรีตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตราบเท่าที่ยังมีความชื้นให้ซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำได้ต่อไปอีก กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วในระยะแรกและค่อยๆช้าลงในเวลาต่อมา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นและอุณหภูมิที่พอเหมาะ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จากเส้นสัมพันธ์จะเห็นว่าหลังจากบ่มในอากาศแห้งแล้วบ่มชื้นต่อ กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มสูงขึ้นอีก แต่คอนกรีตจะให้กำลังสูงสุดหากบ่มชื้นตลอดเวลา ซึ่งสภาพของงานก่อสร้างจริงไม่อาจบ่มชื้นตลอดเวลานานๆได้ เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาก่อสร้างและค่าใช้จ่าย ฉะนั้นจึงควรทำการบ่มชื้นให้ต่อเนื่องกันตั้งแต่ต้นประมาน 7-14 วัน เพื่อให้คอนกรีตมีกำลังประมาณ 70% ของกำลังอัดที่ต้องการ

อุณหภูมิที่ใช้บ่มคอนกรีตสำหรับคอนกรีตทั่วๆไป ควรอยู่ระหว่าง 15-39 องศาเซลเซียส สำหรับงานคอนกรีตหลาความใช้อุณหภูมิให้ต่ำลง เพราะปฏิกิริยาของน้ำกับซีเมนต์นั้นให้ความร้อนออกมามากอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามไม่ควรบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส เพราะคอนกรีตจะแข็งตัวช้ามาก เมื่อบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงมากและอากาศแห้ง จะทำให้น้ำระเหยออกจากคอนกรีตอย่างรวดเร็ว กำลังของคอนกรีตที่ได้จะต่ำ และอาจเกิดรอยแตกร้าวได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตโดยวิธีของ ACI ขั้นตอนการดำเนินงาน วิธีการทดสอบหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่นำมาใช้ในการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การทดสอบ

การทดสอบ อุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบ รวมถึงวิธีการบันทึกผลการทดสอบ ที่จะนำมาใช้ในการปฏิบัติงานโครงการ

3.1.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Concrete Mixed Design) ACI (211.1-77)

(1) ขอบเขต

วิธีและหลักการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตที่จะได้กล่าวถึงต่อไปนี้ จะใช้กับคอนกรีตปรกติทั่วไปที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคารและใช้กำหนดให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานได้เหมาะสมกับสภาพการเทหรือหล่อในที่ (Cast – in place construction)

อย่างไรก็ตามถือว่าเป็นเพียงการประมาณอัตราส่วนในชั้นแรกเท่านั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบผลของอัตราส่วนนี้ จากห้องทดลองปฏิบัติการหรือในสนาม และมีการปรับปรุงตามความจำเป็นและเหมาะสมกับคุณสมบัติตามต้องการ

(2) กล่าวนำ

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าคอนกรีตนั้น คือวัสดุผสมซึ่งมีวัสดุที่เป็นหลักอยู่ 3 ชนิด คือ ซีเมนต์ มวลรวมคละ (หยาบและละเอียด) และน้ำ นอกจากนี้ยังอาจมีสิ่งอื่นเพิ่มเติมเข้ามาอีกได้แล้วแต่ความต้องการ อาจจะเป็นสารกระจายฟองอากาศหรือสารเพิ่ม (Admixtures) ต่างๆ

สำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมนั้น มีข้อควรระวังอยู่ 2 ข้อที่มีความสำคัญเท่าๆกัน ข้อแรกคือ การประหยัดวัสดุที่สมเหตุสมผล อีกข้อหนึ่ง คือความต้องการในความสามารถที่จะรับแรง ความสามารถในการทำงาน ตลอดจนความคงทน เป็นต้น

(3) ความสัมพันธ์ขั้นมูลฐาน

จากที่ได้กล่าวนำไปแล้ว ว่าการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมนั้น ข้อที่ควรคำนึงอีกประการนอกจากความประหยัดแล้ว ก็คือ ความสามารถในการทำงาน กำลัง ความคงทน สิ่งต่างๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน พอสรุป ได้ ย่อยๆ ดังนี้

ความสามารถในการทำงาน (Workability) คำนี้ดูเหมือนจะให้คำจำกัดความลงไปอย่างแน่ชัดไม่ได้ โดยทั่วไปเรามุ่งถึงคอนกรีตที่สามารถจะทำได้ง่ายสำหรับการผสม การขนส่ง การเทลงในแบบหล่อ การอัดแน่น การตกแต่ง ตลอดจนความแข็งแรงของคอนกรีต

ความข้นเหนียว (Consistency) กล่าวง่ายๆก็คือ ความเหลวหรือความเปียกของคอนกรีตสดนั่นเอง ความเหลวหรือความเปียกนี้ สามารถตรวจสอบได้จากการยุบตัว (Slump) คอนกรีตที่มีความยุบตัวสูงก็จะมีความเหลวมาก ความเหลวในที่นี้ไม่เกี่ยวกับคุณสมบัติความสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานของคอนกรีต ในการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตนั้น ปริมาณน้ำที่จะใช้เป็นสิ่งสำคัญซึ่งขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์หลายประการ

ความแข็งแรง (Strength) กำลังความแข็งแรงของคอนกรีตนับว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่ง ในสภาวะทั่วไปกำลังของคอนกรีตคำนวณจากปริมาณน้ำสุทธิที่ใช้เทียบกับซีเมนต์หนึ่งหน่วย ปริมาณน้ำสุทธิที่ว่านี้ไม่รวมถึงน้ำที่ถูกซึมเข้าไปในมวลรวมคละ อย่างไรก็ตามกำลังของคอนกรีตที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำกับซีเมนต์จำนวนหนึ่งนี้ อาจจะแตกต่างกันไปเนื่องจากขนาดของมวลรวมคละ รูปทรงของมวลรวม ความแกร่งของมวลรวม หรือการใช้ซีเมนต์ต่างชนิดกันตลอดจนกระทั่งปริมาณอากาศและการใช้สารผสมเพิ่ม

ความคงทน (Durability) คอนกรีตที่ดีต้องมีความสามารถในการคงทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ในขณะที่อยู่ในสภาวะกำลังใช้งาน อาจจะเป็นอากาศหนาวจัด ร้อนจัด ฝนตกหรือแดดออกหรือผลจากสารเคมี ซึ่งสิ่งต่างเหล่านี้ควรมีการใช้สารผสมเพิ่ม เพื่อให้คอนกรีตเกิดความคงทนภายใต้สภาวะดังกล่าวให้กำหนดค่า water-cement ratio ต่ำๆ อาจมีส่วนช่วยยืดอายุคอนกรีตให้คงทนขึ้นได้มาก

ความหนาแน่น (Density) คอนกรีตบางชนิดอาจมีความจำเป็นที่ต้องใช้คุณสมบัติจากน้ำหนักของตัวมันเอง ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุหรือความหนาแน่นก็ควรจะให้เป็นไปตามที่ต้องการ

(4) ข้อมูลพื้นฐาน

ในการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีต จำเป็นต้องทราบข้อมูลพื้นฐานบางอย่างจากวัสดุที่นำมาเป็นส่วนผสม ดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมหยาบและละเอียดด้วยตะแกรง
2. ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ
3. ค่า Bulk specific gravities และค่าอัตราการดูดซึมของมวลรวมคละ
4. ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้สำหรับการผสมคอนกรีต
5. ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกับอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลดังกล่าวอาจกำหนดได้จากตารางคำนวณเช่นข้อมูลที่ 4 และ 5 อาจดูได้จากตารางที่กำหนดไว้ให้หรือข้อมูลที่ 3 อาจไม่จำเป็นต้องทราบเลยก็สามารถจะหาอัตราส่วนผสมของคอนกรีตได้เช่นกัน

(5) ขั้นตอนการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนสำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีต ในที่นี้ควรกระทำไปตามลำดับขั้นตอนที่กำหนด สิ่งแรกก็คือต้องทราบ ความต้องการหรือคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่จะใช้ ซึ่งมีดังนี้

1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด
2. ปริมาณซีเมนต์น้อยสุด
3. ปริมาณอากาศ
4. ค่ายุบตัว
5. ขนาดโตสุดของมวลรวมคละ
6. กำลังคอนกรีต
7. อาจมีความต้องการอื่นๆ อีกนอกเหนือจากการคำนวณ เช่น สารผสมเพิ่มและซีเมนต์ชนิดพิเศษ เหล่านี้เป็นต้น

ข้อมูลสำหรับความจำเป็นเบื้องต้นเหล่านี้ มีหลักและวิธีการปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่ายุบตัว : หากค่ายุบตัวไม่ได้กำหนดไว้ในความต้องการของงาน อาจใช้ตารางที่ 3.1 ช่วยในการคำนวณได้ ค่ายุบตัวต่างๆ ที่กำหนดไว้ในตารางนี้ เป็นค่ายุบตัวสำหรับการเทคอนกรีตที่ใช้เครื่องจี้สั่นสะเทือนให้คอนกรีตแน่น และเป็นส่วนผสมที่ความข้นเหนียวเหมาะสมแก่สภาพงานอย่างยิ่ง

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดขนาดโตสุดของมวลรวม : มวลรวมคละที่มีขนาดเรียงประกอบด้วยขนาดใหญ่ที่มีจำนวนมาก ย่อมเกิดช่องว่างน้อยกว่ามวลรวมคละที่มีขนาดเรียงเม็ดเล็กๆ ทั้งนี้เพราะเมื่อคิดปริมาณคอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรแล้ว มวลรวมคละที่มีขนาดใหญ่ต้องใช้เนื้อปูนหรือมอร์ต้าน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม มีข้อกำหนดไว้ว่าขนาดของมวลรวมใหญ่สุดไม่ควรเกิน 1/5 เท่า ของขนาดโครงสร้างที่แคบที่สุดหรือ 1/3 เท่าของความหนาพื้นหรือ 3/4 เท่าของระยะต่ำสุดของเหล็กเสริมที่อยู่ในแนวเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดปริมาณน้ำผสมและปริมาณอากาศ : ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตในหนึ่งหน่วยปริมาตรที่จะทำให้เกิดค่ายุบตัวตามกำหนดในขั้นตอนแรกนั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโตสุด รูปทรงและขนาดเรียงของมวลรวมคละ และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณฟองอากาศอีกด้วย ในตารางที่ 3.2 เป็นตารางที่ช่วยในการประมาณการของจำนวนน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตสำหรับมวลรวมคละขนาดต่างๆ ทั้งที่เป็นคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตกักฟองอากาศ เนื่องจากขนาดและรูปร่างของมวลรวมที่อาจวัดได้ไม่แน่นอน อาจทำให้ค่าในตารางที่วัดให้ไว้ผิดพลาดไปบ้างเล็กน้อย แต่ก็คิดว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะยังคงถูกต้องเพียงพอสำหรับใช้ในการประมาณขั้นแรกนี้ และจำนวนน้ำที่แตกต่างกัน จากความที่น่าจะเป็นจริงเพียงเล็กน้อยนี้ ไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของคอนกรีตเลย ทั้งนี้เพราะยังมีแฟกเตอร์อื่นๆ อีกมากมายนักที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 4 การเลือกอัตราส่วนน้ำซีเมนต์ (WCR) : ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต้องการในการผสมคอนกรีตนั้น มิใช่เพียงเพื่อให้คอนกรีตเกิดกำลังตามต้องการนั้น แต่ยังเพื่อช่วยให้เกิดความคงทนและความสามารถที่จะตกแต่งได้อีกด้วย จะเห็นว่าค่า WCR เดียวกันนี้อาจจะทำให้คอนกรีตมีกำลังแตกต่างกันได้ ถ้าใช้มวลรวมคละหรือประเภทของซีเมนต์ที่แตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้ควรจะได้ก่อให้เกิดการปรับปรุงหรือแก้ไขค่า WCR ให้สอดคล้องกันกับวัสดุที่นำมาใช้จริงๆ สำหรับงานคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 โดยต้องการให้กำลังคอนกรีตเกิดที่ระดับต่างๆ นั้น จะดูได้จากตารางที่ 3.3 (ก) ค่าในตารางเป็นค่าโดยประมาณของ WCR และกำลังคอนกรีตที่ระดับต่างๆ คิดจากคอนกรีตที่ได้รับการบ่มอย่างดีในห้องปฏิบัติการครบรอบ 28 วัน ซึ่งจากข้อความนี้แน่นอนเมื่อต้องการจะเลือกใช้ค่า WCR ในการทำงานจริงๆ ควรเลือกใช้ค่า WCR ของกำลังคอนกรีตที่สูงกว่าต้องการไว้บ้าง ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ค่ากำลังเฉลี่ยในงานจริงต่ำกว่ากำหนด

สำหรับสภาวะที่ทารุณเหลือหลาย (Severe Condition) ค่า WCR ควรจะต่ำเป็นพิเศษเพื่อที่จะทำให้ได้กำลังของคอนกรีตตามต้องการ ซึ่งถ้าเป็นสภาวะเช่นนี้ให้ดูตารางที่ 3.3 (ข)

ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณปริมาณซีเมนต์ : ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรนั้น ขึ้นอยู่กับค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ที่ผ่านมา โดยที่จำนวนซีเมนต์นี้เท่ากับ

$$\text{ปริมาณซีเมนต์} = \frac{\text{ปริมาณน้ำในการผสม}}{\text{ค่า WCR}} \qquad (3.1)$$

ขั้นตอนที่ 6 การประมาณปริมาณมวลรวมหยาบ : ปริมาณมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต หาได้จากตารางที่ 3.4 คูณด้วยค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง (Dry unit weight) ของมวลรวมซึ่งมีหน่วยเป็น กก./ลบ.ม. จะเห็นว่าสำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถในการทำงานที่เท่ากันนั้น ปริมาณของมวลรวมหยาบขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวมหยาบและค่า Fineness modulus ของมวลรวมละเอียดเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 7 การประมาณปริมาณมวลรวมละเอียด : การประมาณปริมาณมวลรวมละเอียดนั้น สามารถกระทำ ได้สองวิธีคือ วิธีน้ำหนัก (The “weight” method) หรือวิธีปริมาตร (The “absolute volume” Method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีน้ำหนัก เริ่มต้นจากน้ำหนักของคอนกรีตจะต้องถูกสมมุติขึ้นก่อน โดยอาจประมาณเอาจากประสบการณ์ จากนั้นน้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่ต้องการก็จะหาได้ง่าย จากการเอาน้ำหนักคอนกรีตสดหักออกจากน้ำหนักของวัสดุผสมต่างๆ แต่อย่างไรก็ตาม อาจใช้ตารางที่ 3.5 ช่วยในการประมาณน้ำหนักของคอนกรีตก็จะได้ที่ใกล้เคียงขึ้น

สำหรับน้ำหนักคอนกรีตสด ถ้าต้องการคำนวณให้ค่าถูกต้องจริงๆ จะหาได้จะสมการข้างล่างนี้

$$U_M = 10G_a(100 - A) + C_m(1 - G_a/G_c) - W_m(G_a - 1) \qquad (3.2)$$

ที่ซึ่ง

U_M = น้ำหนักคอนกรีตสด, กก./ลบ.ม.

G_a = ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของมวลรวมคละ (หยาบ+ละเอียด)

G_c = ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ (ทั่วไปเท่ากับ

A = ปริมาณอากาศ, %

W_m = ปริมาณน้ำที่ต้องการมำหรับผสมคอนกรีต,กก./ลบ.ม.

C_m = ปริมาณซีเมนต์,กก./ลบ.

ตารางที่ 3.1 ค่ายุบตัวสำหรับงานประเภทต่างๆ

ประเภทงาน	ค่ายุบตัว,ซม	
	สูงสุด*	ต่ำสุด
ฐานราก ค.ส.ล.	5	2
ฐานรากคอนกรีตล้วน,เคซอง และผนังกันดิน	6	2
คานและกำแพง ค.ส.ล.	10	2
เสา ค.ส.ล.	10	2
แผ่นพื้นและถนน	6	2
คอนกรีตขนาดใหญ่	6	2

*อาจเพิ่มค่ายุบตัวไปอีก 3 ซม. หากใช้กรรมวิธีอื่นทำให้คอนกรีตแน่น นอกจากวิธีตามปรกติ

ตารางที่ 3.2 ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต

ค่ายุบตัวของคอนกรีต ซม.	ปริมาณน้ำ,กก./ลบ.ม. สำหรับคอนกรีตที่มีมวลรวมคละขนาดโตสุดเป็น มม.							
	10	12.5	20	25	40	50	70	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตธรรมดา								
3 ถึง 5	205	200	185	180	150	155	145	125
8 ถึง 10	225	215	200	195	175	175	160	140
15 ถึง 18	240	230	210	205	185	185	170	-
ปริมาณอากาศที่เกิดในคอนกรีตธรรมดา,%	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ								
3 ถึง 5	180	175	165	150	145	140	135	120
8 ถึง 10	200	190	180	175	160	153	150	135
15 ถึง 18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณอากาศที่ควรให้มี,%	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

ตารางที่ 3.3 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคอนกรีตกับอัตราส่วนของน้ำ-ซีเมนต์

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

*กำลังคอนกรีต คิดจากตัวอย่างทรงกระบอกขนาด Ø 15 x 30 ซม. บ่มชื้นจนได้อายุ 28 วัน ที่อุณหภูมิ 23 $\pm$ 1.7°C ถ้าเทียบกับตัวอย่างลูกบาศก์ค่าจะสูงกว่าประมาณ 20%

ตารางที่ 3.3 (ข) อัตราส่วนน้ำ – ซีเมนต์ที่ยอมให้สำหรับงานภายใต้สภาวะพิเศษ

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกชื้นตลอดเวลาหรือทนต่ออากาศหนาว	คอนกรีตสัมผัสน้ำทะเลหรือซัลเฟต
ชิ้นส่วนเล็กๆอาทิ ราว , ขอบกั้น, บัวหรือหน้าตัด ที่มีระยะหุ้มต่ำกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างทั่วไป	0.50	0.45*

*ควรใช้คอนกรีตชนิดสารกระจายฟองอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร

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

ค่าแห่งความละเอียดของทราย = ผลรวมของสัดส่วนสะสมที่ค้างบนตะแกรงขนาด 0.149,0.297,0.593,1.78,2.38 และ 4.76 มม.

ตารางที่ 3.5 น้ำหนักคอนกรีตสด

ขนาดโตสุดของหินที่ใช้ มม.	น้ำหนักคอนกรีตสด,กก./ม^3.	
	คอนกรีตธรรมดา	คอนกรีตกระจายฟองอากาศ
10	2285	2180
12.5	2318	2235
20	2355	2280
25	2375	2315
40	2420	2355
50	2445	2375
70	2485	2400
150	2506	2435

สำหรับวิธีปริมาตร เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาปริมาตรของมวลรวมละเอียดที่ได้ค่าแน่นอน ซึ่งย่อมเกี่ยวข้องกับปริมาตรส่วนผสมต่างๆ ที่อยู่ในคอนกรีต ในที่นี้คือ น้ำ,อากาศ,ซีเมนต์ และมวลรวมหยาบ นำปริมาตรเหล่านี้ไปหักออกจากปริมาตรของคอนกรีต ก็จะได้ปริมาตรของมวลรวมละเอียด ปริมาตรของวัสดุต่างๆ ที่อยู่ในคอนกรีต อาจหาได้โดยเอาน้ำหนักหารด้วยความหนาแน่นของตัวมันเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 8 การปรับค่าสำหรับความชื้นในมวลรวมคละ : ปริมาณของมวลรวมคละที่ได้จากการชั่งน้ำหนักนั้น จะต้องอยู่ในขอบข่ายของความชื้นที่ยอมให้ได้ในมวลรวมคละ โดยทั่วไปมวลรวมคละจะต้องมีความชื้น โดยจะมีเปอร์เซนต์ของน้ำที่ถูกซึมเคลือบผิวอยู่ ดังนั้น ปริมาณน้ำที่จะใส่เข้าไปผสมจะต้องลดลงตามจำนวนของความชื้นในมวลรวมคละ

3.1.2 การทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ (Text for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates) ASTM : C 136 – 93

(1) วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาขนาดของมวลรวมคละ โดยใช้ตะแกรงมาตรฐานสำหรับหาค่าพิกัดความละเอียด (Fineness modulus) ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของอนุภาคในมวลรวมที่กำหนดให้ นั่นคือ มวลรวมยิ่งหยาบค่าพิกัดความละเอียดก็ยิ่งสูงขึ้น

(2) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. มวลรวมละเอียด คือ ทรายจำนวนตามหมายเหตุ ก. (ควรเป็นน้ำหนักของทรายแห้ง)
2. มวลรวมหยาบ คือ หินหรือกรวด จำนวนตามหมายเหตุ ข.
3. ตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4 หรือ 3/16”, 8”,16”, 30,50,และ 100 สำหรับทราย
4. ตะแกรงมาตรฐานขนาด 3”,2 ½”,2”,1 ½”1”,3/4”,1/2”,3/8” และ No.4 สำหรับหินหรือกรวด
5. เครื่องเขย่าตะแกรง ชนิดมอเตอร์หรือมือหมุน สำหรับ
6. เครื่องเขย่าตะแกรง ชนิดมอเตอร์ สำหรับหินหรือกรวด
7. ตาชั่งขนาดใหญ่ วัดได้ละเอียดถึง 0.1%
8. เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ

หมายเหตุ ปริมาณมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดลอง

1. ทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 มากกว่า 95% จำนวน 100 กรัม
2. ทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่า 85% และค้างบนตะแกรงเบอร์ 8 ไม่ต่ำกว่า 5% จำนวน 500 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ปริมาณมวลรวมหยาบ ที่ใช้ในการทดลอง

ขนาดโตสุดที่ผ่านตะแกรง	น้ำหนักอย่างน้อย (กรัม)
3/8"	1000
1/2"	2000
3/4"	5000
1"	10000
1 ½"	15000

(3) ขั้นตอนการทดสอบ

ก) การหาส่วนขนาดคละขนาดทราย

1. เตรียมทรายสำหรับทดสอบตรวจดูก่อนว่าชื้นหรือไม่ ปรกติควรเป็นทรายที่แห้งหากชื้นเกินไปควรอบเสียก่อน

2. เตรียมชุดของตะแกรงด้วยการทำความสะอาด ไม่ให้มีเศษฝุ่นผงค้างอยู่ภายในช่องชั่งน้ำหนักตะแกรงทุกขนาดและบันทึกไว้ พร้อมกับจัดเรียงซ้อนตามลำดับพร้อมถาดรองอยู่ด้านล่างสุด

3. ค่อยๆเททรายที่เตรียมพร้อมไว้แล้วลงในชุดตะแกรง ปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่า จับเวลาประมาณ 10 นาที

4. ถึงขนาดนี้ทรายที่มีเม็ดขนาดต่างๆ จะถูกแยกแยะไปอยู่ในตะแกรงขนาดต่างๆ เช่นกัน ให้นำตะแกรงที่มีทรายค้างอยู่นั้นไปชั่งและจดบันทึกไว้อีกครั้งหนึ่ง แล้วคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดต่อไป

ข) การหาส่วนขนาดคละของหิน

1. เตรียมหินสำหรับทดลอง หากเป็นหินขนาดเล็กคือมีขนาดโตสุดไม่เกิน 1" ให้ใช้ประมาณ 5 กก. แต่หากเป็นหินขนาดใหญ่ควรใช้ประมาณ 20 กก.

2. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองของทราย ตั้งแต่ข้อ 2-4

หมายเหตุ

1. ค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวม จะหาได้จากผลรวมของอัตราที่ค้างอยู่บนตะแกรงทั้งหมด หารด้วย 100

$$(\text{Sand})\ \text{F.M.} = \frac{\text{Cumulative \% retained}}{100} \qquad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{(Coarse) F.M.} = \frac{\text{Cumulative \% retained(including No.4)} + 500}{100} \quad (3.4)$$

2. ทรายทั่วไปแบ่งเป็นทรายละเอียดมาก ทรายละเอียดและทรายหยาบ แต่ละชนิดมีค่าพิกัดความละเอียดแตกต่างกัน ดังนี้

ทรายละเอียดมาก ค่าF.M. = 0.50-1.50

ทรายละเอียด ค่าF.M. = 1.50-2.50

ทรายหยาบ ค่าF.M. = 2.50-3.50

สำหรับทรายที่ใช้ในงานคอนกรีตควรมีค่าความละเอียดระหว่าง 2.3-3.1

3. หินหรือกรวดที่ใช้ในงานคอนกรีต ควรมีค่าความละเอียดอยู่ระหว่าง 5.5-8.0

4. ในการทำ Mixed Design จะใช้ค่า F.M. ของทรายเป็นหลัก เนื่องจากผลทาง Workability ทรายที่มีความละเอียดมาก (F.M. ต่ำ) จะทำงานได้ดีกว่า ค่า F.M. ของทรายที่ใช้จริงๆ จะต้องไม่ต่างจากที่กำหนดใน Mixed Design เกินกว่า 0.2 เพราะจะทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับ F.M. ของกรวดและหินไม่ใช้ใน Mixed Design

5. นอกจากนี้ ยังสามารถตรวจสอบการเรียงตัวของมวลรวมว่า เหมาะสมหรือไม่จากการพล็อตกราฟของ grading curve และเทียบกับเส้นกราฟที่ได้จากตารางแสดงมาตรฐานข้างล่าง

ตารางที่ 3.7 (ก) มาตรฐานส่วนคละของมวลรวมสำหรับมวลรวมละเอียด (ทราย)

ขนาดตะแกรง	ค่าอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง
3/8” (9.5 mm.)	100
No. 4 (4.75 mm.)	95-100
No. 8 (2.36 mm.)	80-100
No. 16 (1.18 mm.)	50-100
No. 30 (600 µm)	26-100
No. 50 (300 µm)	10-30
No. 100 (150 µm)	2-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 (ข) มาตรฐานส่วนคละของมวลรวมสำหรับมวลรวมหยาบ (หินหรือกรวด)

ขนาดตะแกรง ขนาดของมวลรวมหยาบ	ค่าอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง						
	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.10
1 ½"	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

ตารางที่ 3.8 (ก) ตัวอย่างการคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวมหยาบ

	Sieve Size	Weight Retained (g)	Amount Retained (wt.%)	Cumulative Amount Retained (%)	Cumulative Amount Passing (%)
Coarse fraction	3"	0	0	0	100
	1 ½"	42	4	4	96
	¾"	391	39	43	57
	3/8"	350	35	78	22
	No.4	200	20	98	2
	Sample wt. = 1000g (No.8 to No.100) Nominal Maximum size = 1 ½ in Fineness modulus = 723/100 = 7.23			∑ = 223 + 500 (from fine sieves) ∑ = 723	

ตารางที่ 3.8 (ข) ตัวอย่างการคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวมละเอียด

	Sieve Size	Weight Retained (g)	Amount Retained (wt.%)	Cumulative Amount Retained (%)	Cumulative Amount Passing (%)
Fine fraction	No. 4	6	2	2	98
	No. 8	31	10.1	12	88
	No. 16	30	9.8	22	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fine fraction	No. 30	59	19.2	41	59
	No. 50	107	34.9	76	24
	No. 100	53	17.3	93	7
	<No. 100	21	6.8	-	-
	Sample wt. = 307 g				∑ = 246
	Fineness modulus = 246/100 = 2.46				

ตารางที่ 3.9 ตารางบันทึกผลการทดสอบค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวม

CONCRETE TECHNOLOGY LABORATORY

SIEVE ANALYSIS

PROJECT : ..... SAMPLE TYPE .....

DESCRIPTION : .....

TESTED BY : ..... TEXT DATE .....

DRY WEIGHT OF ORIGINAL SANPLE .....gm.

SIEVE NO.	SIEVE OPENING (mm.)	WT. SIEVE (gm.)	WT. SIEVE + SAMPLE (gm.)	WT.SAMPLE RETAINED (gm.)	PERCENT RETAINED	CUMULATIVE PERCENT RETAINED	PERCENT FINER OR PASSING
½"							
1"							
¾"							
½"							
3/8"							
No. 4							
No. 8							
No. 16							
No. 30							
No. 50							
No. 100							
PAN							

ERROR (ORIGINAL WT.-TOTAL WT.RETAINED) = ...gm. PERCENT ERROR = ...

FINENESS MODULUS = TOTAL OF CUMULATIVE PERCENT RETAINED/100 = ...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม (Test for Unit Weight and Voids in Aggregate) ASTM : C 29M – 91a

(1) วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาน้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร ทั้งในสภาพที่อัดตัวแน่นและหลวมตัวไม่ว่าจะเป็นทราย หิน หรือมวลรวมผสมก็ตาม ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

(2) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. มวลรวมอาทิ ทราย หินและกรวดเตรียมไว้ประมาณ 125-200 % ของจำนวนที่ต้องการใส่ภาชนะ นำไปอบภายใต้อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5°C

2. ตาชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 % ของน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ

3. เหล็กกระทุ้ง เป็นแท่งเหล็กกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาวประมาณ 60 ซม. มีปลายด้านกระทุ้งมนเป็นลักษณะครึ่งวงกลม

4. ภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก อาจเป็นภาชนะโลหะรูปทรงกระบอกผิวเรียบ ควรมีมือจับทั้งสองข้าง ขนาดของภาชนะต้องเป็นไปตามตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 3.10 ขนาดของภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก

ปริมาตร (ลิตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (มม.)	ความสูงภายใน (มม.)	ความหนาน้อยสุด		ขนาดโตสุดของมวลรวม (มม.)
			ก้นภาชนะ (มม.)	ผนังข้าง (มม.)	
3	155 $\pm$ 2	160 $\pm$ 2	5.0	2.5	12.5
10	205 $\pm$ 2	305 $\pm$ 2	5.0	2.5	25.0
15	255 $\pm$ 2	295 $\pm$ 2	5.0	3.0	37.5
30	355 $\pm$ 2	305 $\pm$ 2	5.0	3.0	100.0

(3) ขั้นตอนการทดสอบ

ก) การหาหน่วยน้ำหนักของน้ำ

1. เติมน้ำใส่ภาชนะให้เต็มและทำให้ไม่มีฟองอากาศอยู่เลย พร้อมปิดฝาด้วยแผ่นกระจกใส

2. วัดอุณหภูมิของน้ำ เพื่อนำไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนัก โดยเทียบจากตารางแสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หาค่าแฟกเตอร์(ความจุ)ของภาชนะ โดยการหารหน่วยน้ำหนักของน้ำในภาชนะด้วยหน่วยน้ำหนักน้ำ

ตารางที่ 3.11 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ

อุณหภูมิ		กก./ลบ.ม.	ปอนด์/ลบ.ฟ.
°F	°C		
60	15.6	999.01	62.366
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

ข) การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักเมื่อมวลรวมอัดตัวแน่น

1. โดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง (Rodding procedure) วิธีเหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 37.5 มม. (1 ½”)

1.1 เทมวลรวมที่จะทดสอบลงในภาชนะที่ชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ให้แต่ละส่วนหนาประมาณ 1/3 ของความสูงของภาชนะ เกลี่ยผิวหน้าให้เรียบ และใช้เหล็กกระทุ้งๆ ให้เกือบถึงด้านล่าง โดยแผ่กระจายให้ทั่วผิวหน้ารวม 25 ครั้ง จากนั้นเติมมวลรวมลงไปอีกเป็นชั้นที่สอง ทำการกระทุ้งเช่นเดียวกันและเติมลงไปอีกเป็นชั้นสุดท้าย กระทุ้งอีก 25 ครั้ง เสร็จแล้วให้ปาดผิวหน้าของมวลรวมให้เรียบเสมอกับแนวขอบบนของภาชนะอย่าให้บุ๋มหรือโปนเป็นอันขาด

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

2. โดยวิธีกระแทกภาชนะ (Jigging procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตเกินกว่า 37.5 มม. แต่ไม่เกิน 150 มม. (6”)

2.1 แบ่งเทมวลรวมใส่ภาชนะเป็น 3 ชั้น เช่นเดียวกับวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง แต่วิธีนี้ภาชนะควรถูกนำมาวางบนพื้นที่แข็ง เช่น พื้นคอนกรีต เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเมื่อเทมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละชั้นแล้วให้เอียงภาชนะ เพื่อให้ด้านตรงข้ามสูงขึ้นจากพื้นประมาณ 50 มม. และปล่อยให้ตกลงกระแทกพื้น เป็นจำนวน 25 ครั้ง เสร็จแล้วเอียงกลับมาอีกด้านหนึ่งเพื่อให้ด้านที่ติดพื้นตอนแรกนั้นยกลอยขึ้นมา 50 มม. บ้าง และปล่อยให้ตกกระทบพื้นอีก 25 ครั้งเช่นเดียวกัน ทำเช่นนี้ทั้ง 3 ชั้น จึงปาดผิวหน้ามวลรวมให้เรียบไม่ให้ปูดหรือบุ๋มแล้วนำไปชั่ง

2.2 เมื่อได้น้ำหนักที่แท้ของมวลรวมแล้ว คูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ ก) ก็จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่นเช่นเดียวกัน

ค) การหาค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

1. แฟคเตอร์หรือความจุของภาชนะ หาได้จากสมการ

$$V = \frac{W_W}{R_W} \qquad (3.5)$$

โดยที่

V = ความจุภาชนะ, ลบ.ม.

W_W = น้ำหนักของน้ำในภาชนะ, กก.

R_W = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน, กก/ลบ.ม.

2. หน่วยน้ำหนักของมวลรวม หาได้จากสมการ

$$R_a = \frac{W_a}{V} \qquad (3.6)$$

โดยที่

R_a = หน่วยน้ำหนักของมวลรวม, กก./ลบ.ม.

W_a = น้ำหนักสุทธิของมวลรวม, กก.

V = ความจุของภาชนะ, ลบ.ม.

ง) การหาค่าปริมาณช่องว่าง (Void Content) โดยอาศัยค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวม ที่คำนวณได้จากข้อ ค) และนำมาหาค่าปริมาณช่องว่างได้จากสมการ

$$\% \text{ ของช่องว่าง} = 100[(S \times R_W) - R_a]/(S \times R_W) \qquad (3.7)$$

โดยที่

S = ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม

R_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิ 18.3 °C

– 998 กก./ลบ.ม.

R_a = หน่วยน้ำหนักของมวลรวม, กก./ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.12 ตารางบันทึกผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

CONCRETE TECHNOLOGY LABORATORY

UNIT WEIGHT OF AGGREGATE

Project: ..... Sample Type: .....

Description: .....

Tested by..... Test date.....

Trial No	1	2
1. Volume of Container (m^3.),V		
2. Wt. of Sample + Container (kg),w		
3. Wt. of Container (kg),w_1		
4. Wt. of Sample (kg), w-w_1		
5. Unit weight w-w_1/V (kg. / m^3.)		
6. Average unit weight		
7. Void Content, %		
8. Average void Content, %		

3.1.4 การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ (Test fot Specific Gravity and Absorbtion of Coarse Aggregates) ASTM : C12793

(1) วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึมของมวลรวมหยาบ เพื่อประโยชน์ในการออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต วิธีนี้เรียกว่า Suspension Method

(2) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มวลรวมหยาบประมาณ 5 กก. สำหรับขนาดโตไม่เกิน 1½" และประมาณ 8-10 กก. สำหรับขนาดโตกว่า 2"
2. ตะกร้าลวดตะข่าย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 ซม. และสูงประมาณ 70 ซม. สามารถใส่มวลรวมได้ประมาณ 5 กก.
3. เตาอบ
4. ตาชั่งขนาดใหญ่
5. ถังบรรจุน้ำสะอาด
6. โถแก้วกันความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมวัสดุที่จะนำมาทำการทดลอง ด้วยการล้างให้ทั่วถึงเพื่อให้ฝุ่นผงหรือเศษวัสดุอื่นๆ ที่ติดอยู่กับผิวหลุดออกจนหมด และนำไปทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 110±5°C และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1-3 ชม.

2. จากนั้นให้แช่วัสดุในน้ำสะอาดเป็นเวลาประมาณ 24±4 ชั่วโมง

3. นำวัสดุขึ้นจากน้ำเมื่อครบเวลา เทลงผืนผ้าใหญ่ๆ ที่สามารถดูดซับน้ำได้ กลิ้งวัสดุไปมาเพื่อให้ผ้าซับน้ำจนสังเกตด้วยตาเปล่าไม่เห็นมีน้ำอยู่ที่ผิววัสดุ แม้ว่าที่จริงแล้วผิวยังชื้นอยู่ก็ตาม หรือถ้าวัสดุมีขนาดใหญ่มากก็อาจจะเช็ดทีละก้อนก็ได้ แต่ต้องระวังไม่ให้เกิดการระเหยหายไปของน้ำขณะอยู่ในขั้นตอนนี้

4. วัสดุที่จบขั้นตอนที่ 3 นี้จะเรียกว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ให้นำตัวอย่างวัสดุนี้ชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกไว้แล้วรีบใส่ลงในตะกร้าลวดและทำการชั่งวัสดุนี้ในน้ำทันทีและบันทึกค่าไว้เช่นกัน (อุณหภูมิของน้ำควรอยู่ระหว่าง 23±1.7°C)

5. หลังจากนั้นนำวัสดุเข้าเตาอบด้วยอุณหภูมิระหว่าง 110±5°C ประมาณ 1 ชม. แล้วจึงนำมาใส่โถแก้วกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปกติอีกประมาณ 1-3 ชม. หรือเย็นพอที่จะสัมผัสได้ จึงชั่งน้ำหนักอีกหนึ่งครั้ง

6. จากนั้นให้นำค่าต่างๆ มาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ)} = \frac{A}{B-C} \quad (3.8)$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)} = \frac{B}{B-C} \quad (3.9)$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (เมื่อวัสดุแห้งสนิท)} = \frac{A}{A-C} \quad (3.10)$$

$$\text{อัตราการดูดซึม,\%} = \frac{B-A}{A} \times 100\% \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศหลังจากผ่านการอบแห้งสนิทแล้ว

B = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

C = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในน้ำ

ตารางที่ 3.13 ตารางบันทึกผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

CONCRETE TECHNOLOGY LABORATORY SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF COARSE AGGREGATE PROJECT :.....SAMPLE TYPE ..... DESCRIPTION :..... TESTED BY :.....TEST DATE:.....			
DETERMINATION NO.			
CONTAINER NO.			
WT. CONTAINER + SAT. SURF.DRY AGGREGATE ,gm.			
WT. CONTAINER + DRY AGGREGATE ,gm.			
WT. CONTAINER ,gm.			
WT. SAT.SURF.DRY AGGREGATE (B) ,gm.			
WT. DRY AGGREGATE (A) ,gm.			
WT. SAT.AGGREGATE IN WETER (C) ,gm.			
BULK SPECIFIC GRAVITY , (OVEN DRY BASIS), A/(B-C)			
BULK SPECIFIC GRAVITY , (SAT.SURF.DRY BASIS), B/(B-C)			
APPARENT SPECIFIC GRAVITY , A/(A-B)			
PERCENT ABSORPTION , [(B-A)/A]×100%			

3.1.5 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด (Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate) ASTM: C 128-93

(1) วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึมของมวลรวมละเอียด เช่น ทรายภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง นอกจากนี้หินหรือกรวดที่มีขนาดเล็กไม่เกิน ¾” ก็สามารถใช้วิธีนี้ทดสอบได้เช่นกัน

(2) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ทรายประมาณ 1200-1500 กรัม ที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พิคโนมิเตอร์ (Pycnometer) ซึ่งประกอบด้วยขวดโหลแห้งสำหรับบรรจุขนาด 1 ควัอต ที่มีฝาแก้วปิดในแนวราบสนิทแน่นกับปากขวด

3. ตาชั่งวัดละเอียดถึง 0.1 กรัม

4. เครื่องวัดอุณหภูมิ

5. เตาอบ

6. โถแก้วกันความชื้น

(3) ขั้นตอนการทดสอบ

1. แบ่งทรายที่เตรียมไว้เป็นสองส่วนเท่าๆกัน ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า แทนด้วย B

2. นำทรายอีกส่วนหนึ่งเข้าเตาอบใช้แห้งสนิทประมาณ 1 ชม. แล้วจึงนำมาใส่ในโถกันความชื้น เพื่อทิ้งให้ตัวอย่างเย็นลงตามปกติ จึงนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า แทนด้วย A

3. เทน้ำที่ทราบอุณหภูมิลงในขวดพิคโนมิเตอร์ให้สูงประมาณ ¾ ของขวด นำทรายส่วน B เติมลงไป เขย่าหรือคนให้ทั่วเพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด จากนั้นจึงเติมน้ำลงไปให้เต็มพอดีปากขวดพร้อมกับทำให้ไม่มีอากาศเหลืออยู่เลยเช่นเดียวกัน แล้วจึงปิดฝาแก้ว นำไปชั่ง และบันทึกค่า แทนด้วย W

4. จากนั้นจึงนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะ(เมื่อวัสดุแห้งสนิท) $= \dfrac{A}{W_C + B - W}$ (3.12)

ความถ่วงจำเพาะ(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวแห้ง) $= \dfrac{B}{W_C + B - W}$ (3.13)

อัตราการดูดซึม $= \dfrac{B - A}{A} \times 100\%$ (3.14)

โดยที่

A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งหลังจากผ่านการอบแห้งสนิท

B = น้ำหนักมวลรวมภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

W_C = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำชนิดเดียวกับที่ใช้ทดสอบเต็มปากขวด

W = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำและมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.14 ตารางบันทึกผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด

CONCRETE TECHNOLOGY LABORATORY

SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF FINE AGGREGATE

PROJECT :.....SAMPLE TYPE :.....

DESCRIPTION :.....

TESTED BY :.....TEST ATG:.....

DETERMINATION NO.			
WT. SAND (SAT.SURF.DRY) (B) ,gm.			
WT. FLASK + SAND (SAT.SURF.DRY) + WATER (W_C) ,gm.			
WT. BOWL ,gm.			
WT. BOWL + DRY SAND ,gm.			
WT. DRY SAND (D) ,gm.			
WT. FLASK + WATER (W) ,gm.			
BULK SPECIFIC GRAVITY , $A/(B+W-W_C)$			
BULK SPECIFIC GRAVITY , (SAT.SURF.DRY) , $B/(B+W-W_C)$			
APPARENT SPECIFIC GRAVITY , $A/(W+A-W_C)$			
PERCENT ABSORPTION (%) , $(B-A)\times100/A$			

3.1.6 การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม (Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying) ASTM : C 566 – 89)

(1) วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาอัตราของความชื้นทั้งหมดที่มีอยู่ในมวลรวม โดยการทำให้มวลรวมแห้งด้วยการเผา ซึ่งจะทำให้ได้น้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมสำหรับชั่งผสมคอนกรีต

(2) วัสดุและอุปกรณ์

1. มวลรวม ใช้ประมาณ 2-6 กก. สำหรับมวลรวมหยาบ และประมาณ 0.5-1.5 กก. สำหรับมวลรวมละเอียด
2. ตาชั่ง ที่วัดละเอียดถึง 0.1 %
3. เตาเผา
4. ภาชนะบรรจุตัวอย่าง เช่น ปี๊ป
5. แท่งเหล็กสำหรับคนมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ขั้นตอนการทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมชื้นที่จะนำมาทดสอบ แล้วเทลงในภาชนะบรรจุนำไปใส่หรือวางบนเตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สม่ำเสมอ ใช้แท่งเหล็กคนมวลรวมเป็นระยะๆเพื่อให้มวลรวมทุกก้อนได้รับความร้อนทั่วถึงกัน

2. เมื่อมวลรวมแห้งสนิทดีแล้ว นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

3. ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวมจะหาได้จากสูตร

$$P = \frac{100(W - D)}{D} \qquad (3.15)$$

โดยที่

P = ปริมาณความชื้น ,%

W = น้ำหนักมวลรวมก่อนเผา

D = น้ำหนักมวลรวมแห้งหลังเผา

ส่วนปริมาณความชื้นที่ผิวของมวลรวม จะหาได้จากค่าแตกต่างระหว่างปริมาณความชื้นรวม กับอัตราการดูดซึมของมวลรวมนั่นเอง

ตารางที่ 3.15 แสดงค่าใกล้เคียงของปริมาณความชื้นที่ผิวของมวลรวม

สภาพของมวลรวม	ปริมาณความชื้น , %
กรวดหรือหินชั้น	1.5 – 2
ทรายเปียกมาก	5 – 8
ทรายเปียกธรรมดา	2 – 4
ทรายชื้น	0.5 -2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.16 ตารางบันทึกผลการทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม

CONCRETE TECHNOLOGY LABORATORY

TOTAL MOITURE CONTENT OF AGGREGATE BY DRYING

PROJECT : .....SAMPLE TYPE :.....

DESCRIPTION :.....

TESTED BY :.....TEST DATE :.....

TRIAL NO.	1	2
1. WT.OF SAMPLE BEFORE DRYING (kg.)		
2. WT.OF SAMPLE AFTER DRYING (kg.)		
3. MOISTURE CONTENT ; , %		
4. AVERAGE MOISTURE CONTENT , %		

3.1.7 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Text for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen) ASTM : C 39 – 93a

(1) วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่างๆกัน โดยการใส่แรงอัดโดยตรงกับแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM

(2) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. คอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบ
2. เครื่องมีทดสอบกำลังอัด
3. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก ทำด้วยโลหะที่ซีเมนต์ไม่เกาะติดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์ 6” และ 12”
4. เครื่องชั่งขนาดใหญ่
5. เครื่องมือวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง
6. เครื่องหล่อหมวก (Capped) หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

(3) ขั้นตอนการทดสอบ

ก) การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้ฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวอย่างให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุด ขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

ข) การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ๆ

2. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ

3. ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉยๆ ประมาณ 24 ชม. จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่มโดยแช่ในถังบ่มจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบและควรทดสอบก่อนตัวอย่างจะแห้งสนิท ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ1ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

ค) การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีตให้ทดสอบโดยเร็วที่สุด หลังจากนำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ก่อนการทดสอบควรตรวจสอบระนาบหัวท้ายของแท่งคอนกรีตว่าแบนราบหรือไม่ ระนาบดังกล่าวไม่ควรเอียงมากกว่า 0.5° (หรือประมาณ 3 มม. ใน 300 มม.) หากไม่อยู่ภายในเขตดังกล่าว ให้ทำการหล่อหมวกหัวท้ายเสียก่อน โดยปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM C 617-84 สำหรับระยะเส้นผ่านศูนย์กลางที่จะนำมาใช้คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดให้ใช้ค่าเฉลี่ย จากการวัดสองแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน ที่ตำแหน่งกึ่งกลางแท่งทดสอบ

ง) การคำนวณ

ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีต จะหาได้จากสูตร

$$f_c = \frac{P}{A} \qquad (3.16)$$

โดยที่

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

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง, กก.

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากปรากฏว่าอัตราส่วนระหว่างความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบ ต่ำกว่า 1.8 ค่าที่ได้จากการทดสอบจะต้องคูณด้วยแฟคเตอร์เผื่อแก้ค่าให้ถูกต้องเสียก่อน จากตารางข้างล่าง

ตารางที่ 3.17 อัตราส่วนระหว่างความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางกับแฟคเตอร์เผื่อแก้ค่า

L/D	1.75	1.5	1.25	1.00
แฟคเตอร์แก้ค่า	0.98	0.96	0.93	0.87

ตารางที่ 3.18 ตารางบันทึกผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

CONCRETE TECHNOLOGY LABORATORY

COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

PROJECT :.....SAMPLE TYPE :.....

DESCRIPTION :.....

TESTED BY :.....TEST DATE:.....

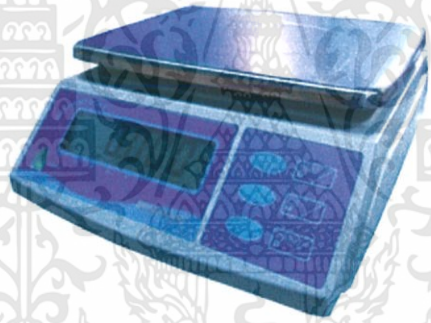
ROOM :..... TEMPERATURE :..... $^{\circ}C$

SPECIMEN NO.				
DIAMETER (cm.) , $D_1 + \frac{D_2}{2}$				
CROSS – SECTION (cm.)				
HEIGHT (cm.)				
WEIGHT (kg)				
DENSITY (kg./$m.^3$)				
SLUMP (cm.)				
AGE (days)				
UTIMATE LOAD (kg.)				
COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)				
FAILURE CASE				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

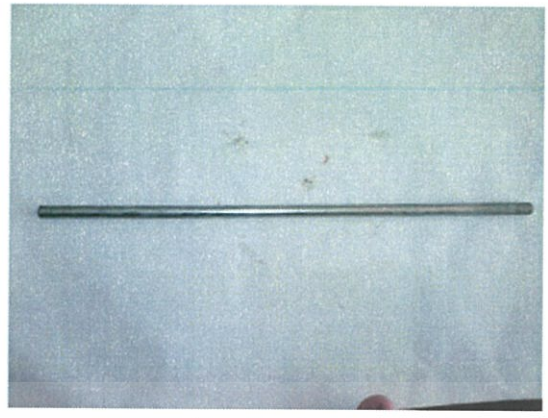
รูปที่ 3.1 เครื่องเขย่าตะแกรง ชนิดมอเตอร์สำหรับทราย



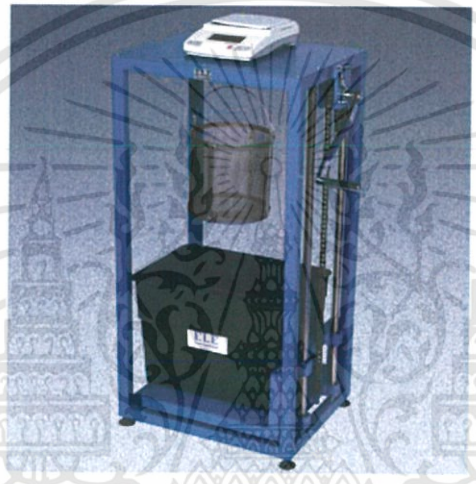
รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งดิจิตอล

รูปที่ 3.3 ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



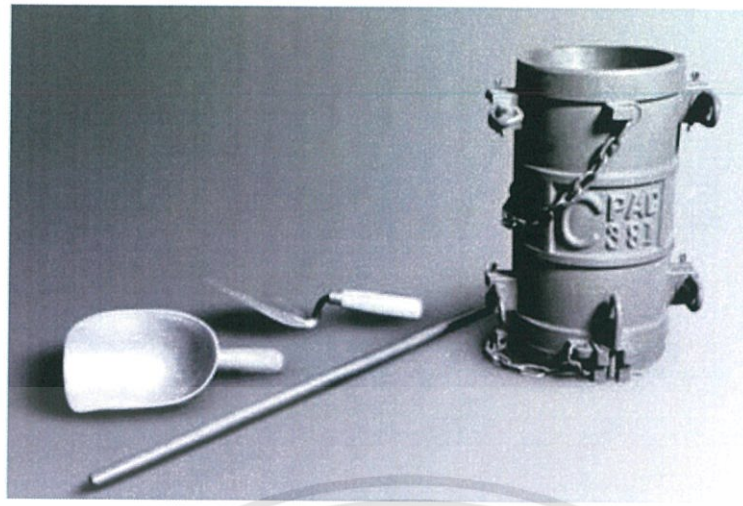
รูปที่ 3.4 เหล็กกระทุ้ง



รูปที่ 3.5 ชุดเครื่องทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของวัสดุเม็ดหยาบ

รูปที่ 3.6 ชุดการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก

รูปที่ 3.8 เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาใช้ผสมคอนกรีต

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลจากการทดลอง ซึ่งแต่ละการทดลองนั้นได้กล่าววิธีการทดลองไว้แล้วในบทที่ 3 และมีการนำข้อมูลต่างๆที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ เพื่อที่จะแปรผลข้อมูลในบทนี้ ซึ่งจากผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุพบว่า ทรายที่ใช้มีค่า Modulus ความละเอียดอยู่ที่ 2.43 และมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 0.57% ซึ่งเป็นทรายแม่น้ำ

ส่วนวัสดุที่เป็นมวลรวมหยาบนั้น แบ่งออกเป็น 5 type

โดยจะมีหลักการกำหนดชื่อดังนี้

RCA-XX = Recycled Coarse Aggregate XX0 ksc

(1) Type RCA-24 (เศษคอนกรีตคัดมาจากกำลังอัด 240 ksc)

(2) Type RCA-28 (เศษคอนกรีตคัดมาจากกำลังอัด 280 ksc)

(3) Type RCA-32 (เศษคอนกรีตคัดมาจากกำลังอัด 320 ksc)

(4) Type B (Brick , ปูนฉาบอิฐมอญไม่ได้คัดกำลังอัด)

(5) Type CR (Crushed Rock , หิน)

สามารถสรุปเป็นตารางได้ดัง ตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 สรุปค่าคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาใช้ผสมคอนกรีต

ชนิด	ความถ่วงจำเพาะ	อัตราการดูดซึม (%)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
Type RCA-24	2.12	8.32	1265
Type RCA-28	2.23	6.52	1314
Type RCA-32	2.22	7.40	1287
Type B	1.77	14.47	1064
Type CR	2.70	0.89	1491

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ผลการทดสอบค่าความละเอียดของทราย

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าความละเอียดของทราย ครั้งที่1

PROJECT : Civil Engineering SAMPLE TYPE : Sand

DESCRIPTION : ทำเพื่อหาค่า Finess Modulus ของทราย

TESTED BY : 18/11/56 DRY WEIGHT OF ORIGINAL SAMPLE: 519 gm.

SIEVE NO.	SIEVE OPENING (mm.)	WT. SIEVE (gm.)	WT. SIEVE + SAMPLE (gm.)	WT.SAMPLE RETAINED (gm.)	PERCENT RETAINED	CUMULATIVE PERCENT RETAINED	PERCENT FINER OR PASSING
½"							
1"							
¾"							
½"							
3/8"							
No. 4	9.5	460	464	4	1	1	99
No. 8	2.36	697	720	23	4	5	95
No. 16	1.18	639	703	64	12	17	83
No. 30	0.6	602	731	129	25	42	58
No. 50	0.3	574	764	190	37	79	21
No. 100	0.15	515	606	91	18	97	3
PAN		382	400	18	3	-	-
				Σ = 519	Σ = 100	Σ = 241	

FINENESS MODULUS = TOTAL OF CUMULATIVE PERCENT RETAINED/100 = 2.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบค่าความละเอียดของทราย ครั้งที่2

PROJECT : Civil Engineering SAMPLE TYPE : Sand

DESCRIPTION : ทำเพื่อหาค่า Finess Modulus ของทราย

TESTED BY : 18/11/56 DRY WEIGHT OF ORIGINAL SAMPLE: 509 gm.

SIEVE NO.	SIEVE OPENING (mm.)	WT. SIEVE (gm.)	WT. SIEVE + SAMPLE (gm.)	WT.SAMPLE RETAINED (gm.)	PERCENT RETAINED	CUMULATIVE PERCENT RETAINED	PERCENT FINER OR PASSING
½"							
1"							
¾"							
½"							
3/8"							
No. 4	9.5	460	466	6	0	0	100
No. 8	2.36	697	718	21	4	4	96
No. 16	1.18	639	700	61	12	16	84
No. 30	0.6	602	737	135	27	43	57
No. 50	0.3	574	770	196	39	82	18
No. 100	0.15	515	594	79	16	98	2
PAN		382	393	11	2	-	-
				Σ = 509	Σ = 100	Σ = 243	

FINENESS MODULUS = TOTAL OF CUMULATIVE PERCENT RETAINED/100 = 2.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่าความละเอียดของทราย ครั้งที่3

PROJECT : Civil Engineering SAMPLE TYPE : Sand

DESCRIPTION : ทำเพื่อหาค่า Finess Modulus ของทราย

TESTED BY : 18/11/56 DRY WEIGHT OF ORIGINAL SAMPLE: 576 gm.

SIEVE NO.	SIEVE OPENING (mm.)	WT. SIEVE (gm.)	WT. SIEVE + SAMPLE (gm.)	WT.SAMPLE RETAINED (gm.)	PERCENT RETAINED	CUMULATIVE PERCENT RETAINED	PERCENT FINER OR PASSING
½"							
1"							
¾"							
½"							
3/8"							
No. 4	9.5	460	471	11	2	2	98
No. 8	2.36	697	717	20	3	5	95
No. 16	1.18	639	714	75	13	18	82
No. 30	0.6	602	747	145	25	43	57
No. 50	0.3	574	789	212	37	80	20
No. 100	0.15	515	612	97	17	97	3
PAN		382	398	16	3	-	-
				Σ = 576	Σ = 100	Σ = 245	

FINENESS MODULUS = TOTAL OF CUMULATIVE PERCENT RETAINED/100 = 2.45

ดังนั้น จะได้ว่าค่าเฉลี่ยของ Fineness modulus = $\frac{2.41 + 2.43 + 2.45}{3} = 2.43$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของทราย

Project : Civil Engineering Test date : 19/11/56

Description : เพื่อหาค่าของความถ่วงจำเพาะกับค่าการดูดซึมในทราย

Temperature : 20.8 °C

เริ่มต้นโดยการเตรียมทราย ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง จำนวน 1400 g

โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

Weight (container) = 1283 g

Weight (container +sand) = 1983 g

Weight (sand) = 1983 – 1283

= 700 g

อบ 24 ชม.

Weight (container + sand)

ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว = 1979 g

น้ำหนักทรายหลังอบ = 1979 - 1283

= 696 g

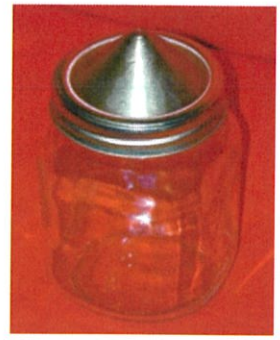
Weight (container) = 802 g

Weight (container +sand) = 1502 g

Weight (sand) = 1502 – 802

= 700 g (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ขวด pycnometer

Weight of pycnometer + น้ำเต็มปากขวด (W_c) = 1641 g

นำทราย (B) 700 g มาใส่ในขวด pycnometer แล้วใส่น้ำ

จนเต็มปากขวด แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W) = 2072 g

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{A}{W_c + B - W} = \frac{696}{1641 + 700 - 2072} = 2.59$$

(เมื่อวัสดุแห้งสนิท)

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{B}{W_c + B - W} = \frac{700}{1641 + 700 - 2072} = 2.60$$

(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

$$\text{อัตราการดูดซึม} = \frac{B - A}{A} \times 100\ \% = \frac{700 - 696}{696} \times 100 = 0.57\%$$

4.1.3 หาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบใน type ต่างๆ

Project : Civil Engineering Test date : 20/11/56

Description : เพื่อหาค่าของความถ่วงจำเพาะกับค่าการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

(1) Aggregate Type RCA-24

WT. container = 2039 g

WT. container + aggregate (Type RCA-24) ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 7049 g

ดังนั้น ค่า B = 7049 – 2039 = 5010 g

WT. aggregate (Type RCA-24) ในน้ำ ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (C) = 2910 – 80 = 2830 g

WT. container + aggregate (หลังอบแล้ว) = 6664 g

ดังนั้น ค่า A = 6664 – 2039 = 4625 g

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม} = \frac{A}{B - C} = \frac{4625}{5010 - 2830} = 2.12$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{B}{B-C} = \frac{5010}{5010 - 2830} = 2.30$

(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{A}{A-C} = \frac{4625}{4625 - 2830} = 2.58$

(เมื่อวัสดุแห้งสนิท)

อัตราการดูดซึม (%) $= \frac{B-A}{A} \times 100\% = \frac{5010-4625}{4625} \times 100 = 8.32\%$

(2) Aggregate Type RCA-28

WT. container = 2020 g

WT. container + aggregate (Type RCA-28) ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 7425 g

ดังนั้น ค่า B = 7425 – 2020 = 5405 g

WT. aggregate (Type RCA-28) ในน้ำ ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (C) = 3210 – 80 = 3130 g

WT. container + aggregate (หลังอบแล้ว) = 7094 g

ดังนั้น ค่า A = 7094 - 2020 = 5074 g

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{A}{B-C} = \frac{5074}{5405-3130} = 2.23$

(ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{B}{B-C} = \frac{5405}{5405-3130} = 2.38$

(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{A}{A-C} = \frac{5074}{5074-3130} = 2.61$

(เมื่อวัสดุแห้งสนิท)

อัตราการดูดซึม (%) $= \frac{B-A}{A} \times 100\% = \frac{5405-5074}{5074} \times 100 = 6.52\%$

(3) Aggregate Type RCA-32

WT. container = 308 g

WT. container + aggregate (Type RCA-32) ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 5343 g

ดังนั้น ค่า B = 5343 – 308 = 5035 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WT. aggregate (Type RCA-32) ในน้ำ ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (C) = 3000 – 80 = 2920 g

WT. container + aggregate (หลังอบแล้ว) = 4996 g

ดังนั้น ค่า A = 4996 - 308 = 4688 g

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{A}{B-C} = \frac{4688}{5035-2920} = 2.22$

(ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{B}{B-C} = \frac{5035}{5035-2920} = 2.38$

(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{A}{A-C} = \frac{4688}{4688-2920} = 2.65$

(เมื่อวัสดุแห้งสนิท)

อัตราการดูดซึม (%) $= \frac{B-A}{A} \times 100\% = \frac{5035-4688}{4688} \times 100 = 7.40\%$

(4) Aggregate Type B

WT. container = 877 g

WT. container + aggregate (Type B) ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 6992 g

ดังนั้น ค่า B = 6992 – 877 = 6115 g

WT. aggregate (Type B) ในน้ำ ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (C) = 3180 – 80 = 3100 g

WT. container + aggregate (หลังอบแล้ว) = 6219 g

ดังนั้น ค่า A = 6219 - 877 = 5342 g

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{A}{B-C} = \frac{5342}{6115-3100} = 1.77$

(ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{B}{B-C} = \frac{6115}{6115-3100} = 2.03$

(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{A}{A-C} = \frac{5342}{5342-3100} = 2.38$

(เมื่อวัสดุแห้งสนิท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการดูดซึม (%) $= \frac{B-A}{A} \times 100\% = \frac{6115-5342}{5342} \times 100 = 14.47\%$

(5) Aggregate Type CR

WT. container = 374 g

WT. container + aggregate (Type CR) ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 5492 g

ดังนั้น ค่า B = 5492 – 374 = 5118 g

WT. aggregate (Type CR) ในน้ำ ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (C) = 3320 – 80 = 3240 g

WT. container + aggregate (หลังอบแล้ว) = 5447 g

ดังนั้น ค่า A = 5447 - 374 = 5073 g

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{A}{B-C} = \frac{5073}{5118-3240} = 2.70$

(ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{B}{B-C} = \frac{5118}{5118-3240} = 2.73$

(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม $= \frac{A}{A-C} = \frac{5073}{5073-3240} = 2.77$

(เมื่อวัสดุแห้งสนิท)

อัตราการดูดซึม (%) $= \frac{B-A}{A} \times 100\% = \frac{5118-5073}{5073} \times 100 = 0.89\ \%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 หาค่าหน่วยน้ำหนักโดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง

Project : Civil Engineering Test date : 21/11/56

Description : เพื่อหาค่าการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

Temperature = 20.7° C

Weight (container + น้ำ) = 15.493 g

Weight(น้ำ) = 15.493 – 5.681

= 9.812 kg

Aggregate type RCA-24

Weight (container) = 5.681 kg

Weight (container + aggregate) =18.176 kg

ดังนั้น Weight (Aggregate) = 18.176 – 5.681 = 12.495 kg

Aggregate type RCA-28

Weight (container) = 5.681 kg

Weight (container + aggregate) =18.657 kg

ดังนั้น Weight (Aggregate) = 18.657 – 5.681 = 12.976 kg

Aggregate type RCA-32

Weight (container) = 5.681 kg

Weight (container + aggregate) =18.385 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น Weight (Aggregate) = 18.385 – 5.681 = 12.704 kg

Temperature = 30.8° C

Weight (container + น้ำ) = 15.549 kg

Weight(น้ำ) = 15.549 – 5.677

= 9.872 kg

Aggregate type B

Weight (container) = 5.677 kg

Weight (container + aggregate) =16.180 kg

ดังนั้น Weight (Aggregate) = 16.180 – 5.677 = 10.503 kg

Aggregate type CR

Weight (container) = 5.677 kg

Weight (container + aggregate) =20.399 kg

ดังนั้น Weight (Aggregate) = 20.399 – 5.677 = 14.722 kg

Temperature = 20.7 °

$$\text{หน่วยน้ำหนักน้ำ} = \left(\frac{997.97 - 998.53}{21.1 - 18.3}\right)(20.7 - 18.3) + 998.53 = 998.05 \ \text{kg/m}^3$$

Temperature = 30.8 °

$$\text{หน่วยน้ำหนักน้ำ} = \left(\frac{994.10 - 995.70}{35 - 30}\right)(30.8 - 30) + 995.7 = 995.44 \ \text{kg/m}^3$$

$$\text{จาก Volume} = \frac{\text{Mass}}{\text{Density}}$$

ที่ Temperature = 20.7 ° : $\text{Volume} = \frac{9.812}{998.05} = 9.831 \times 10^{-3} \ \text{m}^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ Temperature = 30.8 ° : Volume $= \frac{9.872}{995.44} = 9.917 \times 10^{-3}\ m^3$

Volume เฉลี่ย $= \left(\frac{9.831 + 9.917}{2}\right) \times 10^{-3} = 9.874 \times 10^{-3}\ m^3$

Density dry

(1) Aggregate type RCA-24 $= \left(\frac{12.495}{9.874 \times 10^{-3}}\right) = 1265\ kg/m^3$

(2) Aggregate type RCA-28 $= \left(\frac{12.976}{9.874 \times 10^{-3}}\right) = 1314\ kg/m^3$

(3) Aggregate type RCA-32 $= \left(\frac{12.704}{9.874 \times 10^{-3}}\right) = 1287\ kg/m^3$

(4) Aggregate type B $= \left(\frac{10.503}{9.874 \times 10^{-3}}\right) = 1064\ kg/m^3$

(5) Aggregate type CR $= \left(\frac{14.722}{9.874 \times 10^{-3}}\right) = 1491\ kg/m^3$

4.1.5 ผลการทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม

(Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying)

ASTM : C 566 – 89

เมื่อเราทราบแล้วว่าดัชนีความละเอียดของทราย ค่าความถ่วงจำเพาะของทราย และมวลรวมหยาบที่จะนำมาใช้ ค่าอัตราการดูดซึมน้ำ

ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวมจะหาได้จากสมการ(3. 14)

$$P = \frac{100(W - D)}{D}$$

โดยที่

P = ปริมาณความชื้น,%

W = น้ำหนักมวลรวมก่อนเผา

D = น้ำหนักมวลรวมแห้งหลังเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) Type RCA-24

มวลรวมหยาบ	มวลรวมละเอียด
น้ำหนักถาด = 2008 g	น้ำหนักถาด = 221 g
น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด ก่อนอบ = 8206 g	น้ำหนักมวลรวมละเอียด+ถาด ก่อนอบ = 1727 g
น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด หลังอบ = 7937 g	น้ำหนักมวลรวมละเอียด+ถาด หลังอบ = 1662 g

$$\%\text{ความชื้นของมวลรวมหยาบ} = \frac{100 \times (8206 - 7937)}{7937 - 2008} = 4.53\%$$

$$\%\text{ความชื้นของมวลรวมหยาบ} = \frac{100 \times (1727 - 1662)}{1662 - 221} = 4.51\%$$

(2) Type RCA-28

มวลรวมหยาบ	มวลรวมละเอียด
น้ำหนักถาด = 878 g	น้ำหนักถาด = 248 g
น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด ก่อนอบ = 6605 g	น้ำหนักมวลรวมละเอียด+ถาด ก่อนอบ = 1540 g
น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด หลังอบ = 6403 g	น้ำหนักมวลรวมละเอียด+ถาด หลังอบ = 1470 g

$$\%\text{ความชื้นของมวลรวมหยาบ} = \frac{100 \times (6605 - 6403)}{6403 - 878} = 3.65\%$$

$$\%\text{ความชื้นของมวลรวมหยาบ} = \frac{100 \times (1540 - 1470)}{1470 - 258} = 4.51\%$$

(3) Type RCA-32

มวลรวมหยาบ	มวลรวมละเอียด
น้ำหนักถาด = 877 g	น้ำหนักถาด = 221 g
น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด ก่อนอบ = 7477 g	น้ำหนักมวลรวมละเอียด+ถาด ก่อนอบ = 1727 g
น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด หลังอบ = 7242 g	น้ำหนักมวลรวมละเอียด+ถาด หลังอบ = 1662 g
	หมายเหตุ : ทรายชุดเดียวกันและทำการผสมวันเดียวกับ Type RCA-24

$$\%\text{ความชื้นของมวลรวมหยาบ} = \frac{100 \times (8206 - 7937)}{7937 - 2008} = 3.69\%$$

$$\%\text{ความชื้นของมวลรวมหยาบ} = \frac{100 \times (1727 - 1662)}{1662 - 221} = 4.51\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) Type B

มวลรวมหยาบ	มวลรวมละเอียด
น้ำหนักถาด = 2169 g	น้ำหนักถาด = 248 g
น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด ก่อนอบ = 7629 g	น้ำหนักมวลรวมละเอียด+ถาด ก่อนอบ = 2044 g
น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด หลังอบ = 7481 g	น้ำหนักมวลรวมละเอียด+ถาด หลังอบ = 1962 g

$$\%\text{ความชื้นของมวลรวมหยาบ} = \frac{100 \times (7629 - 7481)}{7481 - 2169} = 2.79\%$$

$$\%\text{ความชื้นของมวลรวมหยาบ} = \frac{100 \times (2044 - 1962)}{1962 - 248} = 4.78\%$$

(5) Type CR

มวลรวมหยาบ	มวลรวมละเอียด
น้ำหนักถาด = 2036 g	น้ำหนักถาด = 322 g
น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด ก่อนอบ = 7622 g	น้ำหนักมวลรวมละเอียด+ถาด ก่อนอบ = 1830 g
น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด หลังอบ = 7592 g	น้ำหนักมวลรวมละเอียด+ถาด หลังอบ = 1764 g

$$\%\text{ความชื้นของมวลรวมหยาบ} = \frac{100 \times (7622 - 7592)}{7592 - 2036} = 0.54\%$$

$$\%\text{ความชื้นของมวลรวมหยาบ} = \frac{100 \times (1830 - 1764)}{1764 - 322} = 4.58\%$$

4.2 ขั้นตอนในการคำนวณปริมาณส่วนผสมคอนกรีต

4.2.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Concrete Mixed Design) ตาม ACI (211.1-77)

(1) Type RCA-24

- ต้องการกำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.^{2}
- ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม.
- มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 25 มม.
- หน่วยน้ำหนักแห้งของมวลรวมหยาบ 1265 กก. /ม.^{3}
- มวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.43
- ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบแห้ง =2.12 กก./ซม.^{3}
- ปริมาตรของอากาศ = 0.0150 ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 1 : <u>ต้องการค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม.</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 25 มม.

ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 3.2 ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม. และ มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 25 มม. จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ เท่ากับ 205 กก./ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 4 : จากตารางที่ 3.3(ก.) ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา กำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.^{2}

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR.) = $0.55 + (300\text{-}280) \times \frac{(300 - 250)}{(0.62 - 0.55)} = 0.578$

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR.) = 0.578

ขั้นตอนที่ 5 : ปริมาณของซีเมนต์ที่ได้ = 205/0.578 = 354.67 กก./ม.^{3}

ปริมาตรของซีเมนต์ = $\frac{\text{น้ำหนักของซีเมนต์}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์}}$ = 354.67/(3.15×1000) = 0.1126 ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบ หาได้จากตารางที่ 3.4 ในบทที่ 3 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.43 และ มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 25 มม. จะได้

ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต = $0.71 - (2.43\text{-}2.40) \times \frac{(0.71 - 0.68)}{(2.50 - 2.40)}$

= 0.701

ดังนั้น น้ำหนักมวลรวมหยาบแห้ง = 0.701 × 1265 = 886.765 กก.

ปริมาตรมวลรวมหยาบแห้ง = $\frac{\text{น้ำหนักของมวลรวมหยาบแห้ง}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบแห้ง}}$

= 886.765/(2.12×1000) = 0.418 ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์

ปริมาตรของอากาศ = 0.0150 ม.^{3}

ปริมาตรของมวลรวมหยาบ = 0.4180 ม.^{3}

ปริมาตรของน้ำ = 0.2050 ม.^{3}

ปริมาตรของซีเมนต์ = 0.1126 ม.^{3}

จะได้ปริมาตรของทราย = 1-0.0150-0.4180-0.2050-0.1126 = 0.2494 ม.^{3}

ดังนั้น น้ำหนักของทราย = 0.2494 ×2.59×1000 = 645.946 กก./ม.^{3}

คำนวณปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์ ที่ต้องใช้ในการผสมทำก้อนคอนกรีต 10 ก้อน โดยทำการเผื่อเป็นใช้ทำก้อนคอนกรีต 13.94 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรของก้อนคอนกรีต = $\frac{\pi}{4}(0.15^2) \times 0.30 \times 13.94$ = 0.0739 ม.^{3}

ใช้ปริมาณมวลรวมหยาบ = 886.765 × 0.0739 = 65.531 กก.

ใช้ปริมาณน้ำ = 205 × 0.0739 = 15.150 กก.

ใช้ปริมาณซีเมนต์ = 354.67 × 0.0739 = 26.210 กก.

ใช้ปริมาณทราย = 645.946 × 0.0739 = 47.735 กก.

ขั้นตอนที่ 8 : การปรับแก้ปริมาณมวลรวม และปริมาณน้ำ เนื่องจากความชื้นในมวลรวม

% ความชื้นของมวลรวมหยาบที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 8.32%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบขณะที่นำมาใช้ = 4.53%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 0.57%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดขณะที่นำมาใช้ = 4.51%

การปรับแก้ 1) ปริมาณมวลรวมหยาบ = 65.531×1.0453 = 68.500 กก.

2) ปริมาณทราย = 47.735×1.0451 = 49.888 กก.

3) ปริมาณน้ำ $= 15.150 + (\frac{8.32 - 4.53}{100})(65.531) + (\frac{0.57 - 4.51}{100})(47.735)$

= 15.753 กก.

น้ำหนักของวัสดุผสมครั้งสุดท้าย สำหรับใช้ในการผสมจริง คือ

มวลรวมหยาบ	68.500 กก.
ทราย	49.888 กก.
ซีเมนต์	26.210 กก.
น้ำ	15.753 กก.

(2) Type RCA-28

- ต้องการกำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.^{2}
- ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม.
- มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 25 มม.
- หน่วยน้ำหนักแห้งของมวลรวมหยาบ 1314 กก. /ม.^{3}
- มวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.43
- ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบแห้ง =2.23 กก./ซม.^{3}
- ปริมาตรของอากาศ = 0.0150 ม.^{3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 : ต้องการค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม.

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 25 มม.

ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 3.2 ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม. และ มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 25 มม. จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ เท่ากับ 205 กก./ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 4 : จากตารางที่ 3.3(ก.) ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา กำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.^{2}

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR.) = $0.55 + (300\text{-}280) \times \frac{(300 - 250)}{(0.62 - 0.55)} = 0.578$

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR.) = 0.578

ขั้นตอนที่ 5 : ปริมาณของซีเมนต์ที่ได้ = 205/0.578 = 354.67 กก./ม.^{3}

ปริมาตรของซีเมนต์ = $\frac{\text{น้ำหนักของซีเมนต์}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์}}$ = 354.67/(3.15×1000) = 0.1126 ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบ หาได้จากตารางที่ 3.4 ในบทที่ 3 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.43 และ มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 25 มม. จะได้

ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต = $0.71 - (2.43\text{-}2.40) \times \frac{(0.71 - 0.68)}{(2.50 - 2.40)}$

= 0.701

ดังนั้น น้ำหนักมวลรวมหยาบแห้ง = 0.701 × 1314 = 921.114 กก.

ปริมาตรมวลรวมหยาบแห้ง = $\frac{\text{น้ำหนักของมวลรวมหยาบแห้ง}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบแห้ง}}$

= 921.114 /(2.23×1000) = 0.413 ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์

ปริมาตรของอากาศ = 0.0150 ม.^{3}

ปริมาตรของมวลรวมหยาบ = 0.4130 ม.^{3}

ปริมาตรของน้ำ = 0.2050 ม.^{3}

ปริมาตรของซีเมนต์ = 0.1126 ม.^{3}

จะได้ปริมาตรของทราย = 1-0.0150-0.4130-0.2050-0.1126 = 0.2544 ม.^{3}

ดังนั้น น้ำหนักของทราย = 0.2544 ×2.59×1000 = 658.896 กก./ม.^{3}

คำนวณปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์ ที่ต้องใช้ในการผสมทำก้อนคอนกรีต 10 ก้อน โดยทำการเผื่อเป็นใช้ทำก้อนคอนกรีต 15 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรของก้อนคอนกรีต = $\frac{\pi}{4}(0.15^2) \times 0.30 \times 15$ = 0.0795 ม.^{3}

ใช้ปริมาณมวลรวมหยาบ = 921.114 × 0.0795 = 73.228 กก.

ใช้ปริมาณน้ำ = 205 × 0.0795 = 16.298 กก.

ใช้ปริมาณซีเมนต์ = 354.67 × 0.0795 = 28.196 กก.

ใช้ปริมาณทราย = 658.896 × 0.0795 = 52.382 กก.

ขั้นตอนที่ 8 : การปรับแก้ปริมาณมวลรวม และปริมาณน้ำ เนื่องจากความชื้นในมวลรวม

% ความชื้นของมวลรวมหยาบที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 6.52%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบขณะที่นำมาใช้ = 3.65%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 0.57%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดขณะที่นำมาใช้ = 5.73%

การปรับแก้ 1) ปริมาณมวลรวมหยาบ = 73.228×1.0365 = 75.900 กก.

2) ปริมาณทราย = 52.382×1.0573 = 55.383 กก.

3) ปริมาณน้ำ $= 16.298 + (\frac{6.52 - 3.65}{100})(75.900) + (\frac{0.57 - 5.73}{100})(55.383)$

= 15.697 กก.

น้ำหนักของวัสดุผสมครั้งสุดท้าย สำหรับใช้ในการผสมจริง คือ

มวลรวมหยาบ	75.900 กก.
ทราย	55.383 กก.
ซีเมนต์	28.196 กก.
น้ำ	15.697 กก.

(3) Type RCA-32

- ต้องการกำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.^{2}
- ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม.
- มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 25 มม.
- หน่วยน้ำหนักแห้งของมวลรวมหยาบ 1287 กก. /ม.^{3}
- มวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.43
- ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบแห้ง =2.22 กก./ซม.^{3}
- ปริมาตรของอากาศ = 0.0150 ม.^{3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 : ต้องการค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม.

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 25 มม.

ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 3.2 ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม. และ มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 25 มม. จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ เท่ากับ 205 กก./ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 4 : จากตารางที่ 3.3(ก.) ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา กำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.^{2}

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR.) = $0.55 + (300-280) \times \frac{(300-250)}{(0.62-0.55)} = 0.578$

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR.) = 0.578

ขั้นตอนที่ 5 : ปริมาณของซีเมนต์ที่ได้ = 205/0.578 = 354.67 กก./ม.^{3}

ปริมาตรของซีเมนต์ = $\frac{\text{น้ำหนักของซีเมนต์}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์}}$ = 354.67/(3.15×1000) = 0.1126 ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบ หาได้จากตารางที่ 3.4 ในบทที่ 3 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.43 และ มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 25 มม. จะได้

ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต = $0.71 - (2.43-2.40) \times \frac{(0.71-0.68)}{(2.50-2.40)}$

= 0.701

ดังนั้น น้ำหนักมวลรวมหยาบแห้ง = 0.701 × 1287 = 902.187 กก.

ปริมาตรมวลรวมหยาบแห้ง = $\frac{\text{น้ำหนักของมวลรวมหยาบแห้ง}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบแห้ง}}$

= 902.187 /(2.22×1000) = 0.406 ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์

ปริมาตรของอากาศ = 0.0150 ม.^{3}

ปริมาตรของมวลรวมหยาบ = 0.4060 ม.^{3}

ปริมาตรของน้ำ = 0.2050 ม.^{3}

ปริมาตรของซีเมนต์ = 0.1126 ม.^{3}

จะได้ปริมาตรของทราย – 1-0.0150-0.4060-0.2050-0.1126 = 0.2614 ม.^{3}

ดังนั้น น้ำหนักของทราย = 0.2614 ×2.59×1000 = 677.026 กก./ม.^{3}

คำนวณปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์ ที่ต้องใช้ในการผสมทำก้อนคอนกรีต 10 ก้อน โดยทำการเผื่อเป็นใช้ทำก้อนคอนกรีต 15 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรของก้อนคอนกรีต = $\frac{\pi}{4}(0.15^2) \times 0.30 \times 15$ = 0.0795 ม.^{3}

ใช้ปริมาณมวลรวมหยาบ = 902.187 × 0.0795 = 71.723 กก.

ใช้ปริมาณน้ำ = 205 × 0.0795 = 16.298 กก.

ใช้ปริมาณซีเมนต์ = 354.67 × 0.0795 = 28.196 กก.

ใช้ปริมาณทราย = 677.026 × 0.0795 = 53.824 กก.

ขั้นตอนที่ 8 : การปรับแก้ปริมาณมวลรวม และปริมาณน้ำ เนื่องจากความชื้นในมวลรวม

% ความชื้นของมวลรวมหยาบที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 7.40%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบขณะที่นำมาใช้ = 3.69%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 0.57%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดขณะที่นำมาใช้ = 4.51%

การปรับแก้ 1) ปริมาณมวลรวมหยาบ = 71.723 × 1.0369 = 74.369 กก.

2) ปริมาณทราย = 53.824×1.0451 = 56.251 กก.

3) ปริมาณน้ำ $= 16.298 + (\frac{7.40 - 3.69}{100})(71.723) + (\frac{0.57 - 4.51}{100})(53.824)$

= 16.838 กก.

น้ำหนักของวัสดุผสมครั้งสุดท้าย สำหรับใช้ในการผสมจริง คือ

มวลรวมหยาบ	74.369 กก.
ทราย	56.251 กก.
ซีเมนต์	28.196 กก.
น้ำ	16.838 กก.

(4) Type B

- ต้องการกำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.^{2}
- ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม.
- มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 25 มม.
- หน่วยน้ำหนักแห้งของมวลรวมหยาบ 1064 กก. /ม.^{3}
- มวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.43
- ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบแห้ง =1.77 กก./ซม.^{3}
- ปริมาตรของอากาศ = 0.0150 ม.^{3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 : ต้องการค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม.

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 25 มม.

ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 3.2 ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม. และ มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 25 มม. จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ เท่ากับ 205 กก./ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 4 : จากตารางที่ 3.3(ก.) ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา กำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.^{2}

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR.) = $0.55 + (300\text{-}280) \times \frac{(300 - 250)}{(0.62 - 0.55)} = 0.578$

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR.) = 0.578

ขั้นตอนที่ 5 : ปริมาณของซีเมนต์ที่ได้ = 205/0.578 = 354.67 กก./ม.^{3}

ปริมาตรของซีเมนต์ = $\frac{\text{น้ำหนักของซีเมนต์}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์}}$ = 354.67/(3.15×1000) = 0.1126 ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบ หาได้จากตารางที่ 3.4 ในบทที่ 3 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.43 และ มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 25 มม. จะได้

ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต = $0.71 - (2.43\text{-}2.40) \times \frac{(0.71 - 0.68)}{(2.50 - 2.40)}$

= 0.701

ดังนั้น น้ำหนักมวลรวมหยาบแห้ง = 0.701 × 1064 = 745.864 กก.

ปริมาตรมวลรวมหยาบแห้ง = $\frac{\text{น้ำหนักของมวลรวมหยาบแห้ง}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบแห้ง}}$

= 745.864 /(1.77×1000) = 0.421 ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์

ปริมาตรของอากาศ = 0.0150 ม.^{3}

ปริมาตรของมวลรวมหยาบ = 0.4210 ม.^{3}

ปริมาตรของน้ำ = 0.2050 ม.^{3}

ปริมาตรของซีเมนต์ = 0.1126 ม.^{3}

จะได้ปริมาตรของทราย = 1-0.0150-0.4210-0.2050-0.1126 = 0.2464 ม.^{3}

ดังนั้น น้ำหนักของทราย = 0.2464 ×2.59×1000 = 638.176 กก./ม.^{3}

คำนวณปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์ ที่ต้องใช้ในการผสมทำก้อนคอนกรีต 10 ก้อน โดยทำการเผื่อเป็นใช้ทำก้อนคอนกรีต 13.9 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรของก้อนคอนกรีต = $\frac{\pi}{4}(0.15^2) \times 0.30 \times 13.9$ = 0.0737 ม.^{3}

ใช้ปริมาณมวลรวมหยาบ = 745.864 × 0.0737 = 54.970 กก.

ใช้ปริมาณน้ำ = 205 × 0.0737 = 15.109 กก.

ใช้ปริมาณซีเมนต์ = 354.67 × 0.0737 = 26.139 กก.

ใช้ปริมาณทราย = 638.176 × 0.0737 = 47.034 กก.

ขั้นตอนที่ 8 : การปรับแก้ปริมาณมวลรวม และปริมาณน้ำ เนื่องจากความชื้นในมวลรวม

% ความชื้นของมวลรวมหยาบที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 14.47%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบขณะที่นำมาใช้ = 2.79%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 0.57%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดขณะที่นำมาใช้ = 4.78%

การปรับแก้ เนื่องจากมวลรวมหยาบมีจำนวนน้อยจำเป็นต้องนำมวลรวมหยาบที่ทำการอบ(ในขั้นตอนทดสอบหาความชื้น)มาใช้ มวลรวมหยาบที่เหลือ 44.353 กก.

จะต้องใช้มวลรวมหยาบแห้ง(จะการอบ) = 54.970 – 44.353 = 10.617 กก.

1) ปริมาณมวลรวมหยาบ = 10.617 + (44.353×1.0365) = 56.207 กก.

2) ปริมาณทราย = 47.034×1.0478 = 49.282 กก.

3) ปริมาณน้ำ $= 15.109 + \left(\frac{14.47 - 2.79}{100}\right)(44.353) + 10.617 + \left(\frac{0.57 - 4.78}{100}\right)(49.282)$

= 19.846 กก.

น้ำหนักของวัสดุผสมครั้งสุดท้าย สำหรับใช้ในการผสมจริง คือ

มวลรวมหยาบ	56.207 กก.
ทราย	49.282 กก.
ซีเมนต์	26.139 กก.
น้ำ	19.846 กก.

(5) Type CR

- ต้องการกำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.^{2}
- ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 25 มม.
- หน่วยน้ำหนักแห้งของมวลรวมหยาบ 1491 กก. /ม.^{3}
- มวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.43
- ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบแห้ง =2.70 กก./ซม.^{3}
- ปริมาตรของอากาศ = 0.0150 ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 1 : ต้องการค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม.

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 25 มม.

ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 3.2 ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 15 – 18 ซม. และ มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 25 มม. จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ เท่ากับ 205 กก./ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 4 : จากตารางที่ 3.3(ก.) ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา กำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.^{2}

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR.) $= 0.55 + (300\text{-}280) \times \frac{(300 - 250)}{(0.62 - 0.55)} = 0.578$

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR.) = 0.578

ขั้นตอนที่ 5 : ปริมาณของซีเมนต์ที่ได้ = 205/0.578 = 354.67 กก./ม.^{3}

ปริมาตรของซีเมนต์ $= \frac{\text{น้ำหนักของซีเมนต์}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์}} = 354.67/(3.15\times1000) = 0.1126$ ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบ หาได้จากตารางที่ 3.4 ในบทที่ 3 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.43 และ มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 25 มม. จะได้

ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต $= 0.71 - (2.43\text{-}2.40) \times \frac{(0.71 - 0.68)}{(2.50 - 2.40)}$

$= 0.701$

ดังนั้น น้ำหนักมวลรวมหยาบแห้ง = 0.701 × 1491 = 1045.191 กก.

ปริมาตรมวลรวมหยาบแห้ง $= \frac{\text{น้ำหนักของมวลรวมหยาบแห้ง}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบแห้ง}}$

$= 1045.191 /(2.70\times1000) = 0.387$ ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์

ปริมาตรของอากาศ = 0.0150 ม.^{3}

ปริมาตรของมวลรวมหยาบ = 0.3870 ม.^{3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรของน้ำ = 0.2050 ม.^{3}

ปริมาตรของซีเมนต์ = 0.1126 ม.^{3}

จะได้ปริมาตรของทราย = 1-0.0150-0.3870-0.2050-0.1126 = 0.2804 ม.^{3}

ดังนั้น น้ำหนักของทราย = 0.2804 ×2.59×1000 = 726.236 กก./ม.^{3}

คำนวณปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์ ที่ต้องใช้ในการผสมทำก้อนคอนกรีต 10 ก้อน โดยทำการเผื่อเป็นใช้ทำก้อนคอนกรีต 14 ก้อน

ปริมาตรของก้อนคอนกรีต = $\frac{\pi}{4}(0.15^2) \times 0.30 \times 14$ = 0.0742 ม.^{3}

ใช้ปริมาณมวลรวมหยาบ = 1045.191 × 0.0742 = 77.553 กก.

ใช้ปริมาณน้ำ = 205 × 0.0742 = 15.211 กก.

ใช้ปริมาณซีเมนต์ = 354.67 × 0.0742 = 26.317 กก.

ใช้ปริมาณทราย = 726.236 × 0.0742 = 53.887 กก.

ขั้นตอนที่ 8 : การปรับแก้ปริมาณมวลรวม และปริมาณน้ำ เนื่องจากความชื้นในมวลรวม

% ความชื้นของมวลรวมหยาบที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 0.89%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบขณะที่นำมาใช้ = 0.54%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 0.57%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดขณะที่นำมาใช้ = 4.58%

การปรับแก้ 1) ปริมาณมวลรวมหยาบ = 77.553 × 1.0054 = 77.971 กก.

2) ปริมาณทราย = 53.887 × 1.0458 = 56.355 กก.

3) ปริมาณน้ำ $= 15.211 + (\frac{0.89 - 0.54}{100})(77.553) + (\frac{0.57 - 4.58}{100})(53.887)$

= 13.322 กก.

น้ำหนักของวัสดุผสมครั้งสุดท้าย สำหรับใช้ในการผสมจริง คือ

มวลรวมหยาบ	77.971 กก.
ทราย	56.355 กก.
ซีเมนต์	26.317 กก.
น้ำ	13.322 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ

ในหัวข้อย่อยนี้จะกล่าวถึงความสามารถในการรับแรงอัดของวัสดุแบบ Unconfined compression test คือ เป็นการทดสอบแรงอัด โดยใส่แรงเข้าไปเพียงแกนเดียว ที่ส่วนผสมออกแบบที่กำลังอัด 280 ksc. โดยหล่อคอนกรีตเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ความสูง 30 cm. ตาม ASTM C 192 ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า Aggegate type RCA-24 ,B,C,D และ E ที่อายุของคอนกรีต 28 วัน ได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 213.596, 213.461, 205.337, 174.353 และ 290.831 ksc. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดเมื่อเทียบกับ Aggregate ที่เป็นหินใน type E เท่ากับ 26.56 % (ของ type RCA-24), 26.60 % (ของ type RCA-28), 29.40 % (ของ type RCA-32) และ40.05 % (ของ type B)

ในส่วนของความหนาแน่นของคอนกรีต Type ต่างๆ นั้นพบว่า ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตของ type RCA24 ,RCA28,RCA32,B และ CR มีค่าเท่ากับ 2263.833, 2284.615, 2270.669, 2108.773 และ 2416.621 kg/m^3 ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 4.11 ส่วนข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ทั้ง 10 ตัวอย่างที่นำมาทดสอบในแต่ละ type นั้นได้แสดงอยู่ในตารางที่ 4.5,4.6,4.7,4.8 และ 4.9 เรียงตามลำดับ type RCA24 ,RCA28,RCA32,B และ CR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-24

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST (Type RCA-24)												
Sample	Diameter (mm.)		Area (cm^2.)	Height(cm.)	Weight (kg.)	Volume (m^3.)	Date of casting	Date of Testing	Ages (days)	Ul.Load (kN.) Machine reading	Ul. Load (kN.) standard reading	Comp. Strength (ksc.)	Density ($kg./m^3$.)
A-1	150.600	150.660	178.202	30.00	12.133	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	286.050	283.924	162.413	2269.520
A-2	150.800	149.500	177.068	30.00	12.026	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	477.680	476.302	274.203	2263.911
A-3	150.500	150.720	178.155	30.00	12.134	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	356.530	354.679	202.941	2270.310
A-4	152.340	149.300	178.652	30.00	12.026	0.0054	25/11/56	23/12/56	28	418.780	417.172	238.034	2243.842
A-5	150.900	152.720	181.005	30.00	12.201	0.0054	25/11/56	23/12/56	28	348.370	346.488	195.132	2246.899
A-6	150.900	150.000	177.776	30.00	12.081	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	462.480	461.043	264.361	2265.204
A-7	150.400	150.400	177.658	30.00	12.104	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	323.310	321.330	184.373	2271.026
A-8	150.300	149.320	176.267	30.00	12.106	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	382.140	380.389	219.982	2289.328
A-9	150.000	150.300	177.068	30.00	11.980	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	304.490	302.436	174.110	2255.252
A-10	150.000	149.620	176.267	30.00	11.967	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	382.870	381.122	220.406	2263.042

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x-\bar{x})^2}{N-1}} \qquad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x}{N}$$

Comp.Strength (ksc.)

Average = 213.596 ksc.

S.D = 37.151

Percentile ที่ 15 = 170.016

Density ($kg./m^3$.)

Average = 2263.833

S.D = 13.075

CV = 0.006

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-28

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST (Type RCA-28)													
Sample	Diameter (mm.)		Area (cm^2.)	Height(cm.)	Weight (kg.)	Volume (m^3.)	Date of casting	Date of Testing	Ages (days)	Ul.Load (kN.) Machine reading	Ul. Load (kN.) standard reading	Comp. Strength (ksc.)	Density ($kg./m^3$.)
B-1	150.220	151.440	178.676	30.00	12.202	0.0054	23/11/56	21/12/56	28	272.040	269.860	153.959	2276.378
B-2	150.200	150.100	177.068	30.00	12.097	0.0053	23/11/56	21/12/56	28	401.210	399.534	230.008	2277.277
B-3	150.800	151.820	179.815	30.00	12.160	0.0054	23/11/56	21/12/56	28	353.280	351.417	199.218	2254.173
B-4	150.300	150.300	177.422	30.00	12.283	0.0053	23/11/56	21/12/56	28	388.370	386.644	222.144	2307.679
B-5	150.380	151.800	179.292	30.00	12.217	0.0054	23/11/56	21/12/56	28	287.700	285.581	162.367	2271.339
B-6	151.200	148.820	176.738	29.90	12.140	0.0053	23/11/56	21/12/56	28	443.250	441.738	254.780	2297.297
B-7	150.400	150.400	177.658	30.00	12.192	0.0053	23/11/56	21/12/56	28	389.980	388.260	222.776	2287.537
B-8	150.300	150.500	177.658	30.00	12.180	0.0053	23/11/56	21/12/56	28	404.150	402.485	230.938	2285.286
B-9	150.600	148.900	176.126	30.00	12.118	0.0053	23/11/56	21/12/56	28	372.920	371.133	214.802	2293.433
B-10	150.500	148.540	175.585	30.00	12.093	0.0053	23/11/56	21/12/56	28	421.230	419.632	243.619	2295.749

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x-\bar{x})^2}{N-1}} \qquad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x}{N}$$

Comp.Strength (ksc.)

Average = 213.461 ksc.

S.D = 32.853

Percentile ที่ 15 = 159.424

Density ($kg./m^3$.)

Average = 2284.615

S.D = 15.377

CV = 0.007

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-32

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST (Type RCA-32)													
Sample	Diameter ´mm.)		Area (cm^2.)	Height(cm.)	Weight (kg.)	Volume (m^3.)	Date of casting	Date of Testing	Ages (days)	Ul.Load (kN.) Machine reading	Ul. Load (kN.) standard reading	Comp. Strength (ksc.)	Density ($kg./m^3$.)
C-1	151.790	149.800	178.593	29.90	12.060	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	346.680	368.264	210.197	2258.460
C-2	150.600	151.860	179.625	30.00	12.095	0.0054	25/11/56	23/12/56	28	332.530	330.586	187.607	2244.496
C-3	149.620	149.900	176.150	30.00	12.020	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	378.170	376.404	217.823	2274.582
C-4	151.500	150.500	179.079	30.00	12.081	0.0054	25/11/56	23/12/56	28	314.470	360.174	205.022	2248.733
C-5	150.900	149.820	177.564	30.00	12.085	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	330.450	328.498	188.586	2268.668
C-6	149.920	149.900	176.503	30.00	12.172	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	388.900	387.176	223.608	2298.739
C-7	150.700	149.560	177.021	30.00	12.031	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	352.920	380.651	219.196	2265.456
C-8	151.000	150.400	178.368	29.90	12.089	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	355.050	353.194	201.849	2266.746
C-9	149.920	149.920	176.526	29.50	12.123	0.0052	25/11/56	23/12/56	28	343.850	341.950	197.462	2327.979
C-10	150.700	150.400	178.013	30.00	12.031	0.0053	25/11/56	23/12/56	28	332.050	352.793	202.022	2252.833

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x-\bar{x})^2}{N-1}} \qquad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x}{N}$$

Comp.Strength (ksc.)

Average = 205.337 ksc.

S.D = 12.408

Percentile ที่ 15 = 188.243

Density ($kg./m^3$.)

Average = 2270.669

S.D = 25.315

CV = 0.011

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type B

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST (Type B)													
Sample	Diameter (mm.)		Area (cm^2.)	Height(cm.)	Weight (kg.)	Volume (m^3.)	Date of casting	Date of Testing	Ages (days)	Ul.Load (kN.) Machine reading	Ul. Load (kN.) standard reading	Comp. Strength (ksc.)	Density (kg./m^3.)
D-1	151.480	149.000	177.281	30.00	11.338	0.0053	29/11/56	27/12/56	28	328.920	326.962	188.004	2131.838
D-2	150.860	150.500	178.320	30.00	11.308	0.0053	29/11/56	27/12/56	28	225.530	223.168	127.574	2113.798
D-3	152.000	151.860	181.291	30.00	11.347	0.0054	29/11/56	27/12/56	28	340.420	338.507	190.336	2086.329
D-4	152.200	151.400	180.981	30.00	11.401	0.0054	29/11/56	27/12/56	28	357.800	355.954	200.490	2099.850
D-5	151.160	152.340	180.862	30.00	11.297	0.0054	29/11/56	27/12/56	28	293.700	291.604	164.353	2082.066
D-6	150.000	150.900	177.776	30.00	11.257	0.0053	29/11/56	27/12/56	28	300.710	298.642	171.241	2110.703
D-7	149.620	151.000	177.446	30.00	11.228	0.0053	29/11/56	27/12/56	28	304.890	302.838	173.971	2109.189
D-8	152.300	151.100	180.743	30.00	11.487	0.0054	29/11/56	27/12/56	28	352.500	350.634	197.753	2118.480
D-9	150.600	151.080	178.699	30.00	11.333	0.0054	29/11/56	27/12/56	28	359.980	358.143	204.298	2113.979
D-10	150.400	150.000	177.186	30.00	11.277	0.0053	29/11/56	27/12/56	28	220.540	218.159	125.509	2121.498

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x-\bar{x})^2}{N-1}} \qquad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x}{N}$$

Comp.Strength (ksc.)

Average = 174.353 ksc.

S.D = 28.388

Percentile ที่ 15 = 126.851

Density (kg./m^3.)

Average = 2108.773

S.D = 15.424

CV = 0.007

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type CR

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST (Type CR)													
Sample	Diameter (mm.)		Area (cm^2.)	Height (cm.)	Weight (kg.)	Volume (m^3.)	Date of casting	Date of Testing	Ages (days)	Ul.Load (kN.) Machine reading	Ul. Load (kN.) standard reading	Comp. Strength (ksc.)	Density (kg./m^3.)
E-1	150.600	150.200	177.658	30.00	12.968	0.0053	28/11/56	26/12/56	28	592.480	591.550	339.419	2433.135
E-2	151.520	150.000	178.510	30.00	12.932	0.0054	28/11/56	26/12/56	28	393.690	391.984	223.840	2414.806
E-3	151.360	149.020	177.163	30.00	12.844	0.0053	28/11/56	26/12/56	28	501.570	500.285	287.857	2416.613
E-4	150.000	152.000	179.079	30.00	12.821	0.0054	28/11/56	26/12/56	28	592.860	591.931	336.944	2386.475
E-5	150.400	150.100	177.304	30.00	12.970	0.0053	28/11/56	26/12/56	28	406.100	404.443	232.525	2438.372
E-6	150.100	149.900	176.715	30.00	12.871	0.0053	28/11/56	26/12/56	28	531.120	529.950	305.699	2427.832
E-7	152.400	151.400	181.220	30.00	13.098	0.0054	28/11/56	26/12/56	28	456.800	455.340	256.131	2409.230
E-8	151.400	150.200	178.605	30.00	12.874	0.0054	28/11/56	26/12/56	28	537.520	536.375	306.131	2402.701
E-9	149.820	151.900	178.747	30.00	12.923	0.0054	28/11/56	26/12/56	28	577.780	576.792	328.937	2409.928
E-10	148.700	151.740	177.233	30.00	12.905	0.0053	28/11/56	26/12/56	28	506.920	505.656	290.831	2427.121

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x-\bar{x})^2}{N-1}} \qquad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x}{N}$$

Comp.Strength (ksc.)

Average = 290.831 ksc.

S.D = 41.493

Percentile ที่ 15 = 229.485

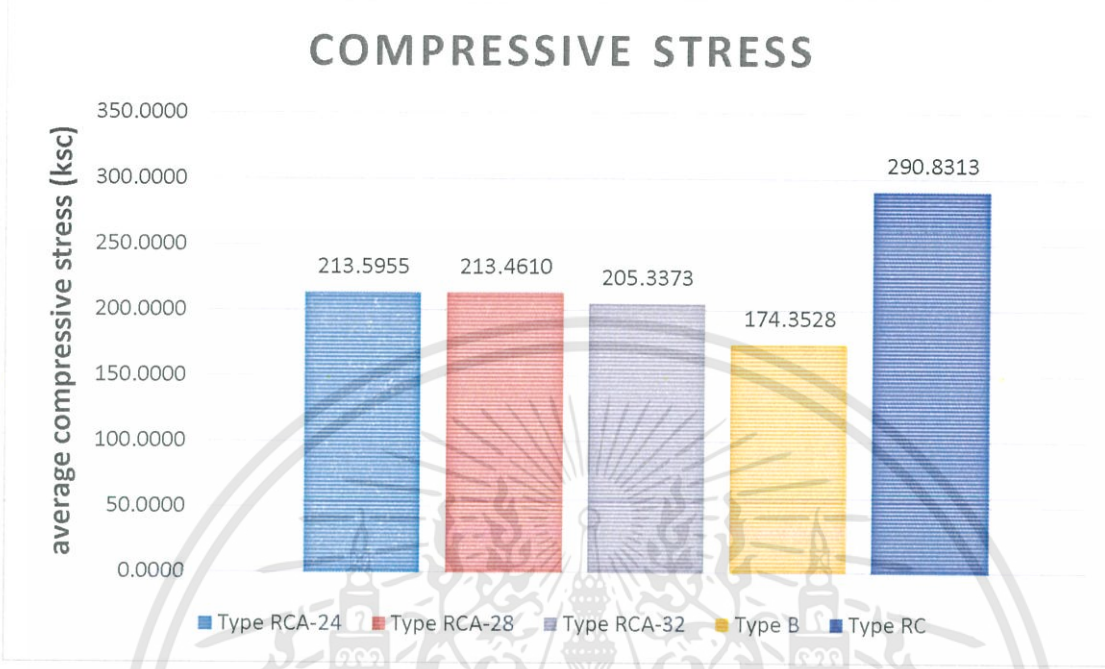
Density (kg./m^3.)

Average = 2416.621

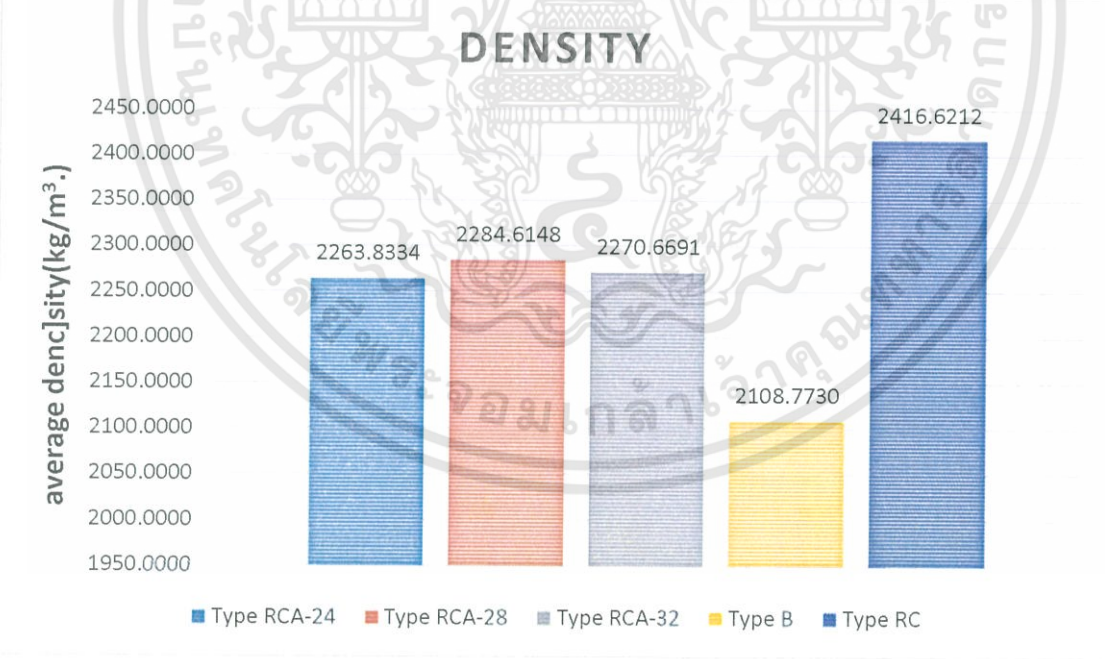
S.D = 15.588

CV = 0.006

ตารางที่ 4.10 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังอัดที่ 28 วัน ของคอนกรีต type ต่างๆ ที่ส่วนผสมออกแบบ 280 ksc.



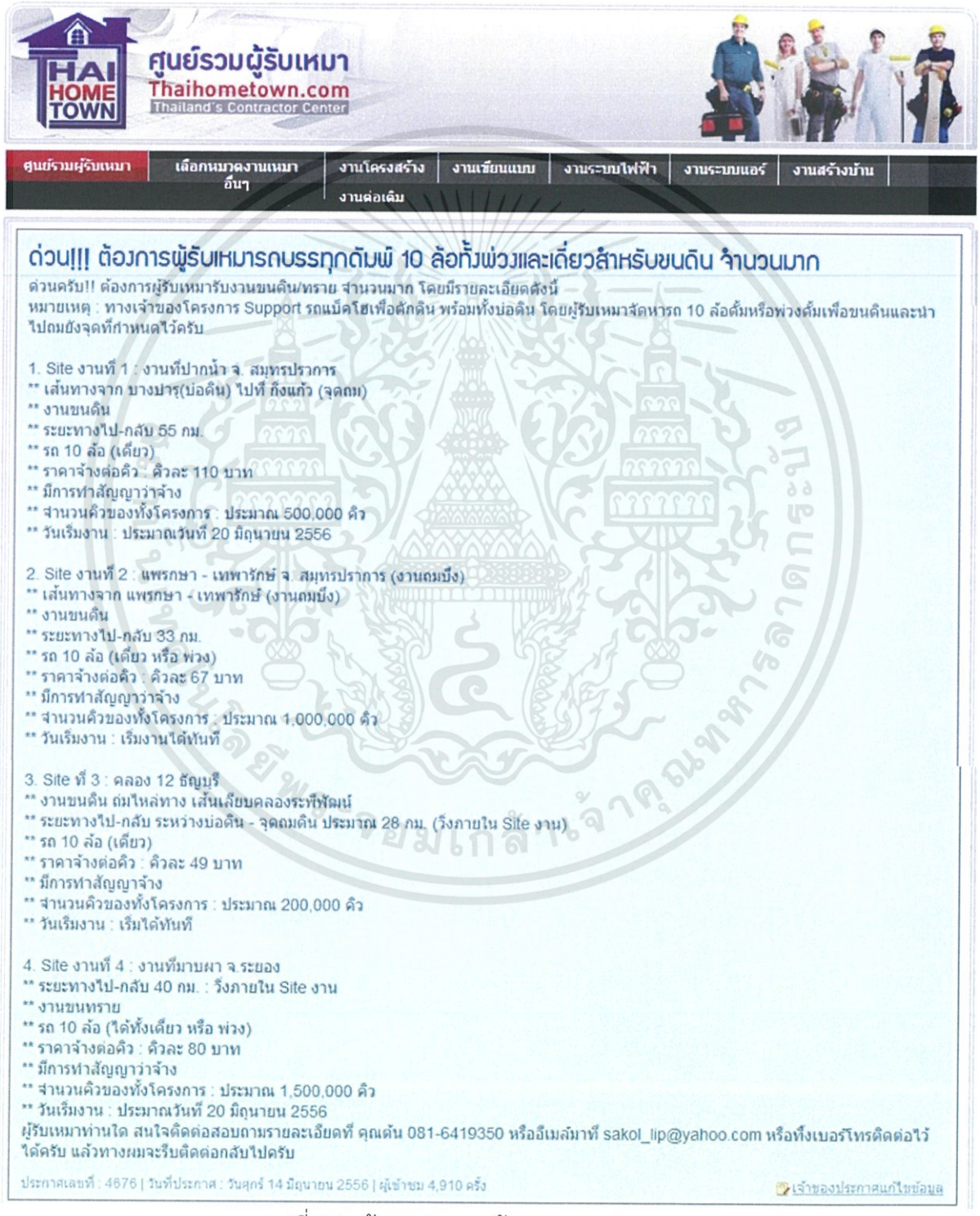
ตารางที่ 4.11 กราฟค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของคอนกรีต type ต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 คำนวณค่าใช้จ่ายในการผสมคอนกรีต

ในหัวข้อย่อยนี้จะกล่าวถึงการเปรียบเทียบทางด้านราคาต่อหน่วยของวัสดุต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้ จากการสอบถามราคาค่าขนส่ง จาก http://www.thaihometown.com/contractors/4676 ดังข้อมูลดังนี้



รูปที่ 4.2 ข้อมูลประกาศจ้างรถบรรทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 ราคาต่อหน่วยวัสดุมวลรวมในการผสมคอนกรีต

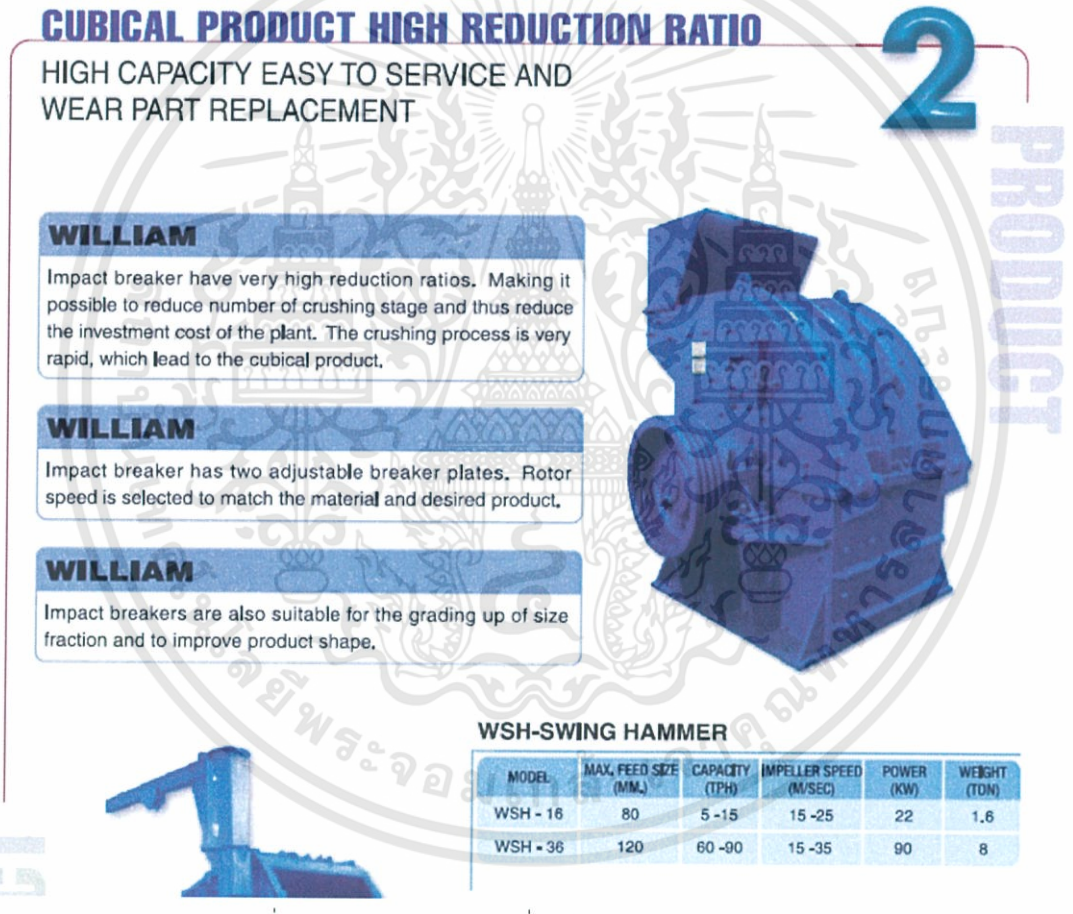
ในการคำนวณต้นทุนของมวลรวมหยาบที่ได้จากเศษคอนกรีตใช้แล้ว แบ่งต้นทุนออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 ค่าขนส่ง จากข้อมูลราคาค่าขนส่ง โดยกำหนดให้ ระยะทางขนส่ง 20 กม. (ไปกลับ 40 กม.)

ค่าขนส่ง = 80 บาท/ลบ.ม.

ส่วนที่ 2 ค่าดำเนินการสำหรับการย่อยเศษมวลรวม

จากการสอบถามไปยังผู้ผลิตเครื่องย่อย William Wong Group Co., LTD พบ Catalog ดังนี้



รูปที่ 4.3 Catalog ของเครื่องย่อยมวลรวมหยาบ

กำหนดให้ 1.) สมมุติว่ามีการผลิตมวลรวมหยาบจากเศษคอนกรีตใช้แล้วเป็นปริมาณมาก แล้วนำปริมาณมวลรวมหยาบนั้น มาหาเป็นค่าใช้จ่ายในการผลิตมวลรวมหยาบ 1 หน่วย

2.) จาก Catalog นำรุ่น WSH-36 มาใช้ในการย่อย เนื่องจาก พบว่า เศษคอนกรีตมีขนาดน้อยกว่า 120 มม. (ส่วนที่แคบที่จะสามารถใช้ลงเครื่องได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) สามารถย่อยได้ 60-90 ตัน/ชม. (ใช้ค่า 75 ตัน/ชม.)

4.) มีกำลัง 90 กิโลวัตต์

ส่วนที่ 2.1 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการย่อย

สมมุติว่า เปิดเครื่องทุกวัน วันละ 1 ชม.

หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน = จำนวนกิโลวัตต์ × จำนวนชั่วโมงที่ใช้ต่อเดือน

= (90 กิโลวัตต์) × (1 ชม./วัน) × (30 วัน/เดือน)

= 2700 หน่วย

คิดค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก (2.1.2 อัตราปกติ)

ตารางที่ 4.12 อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 2 (กิจการขนาดเล็ก)

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
2.1.1 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	2.4649	228.17
2.1.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์		40.90
- 150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 150)	1.8047	
- 250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	2.7781	
- เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	2.9780	

(1) ค่าใช้ไฟฟ้าฐาน

150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 150) = 150 × 1.8047 = 270.705 บาท

250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400) = 250 × 2.7781 = 694.525 บาท

เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป) = 2300 × 2.9780 = 6849 .400 บาท

รวม ค่าใช้ไฟฟ้าฐาน = 7814.63 บาท

(2) ค่า Ft

ค่า Ft = 2700 × 0.59 = 1593 บาท

หมายเหตุ : ค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft) สำหรับการเรียกเก็บจากผู้ใช้ไฟฟ้าในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าประจำเดือนมกราคม 2557 –เมษายน 2557 เท่ากับ 59.00 สตางค์/หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ค่าบริการ

ค่าบริการ = 40.90 บาท

(4) ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

ภาษี = (7814.63 + 1593 + 40.90) × 0.07 = 661.397 บาท

(5) รวมค่าไฟฟ้า

รวมค่าไฟฟ้า = 7,814.63 + 1593 + 40.90 + 661.397 = 10,109.927 บาท

ต้องจ่ายเงิน = 10,110 บาท

ปริมาณมวลรวมหยาบที่ได้จากการทำงานของเครื่องย่อย = 75 ตัน × 30 ชม. = 2250 ตัน

(6) คิดค่าเสื่อมราคาของเครื่องจากที่ใช่ย่อยมวลรวมหยาบ

จากการสอบถามไปยังผู้ผลิตเครื่องย่อย William Wong Group Co.,LTD ได้ข้อมูลดังนี้

(6.1) คิดค่าเสื่อมราคาตามเวลาอายุการใช้งานที่ใช้งานเครื่องจริง

- ราคาของเครื่องย่อยรุ่น WSH – 36 เป็นเงิน 990,000 บาท
- มีอายุการใช้งานนานมาก ประมาณเป็น 20 ปี
- มูลค่าซากเครื่อง (ประมาณจากน้ำหนักเครื่อง และราคาเหล็ก) 100,000 บาท

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = \frac{990{,}000 - 100{,}000}{20 \times 12} = 3{,}708.33 = 3{,}708 \text{ บาท/เดือน}$$

(6.2) คิดโดยอ้างอิงพระราชกฤษฎีกา ออกตามความในประมวลรัษฎากร ว่าด้วยหักค่าสึกหรอ และค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สิน (ฉบับที่ 145) พ.ศ. 2527

มีใจความโดยสรุปดังนี้

เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวิจัยและพัฒนา จะมีวิธีการหักโดยทันทีที่ได้รับสินทรัพย์มาก็สามารถหักได้ร้อยละ 40 ของมูลค่าต้นทุน และในปีแรกที่ใช้งานให้หักได้อีกร้อยละ 20 ของมูลค่าต้นทุน ผลก็คือ สามารถหักค่าเสื่อมราคาได้สูงถึงร้อยละ 60ในปีแรก ปีต่อๆ มาก็ให้หักค่าเสื่อมราคาได้ร้อยละ 20 ของมูลค่าต้นทุนตามปกติ ทำให้หักค่าเสื่อมราคาได้ทั้งหมดภายในเวลา 3ปี

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = \frac{990{,}000 - 100{,}000}{3 \times 12} = 24{,}722.22 = 24{,}722 \text{ บาท/เดือน}$$

แต่เนื่องจากความจริงแล้วเครื่องสามารถใช้งานได้มากกว่า 3 ปี การคิดค่าต้นทุนที่จึงต้องใช้วิธีคิดค่าเสื่อมราคาตามเวลาอายุการใช้งานที่ใช้งานเครื่องจริง คือค่าเสื่อมราคา = 3,708 บาท/เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมมูลค่าการย่อย = 10,110 + 3,708 = 13,818 บาท

ราคาค่าย่อย = $\frac{13,818}{2,250}$ = 6.14 บาท/ตัน

(7) ราคาขายส่งวัสดุมวลรวม + ค่าส่งแล้ว จาก เว็บไซต์

http://www.crgcement.com/index.php

เป็นดังนี้

- หินเบอร์1 หินเบอร์2 = 525 บาท/ม.^{3} (จะขายส่ง เมื่อ สั่งขั้นต่ำ 12 ม.^{3} 6300 บาท)
- ทรายก่อสร้าง(ทรายหยาบ) = 480 บาท/ม.^{3} (จะขายส่ง เมื่อ สั่งขั้นต่ำ 12 ม.^{3} 5760 บาท)
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราอินทร์เพชร) 50 กก. = 117 บาท (จะขายส่ง เมื่อ สั่งขั้นต่ำ 17 ตัน 39780 บาท)
- น้ำประปา ข้อมูลจากการประปานครหลวง ข้อมูลจาก http://www.mwa.co.th/ewt_news.php?nid=303
- ใช้ราคาน้ำประปาแบบเหมา 13.00 บาท/ม.^{3} (จากข้อมูลอัตราค่าน้ำประปาในข้อ (8))

(8) อัตราค่าน้ำประปา

ตารางที่ 4.13 WATER TARIFFS ตั้งแต่ ธันวาคม 2542/Effective December 1999

ประเภทที่ 1 ที่พักอาศัย		ประเภทที่ 2 ธุรกิจ ราชการ รัฐวิสาหกิจ อุตสาหกรรม และอื่นๆ	
ปริมาณน้ำใช้ ลูกบาศก์เมตร Volume (cu.m.)	ราคาค่าน้ำ บาท/ลูกบาศก์เมตร Baht/cu.m.	ปริมาณน้ำใช้ ลูกบาศก์เมตร Volume(cu.m.)	ราคาค่าน้ำ บาท/ลูกบาศก์เมตร Baht/cu.m.
0-30	8.50 แต่ไม่ต่ำกว่า 45.00 บาท	0-10	9.50 แต่ไม่ต่ำกว่า 90.00 บาท
31-40	10.03	11-20	10.70
41-50	10.35	21-30	10.95
51-60	10.68	31-40	13.21
61-70	11.00	41-50	13.54
71-80	11.33	51-60	13.86
81-90	12.50	61-80	14.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

91-100	12.82	81-100	14.51
101-120	13.15	101-120	14.84
121-160	13.47	121-160	15.16
161-200	13.80	161-200	15.49
มากกว่า 200 (over 200)	14.45	มากกว่า 200 (over 200)	15.81

4.4.2 ประมาณราคาคอนกรีต

เมื่อเราทราบถึงราคาโดยประมาณต่อ 1 คิว ของวัสดุชนิดต่างๆ แล้ว เราจะนำตัวเลขนั้นมาหาราคาที่แท้จริงต่อหน่วย ตาม ตาราง Mixed design ที่ได้ออกแบบไว้ตามคอนกรีต type ต่างๆ ที่ส่วนผสมการออกแบบ 280 ksc. ซึ่งแสดงตารางสรุปอยู่ในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ราคาต่อหน่วยของคอนกรีต Type RCA-24, RCA28, RCA32, D และ CR

Type	ราคามวลรวมหยาบ (บาท)	ราคาทราย (บาท)	ราคาซีเมนต์ (บาท)	ราคาน้ำ (บาท)	ราคาต่อลูกบาศก์เมตร (บาท/ลูกบาศก์เมตร)
RCA-24	39.13	119.72	829.92	2.77	991.54
RCA-28	38.90	122.11	829.92	2.57	990.50
RCA-32	38.22	125.47	829.92	2.75	995.36
B	38.88	118.27	829.92	2.97	990.04
CR	203.17	134.59	829.92	2.33	1170.04

(1) TYPE RCA-24 (ใช้เศษคอนกรีตที่มีกำลัง 240 ksc. เป็นมวลรวมหยาบ)

จากการคำนวณ Mixed Design

- ปริมาตรของก้อนคอนกรีต 0.0739 ม.^{3}
- ซีเมนต์ 26.210 กก.
- น้ำ 15.753 กก.
- มวลรวมหยาบ 68.500 กก.

ปรับแก้ปริมาณ จาก ปริมาณที่ใช้สำหรับ ปริมาตร 0.0739 ม.^{3} เป็นปริมาณที่มีหน่วยเป็น กก./ม.^{3}

- ซีเมนต์ $= 26.210 \times \frac{1}{0.0739} = 354.67$ กก./ม.^{3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำ = $15.753 \times \frac{1}{0.0739}$ = 213.17 กก./ม.^{3}
- มวลรวมหยาบ = $68.500 \times \frac{1}{0.0739}$ = 926.93 กก./ม.^{3}

ปริมาตรมวลรวมต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

- ปริมาตรของทราย = 0.2494 ม.^{3} ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ปริมาตรของมวลรวมหยาบ = 0.4180 ม.^{3} ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

ราคาวัสดุมวลรวม

- ราคามวลรวมหยาบ(เศษคอนกรีต)

  ส่วนที่ 1 ค่าขนส่ง = 0.4180×80 = 33.44 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

  ส่วนที่ 2 ค่าย่อย = $\frac{926.93}{1000} \times 6.14$ = 5.69 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ราคามวลรวมละเอียด(ทราย) = 0.2494×480 = 119.72 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ราคาซีเมนต์ = $\frac{354.67}{50.00} \times 117$ = 829.92 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ราคาน้ำ = $\frac{213.17}{1000} \times 13$ = 2.77 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

  รวมราคาค่าคอนกรีต = 991.54 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

(2) TYPE RCA-28 (ใช้เศษคอนกรีตที่มีกำลัง 280 ksc. เป็นมวลรวมหยาบ)

จากการคำนวณ Mixed Design

- ปริมาตรของก้อนคอนกรีต 0.0795 ม.^{3}
- ซีเมนต์ 28.196 กก.
- น้ำ 15.697 กก.
- มวลรวมหยาบ 75.900 กก.

ปรับแก้ปริมาณ จาก ปริมาณที่ใช้สำหรับ ปริมาตร 0.0795 ม.^{3} เป็นปริมาณที่มีหน่วยเป็น กก./ม.^{3}

- ซีเมนต์ = $28.196 \times \frac{1}{0.0795}$ = 354.67 กก./ม.^{3}
- น้ำ = $15.697 \times \frac{1}{0.0795}$ = 197.45 กก./ม.^{3}
- มวลรวมหยาบ = $75.900 \times \frac{1}{0.0795}$ = 954.72 กก./ม.^{3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรมวลรวมต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

- ปริมาตรของทราย = 0.2544 ม.^{3} ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ปริมาตรของมวลรวมหยาบ = 0.4130 ม.^{3} ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

ราคาวัสดุมวลรวม

- ราคามวลรวมหยาบ(เศษคอนกรีต)

  ส่วนที่ 1 ค่าขนส่ง = 0.4130×80 = 33.04 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

  ส่วนที่ 2 ค่าย่อย = $\frac{954.72}{1000} \times 6.14$ = 5.86 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

- ราคามวลรวมละเอียด(ทราย) = 0.2544×480 = 122.11 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ราคาซีเมนต์ = $\frac{354.67}{50.00} \times 117$ = 829.92 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ราคาน้ำ = $\frac{197.45}{1000} \times 13$ = 2.57 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

  รวมราคาค่าคอนกรีต = 990.50 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

(3) TYPE RCA-32 (ใช้เศษคอนกรีตที่มีกำลัง 320 ksc. เป็นมวลรวมหยาบ)

จากการคำนวณ Mixed Design

- ปริมาตรของก้อนคอนกรีต 0.0795 ม.^{3}
- ซีเมนต์ 28.196 กก.
- น้ำ 16.838 กก.
- มวลรวมหยาบ 74.369 กก.

ปรับแก้ปริมาณ จาก ปริมาณที่ใช้สำหรับ ปริมาตร 0.0795 ม.^{3} เป็นปริมาณที่มีหน่วยเป็น กก./ม.^{3}

- ซีเมนต์ = $28.196 \times \frac{1}{0.0795}$ = 354.67 กก./ม.^{3}
- น้ำ = $16.838 \times \frac{1}{0.0795}$ = 211.80 กก./ม.^{3}
- มวลรวมหยาบ = $74.369 \times \frac{1}{0.0795}$ = 935.46 กก./ม.^{3}

ปริมาตรมวลรวมต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

- ปริมาตรของทราย = 0.2614 ม.^{3} ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ปริมาตรของมวลรวมหยาบ = 0.4060 ม.^{3} ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาวัสดุมวลรวม

- ราคามวลรวมหยาบ(เศษคอนกรีต)

ส่วนที่ 1 ค่าขนส่ง = 0.4060×80 = 32.48 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

ส่วนที่ 2 ค่าย่อย = $\frac{935.46}{1000} \times 6.14$ = 5.74 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

- ราคามวลรวมละเอียด(ทราย) = 0.2614×480 = 125.47 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ราคาซีเมนต์ = $\frac{354.67}{50.00} \times 117$ = 829.92 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ราคาน้ำ = $\frac{211.80}{1000} \times 13$ = 2.75 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

รวมราคาค่าคอนกรีต = 995.36 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

(4) TYPE B (ใช้เศษคอนกรีตที่ได้จากอิฐมอญ เป็นมวลรวมหยาบ ที่ไม่ได้คัดกำลังอัด)

จากการคำนวณ Mixed Design

- ปริมาตรของก้อนคอนกรีต 0.0737 ม.^{3}
- ซีเมนต์ 26.139 กก.
- น้ำ 19.846 กก.
- มวลรวมหยาบ 56.207 กก.

ปรับแก้ปริมาณ จาก ปริมาณที่ใช้สำหรับ ปริมาตร 0.0737 ม.^{3} เป็นปริมาณที่มีหน่วยเป็น กก./ม.^{3}

- ซีเมนต์ = $26.139 \times \frac{1}{0.0737}$ = 354.67 กก./ม.^{3}
- น้ำ = $16.838 \times \frac{1}{0.0737}$ = 228.47 กก./ม.^{3}
- มวลรวมหยาบ = $74.369 \times \frac{1}{0.0737}$ = 1009.08 กก./ม.^{3}

ปริมาตรมวลรวมต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

- ปริมาตรของทราย = 0.2464 ม.^{3} ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ปริมาตรของมวลรวมหยาบ = 0.4210 ม.^{3} ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

ราคาวัสดุมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ราคามวลรวมหยาบ(เศษคอนกรีต)

ส่วนที่ 1 ค่าขนส่ง = 0.4210×80 = 32.68 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

ส่วนที่ 2 ค่าย่อย = $\frac{1009.08}{1000} \times 6.14$ = 6.20 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

- ราคามวลรวมละเอียด(ทราย) = 0.2464×480 = 118.27 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ราคาซีเมนต์ = $\frac{354.67}{50.00} \times 117$ = 829.92 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ราคาน้ำ = $\frac{228.47}{1000} \times 13$ = 2.97 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

รวมราคาค่าคอนกรีต = 990.04 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

(5) TYPE CR (ใช้หินเป็นมวลรวมหยาบ)

จากการคำนวณ Mixed Design

- ปริมาตรของก้อนคอนกรีต 0.0742 ม.^{3}
- ซีเมนต์ 26.317 กก.
- น้ำ 13.322 กก.

ปรับแก้ปริมาณ จาก ปริมาณที่ใช้สำหรับ ปริมาตร 0.0742 ม.^{3} เป็นปริมาณที่มีหน่วยเป็น กก./ม.^{3}

- ซีเมนต์ = $26.317 \times \frac{1}{0.0742}$ = 354.68 กก./ม.^{3}
- น้ำ = $13.322 \times \frac{1}{0.0742}$ = 179.54 กก./ม.^{3}

ปริมาตรมวลรวมต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

- ปริมาตรของมวลรวมหยาบ = 0.3870 ม.^{3} ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ปริมาตรของทราย = 0.2804 ม.^{3} ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

ราคาวัสดุมวลรวม

- ราคามวลรวมหยาบ(หิน) = 0.3870×525 = 203.17 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ราคามวลรวมละเอียด(ทราย) = 0.2804×480 = 134.59 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}
- ราคาซีเมนต์ = $\frac{354.68}{50} \times 117$ = 829.95 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

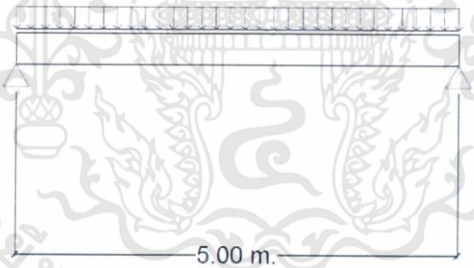
- ราคาน้ำ = $\frac{179.54}{100} \times 13$ = 2.33 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

รวมราคาค่าคอนกรีต = 1170.04 บาท ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3}

4.5 เปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมกรณีที่ใช้เศษคอนกรีตกับหินมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ

ในข้อหัวย่อยนี้จะกล่าวเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมที่ได้จากการใช้เศษคอนกรีต Type RCA-24, RCA-28, RCA-32 ที่มีกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 210.798 ksc.จากการออกแบบที่กำลังอัด 280 ksc. กับคอนกรีตที่ใช้หินซึ่งทำการออกแบบที่ 280 ksc.

โดยสมมติเป็นการออกแบบคานช่วงเดียวที่แบกรับน้ำหนัก DL = 1 ตัน/เมตร และ LL = 1.2 ตัน/เมตร ซึ่งพบว่า ใช้เหล็กเสริมปริมาณเท่ากัน ที่หน้าตัดกว้างเท่ากับ 0.25 m. และสูงเท่ากับ 0.35 ม. นอกจากนั้น ยังพบว่าใช้ปริมาณเหล็กปลอกเท่ากัน ดังนั้น ในชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนเช่น ในคาน ค่า f_c' ที่ต่างกันไม่มาก แทบจะไม่มีผลต่อปริมาณการเสริมเหล็กและหน้าตัดของคานเลย ดังนั้น กลุ่มของข้าพเจ้าจึงคิดว่าควรนำเศษคอนกรีตที่เกิดจากการทุบอาคารต่างๆ มาผสมใหม่นั้นสามารถนำมาหล่อโครงสร้างบางชิ้นส่วนได้ อาทิเช่น คาน เพื่อเป็นการประหยัดค่าก่อสร้าง และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ตามมาในภายหลัง



ω_L = 1 t/m, ω_{DL} = 1.2 t/m

รูปที่ 4.4 การรับน้ำหนักบรรทุกของคานที่ใช้คำนวณเปรียบเทียบหน้าตัด

4.5.1 กรณีใช้มวลรวมหยาบที่เป็นหิน (f_c'average = 290.831 ksc ใช้ 280 ksc. ในการคำนวณ)

$$M_{LL} = \frac{(1000)(5^2)}{8} = 3,125 \text{ kg.m.}$$

ประมาณน้ำหนักคาน 400 kg /m $\longrightarrow$ $M_{DL} = \frac{(400+1200)(5^2)}{8} = 5,000 \text{ kg.m.}$

$M_u = 1.4M_{DL} + 1.7M_{LL} = 1.4(3,125) + 1.7(5000) = 12,875$ kg.m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\phi M_n = M_u \longrightarrow M_n = \frac{12,875}{0.9} = 14,306$ kg.m.

จากข้อมูลออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 280 ksc ,f_y = 3000 ksc

หา $\rho_b = \frac{(0.85)f_c'\beta_1}{f_y}\left[\frac{6120}{6120+f_y}\right] = \frac{(0.85)(280)(0.85)}{3000}\left[\frac{6120}{6120+3000}\right] = 0.045$

สมมติ $\rho = 0.6\rho_b = 0.027$

จาก $R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \rho f_y(1-\frac{\rho f_y}{1.7f_c'})$

$$\frac{14,306\times100}{bd^2} = (0.027)(3000)(1-\frac{0.027\times3000}{1.7\times280})$$

$$bd^2 = 21,283.50 \text{ cm}^3$$

สมมติ b = 25 cm. , d = 29.18 cm.

h = d+3+0.9+1 = 34.08 cm. $\longrightarrow$ ใช้ 35 cm.

น้ำหนักคาน = 0.2x0.35x2400 = 168 kg/m

ปรับแก้ $M_{DL} = \frac{(168+1200)(5^2)}{8} = 4,275$ kg.m

M_{LL} = 3,125 kg.m. (ค่าเดิม)

$M_u = 1.4(4,275) + 1.7(3,125) = 11,297.5$ kg.m.

ดังนั้น ค่า M_n ปรับแก้จะเท่ากับ $\frac{11,297.5}{0.9} = 12,553$ kg.m.

หา ค่า d โดยประมาณเท่ากับ 35 – 6 = 29 cm.

จาก $R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \rho f_y(1-\frac{\rho f_y}{1.7f_c'})$

$$\frac{12,553\times100}{25(29^2)} = (\rho)(3000)(1-\frac{\rho\times3000}{0.7\times280})$$

จัดรูปจะได้ $18907.56\rho^2 - 3000\rho + \frac{12,553\times100}{25(29^2)} = 0$

ได้ค่า ρ = 0.02333 , ~~0.13507~~

ดังนั้น $A_s = \rho bd = 0.02333x25x29 = 16.91$ cm^2

ใช้ DB 28 3 เส้น $\longrightarrow$ $A_s = \frac{\pi}{4}(2.8)^2 x3 = 18.47$ cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาระยะห่างระหว่างเหล็กเส้น $= \dfrac{25-(2(2.5)+2.8(3)+0.9(2))}{2} = 4.90$ cm.

> D_b =2.8 cm.

> 1.34 ของหินขนาด 1 นิ้ว

= 1.34(2.54) =3.40 cm.

> 2.5 cm.

OK

Check ρ จริง เท่ากับ $\dfrac{18.47}{25 \times 29.30} = 0.02522$, d จริง = $35-2.5-0.9(2) - \dfrac{2.8}{2} = 29.30$ cm.

$$M_n = \rho bd^2 f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f_c'}\right)$$

$$= 0.02522(25)(29.30)^2(3000)\left(1 - \frac{0.02522 \times 3000}{1.7 \times 280}\right)$$

= 13,657 kg.m. > 12,553 kg.m.

คำนวณแรงเฉือนประลัย

W_u = 1.4(1200 + 168) + 1.7(1000) = 3,615.2 kg/m.

สมมติ เสากว้าง 30 cm.

$$V_u = \frac{9038}{2.5} \times (2.5 - (0.15+0.2930)) = 7,436.47 \text{ kg}$$

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c'}\, b_w d = 0.53(\sqrt{280})(25)(29.30) = 6,496.25 \text{ kg}$$

$$V_s = \frac{V_c}{\phi} - V_c = \frac{7436.47}{0.85} - 6,496.25 = 2252.54 \text{ kg}$$

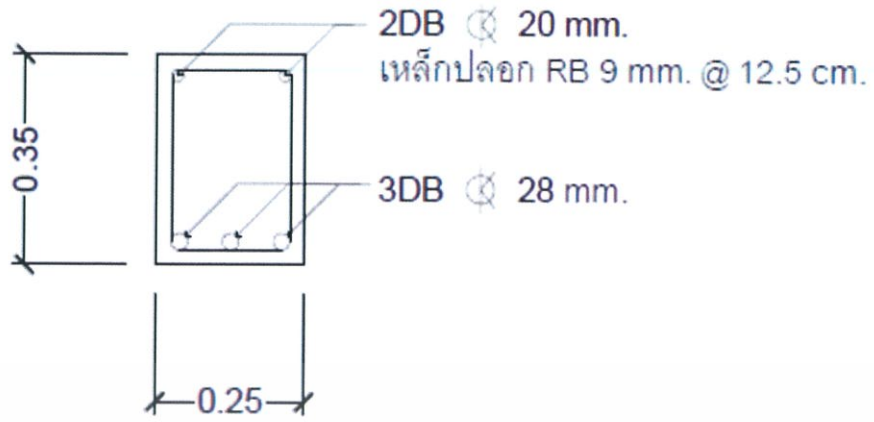
ตรวจสอบ $1.1\sqrt{f_c'}\, b_w d = 1.1(\sqrt{280})(25)(29.30) = 13,482.78$ kg > 2,252.54 kg

ระยะเรียง (s) $= \dfrac{A_v f_y}{\frac{V_u}{\phi} - V_c} = \dfrac{(2)\left[\frac{\pi}{4}(0.9^2)\right](2400)(29.30)}{2252.54} = 39.72$ cm.

0.5d = 14.40 cm. ← ใช้ค่าน้อย แต่เพื่อทำงานง่าย ใช้ 12.5 cm. (5 นิ้ว)

60 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 หน้าตัดการเสริมเหล็กของคานที่ใช้หินเป็นมวลรวมหยาบ

4.5.2 กรณีต่อไปคือใช้มวลรวมหยาบจากเศษคอนกรีตที่มีกำลังเฉลี่ยอยู่ประมาณ 210 ksc (f_c'average = 210.798 ksc)

สมมติว่าใช้หน้าตัดขนาดเดิม b = 25 cm. และ d = 29 cm.

จาก $R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \rho f_y (1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f_c'})$

$$\frac{12,553 \times 100}{25(29)^2} = (\rho)(3000)(1 - \frac{\rho \times 3000}{1.7 \times 210})$$

จัดรูปจะได้ $25210.08\rho^2 - 3000\rho + \frac{12,553 \times 100}{25(29)^2} = 0$

ได้ค่า ρ = 0.02527 , ~~0.09373~~

ดังนั้น $A_s = \rho bd$ = 0.02527x25x29 =18.32 cm^2

ใช้ DB 28 3 เส้น ⟶ $A_s = \frac{\pi}{4}(2.8)^2 x3 = 18.47\ cm^2$

หาระยะห่างระหว่างเหล็กเส้น = $\frac{25 - (2(2.5) + 2.8(3) + 0.9(2))}{2}$ = 4.90 cm.

> D_b =2.8 cm.
>
> > 1.34 ของหินขนาด 1 นิ้ว
>
> = 1.34(2.54) =3.40 cm.

. OK

Check ρ จริง เท่ากับ $\frac{18.47}{25 \times 29.30}$ = 0.02522 , d จริง = 35-2.5-0.9(2)$\frac{2.8}{2}$-= 29.30 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_n = \rho bd^2 f_y\left(1-\frac{\rho f_y}{1.7f_c'}\right)$$

$$= 0.02522(25)(29.30)^2(3000)\left(1-\frac{0.02522\times 3000}{1.7\times 210}\right)$$

$$= 12{,}657 \text{ kg.m.} > 12{,}553 \text{ kg.m.}$$

<u>คำนวณแรงเฉือนประลัย</u>

$$W_u = 1.4(1200 + 168) + 1.7(1000) = 3{,}615.2 \text{ kg/m.}$$

สมมติ เสากว้าง 30 cm.

$$V_u = \frac{9038}{2.5}\times(2.5-(0.15+0.2930)) = 7{,}436.47 \text{ kg}$$

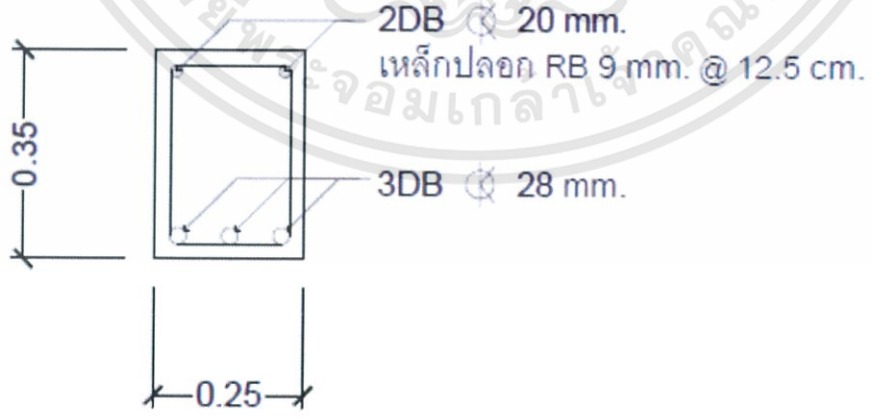
$$V_c = 0.53\sqrt{f_c'}\,b_w d = 0.53(\sqrt{210})(25)(29.30) = 5{,}625.91 \text{ kg}$$

$$V_s = \frac{V_c}{\phi} - V_c = \frac{7436.47}{0.85} - 5{,}625.91 = 3{,}122.88 \text{ kg}$$

ตรวจสอบ $1.1\sqrt{f_c'}\,b_w d = 1.1(\sqrt{210})(25)(29.30) = 11{,}676.43$ kg > 3122.88 kg

ระยะเรียง (s) $= \dfrac{A_v f_y}{\frac{V_u}{\phi}-V_c} = \dfrac{(2)\left[\frac{\pi}{4}(0.9^2)\right](2400)(29.30)}{3122.88} = 28.65$ cm.

- 0.5d = 14.40 cm. ← ใช้ค่าน้อย แต่เพื่อทำงานง่าย ใช้ 12.5 cm. (5 นิ้ว)
- 60 cm.



รูปที่ 4.6 หน้าตัดการเสริมเหล็กของคานที่ใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากผลการทดสอบคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ เพื่อมาศึกษาเปรียบเทียบกำลังอัดกับในกรณีของหินย่อยที่อายุของคอนกรีต 28 วัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าถึงแม้มวลรวมหยาบที่นำมาใช้จะมาจากเศษคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดแตกต่างกันในช่วง 240 280 และ 320 ksc. เมื่อได้นำมาย่อยเป็นมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีตกำลังอัดที่ออกแบบไว้ที่ 280 ksc.

(1) จากการทดสอบกำลังอัดของเศษคอนกรีตมีค่า โดยเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันคือ 213.596, 213.461, 205.337 ksc. ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 210.798 ksc. ซึ่งค่ากำลังอัดต่ำกว่าหินย่อยธรรมดาโดยประมาณไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้หินเป็นมวลรวมหยาบมีค่า 290.831 ksc. ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย หรือรั่วเป็นต้น

(2) ค่ากำลังต้านทานหน่วยแรงอัดจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อใช้เศษปูนฉาบอิฐมอญมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ ค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 174.353 ksc. ซึ่งกำลังอัดมีค่าต่ำกว่าหินย่อยธรรมดาประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจนำไปใช้ประโยชน์ในโครงสร้างขนาดเล็กที่ไม่ได้ใช้เพื่อรับกำลังมาก ทั้งนี้ทั้งนั้นควรจะต้องมีการทำ Trial mixed เพื่อตรวจสอบค่ากำลังอัดว่าเป็นไปตามค่ากำลังอัดที่ต้องการหรือไม่

5.2 ปัญหาและอุปสรรค์ในการดำเนินงาน

(1) ช่วงเวลาที่ทำการทดลองหาความชื้นในมวลรวม เป็นช่วงฤดูฝนทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลรวมได้ง่าย ทำให้มีปัญหาในการหาที่จัดเก็บ และต้องเพิ่มความระมัดระวังในเกี่ยวกับความชื้นในการทดลอง

(2) ในการทำการย่อยก้อนคอนกรีตสำหรับใช้เป็นเศษคอนกรีตในการทดลอง ไม่มีเครื่องมือที่ใช้สำหรับการย่อยโดยเฉพาะ ต้องใช้วิธีย่อยด้วยแรงงานคน ซึ่งทำได้ยากเวลาใช้เวลาในการย่อยมาก

(3) เนื่องจากการทดสอบโครงงาน ต้องการใช้เศษคอนกรีตที่มีกำลังต่างกันตามที่กำหนด คือ 240, 280 และ 320 กก./ซม.^{2} การที่จะแยกกำลังอัดตามที่กำหนดนี้ ต้องทำการทดสอบกำลังอัดกับก้อนคอนกรีตเป็นจำนวนมาก และยังต้องคัดก้อนคอนกรีตที่มีความคลาดเคลื่อนไม่มากกว่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) เศษคอนกรีตที่นำมาใช้แทนมวลรวมหยาบที่ได้จากหิน จะมีค่าการซึมน้ำที่มากกว่าหิน ทำให้ผสมยากกว่า และจำเป็นต้องมีการทดสอบคุณสมบัติด้านการซึมน้ำ รวมถึงการหาค่าความชื้นก่อนทำการผสม และผสมอย่างมีความรอบคอบกว่าการใช้หิน

(5) การใช้แรงงานคนในการย่อยคอนกรีต ทำโดยการทุบด้วยค้อน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าในการทุบคอนกรีตที่มีกำลังอัดมากกว่าจะต้องทุบแรง และทุบด้วยจำนวนครั้งมากกว่า จนบางครั้งเมื่อก้อนคอนกรีตแตกจะแตกเป็นก้อนเล็กหรือเป็นผง ทำให้ขนาดของมวลรวมหยาบที่ได้เล็กกว่าขนาดที่ต้องการ จึงต้องทุบจำนวนก้อนคอนกรีตหลายก้อนมากขึ้นเพื่อให้ได้ขนาดมวลรวมหยาบที่ต้องการ

5.3 การนำไปใช้ประโยชน์

(1) การนำเศษคอนกรีตใช้แล้วมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบสามารถที่จะลดค่าใช้จ่ายในส่วนของมวลรวมหยาบของคอนกรีตได้ ด้วยจะการคำนวณสามารถลดค่าใช้จ่าย พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปกับมวลรวมหยาบประมาณครึ่งหนึ่ง ซึ่งต้นทุนของการใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบขึ้นอยู่กับระยะทางในการขนส่งเศษคอนกรีตด้วย

(2) สามารถช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดจากเศษคอนกรีตที่เกิดจากการรื้อถอนอาคาร และสามารถลดปัญหาต่างๆที่เกิดจากเศษคอนกรีตได้ เช่น ปัญหาสภาพแวดล้อม, ปัญหาเมื่อมีการก่อสร้างใหม่ไม่สามารถตอกเสาเข็มได้ เนื่องจากตอกเสาเข็มไปติดเศษคอนกรีต เป็นต้น

(3) จากการพิจารณาการนำไปใช้กับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยเปรียบเทียบระหว่างเศษคอนกรีตกับหิน โดยสมมติให้รับน้ำหนักบรรทุกเท่ากัน สำหรับโครงสร้างที่รับแรงไม่มาก เช่น คานที่มีความยาวประมาณ 5 เมตร พบว่าบางกรณีไม่ต้องมีการเพิ่มปริมาณเหล็กเสริม แม้ว่ากำลังของคอนกรีตจะต่ำลง แต่เนื่องจากยังไม่ต่ำมากจนต้องเพิ่มจำนวนเส้นของเหล็กเสริม แสดงว่า ไม่มีต้นทุนเพิ่มจากค่าเหล็ก

5.4 ข้อเสนอแนะ

(1) ในการนำเศษคอนกรีตที่ได้จากการรื้อถอนจริงนั้นจะไม่สามารถทำการตรวจสอบกำลังอัดได้ เนื่องจากลักษณะชิ้นของเศษคอนกรีตจากการรื้อถอน ไม่ได้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกตามมาตรฐานเหมือนกับตอนทำการทำโครงงาน การจะทราบกำลังอัดของเศษคอนกรีตอาจทำได้โดยการเจาะตัวอย่างมาทดสอบ ก่อนที่จะทำการรื้อถอน

(2) ในการที่จะใช้งานจริง นำเศษคอนกรีตมาเป็นใช้เป็นมวลรวมหยาบแทนหินนั้น เป็นไปไม่ได้ที่ใช้การย่อยโดยวิธีการใช้แรงงานคน จึงต้องใช้วิธีใช้เครื่องจักร ดังที่กล่าวไว้ในขั้นตอนของการประมาณราคา ซึ่งวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อยเศษหินอาจมีผลต่อคุณสมบัติของมวลรวมหยาบได้ ซึ่งอาจจะต้องทดสอบคุณสมบัติให้ เช่น การทดสอบขนาดคณะ การสอบหน่วยน้ำหนัก และอาจรวมถึงการทดสอบกำลังอัดด้วย

(3) ในการประมาณราคา การใช้เศษคอนกรีตมาเป็นมวลรวมหยาบ เนื่องจากในบางโครงการรื้อถอนที่จะมีการก่อสร้างใหม่ทันที โดยปกติแล้วเศษคอนกรีตที่หรืออยู่จะเป็นขยะที่ก่อให้เกิดปัญหาแก่การสร้างใหม่ได้ ทำให้เจ้าของโครงการทำการจ้างรถให้นำเศษคอนกรีตไปทิ้ง ซึ่งสามารถนำค่าจ้างนี้มาหักลบกับต้นทุนที่ได้จากการคำนวณในบทที่ 4 ทำให้ต้นทุนในการใช้เศษคอนกรีตถูกมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หินเป็นมวลรวมหยาบ

(4) เนื่องจากในขั้นตอนการย่อยเศษคอนกรีตอาจทำให้เกิดมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดที่ต้องการหรืออาจละเอียดเป็นผง ซึ่งในโครงการนี้ไม่ได้มีการศึกษาถึงปริมาณอัตราส่วนการเกิดผง ทำในการนำไปใช้จริงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม ถึงปริมาณการเกิดผง และคุณสมบัติของผง ว่าสามารถนำไปใช้เป็นมวลรวมละเอียดได้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมว่าเศษผงที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และการเสียค่าใช้จ่ายในการนำไปทิ้งเพิ่มเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ทีพีไอ คอนกรีต. 2551. **คอนกรีตเทคโนโลยี.** กรุงเทพฯ : ทีพีไอ คอนกรีต.

เทิดศักดิ์ สายสุทธิ์. 2555. "RCAจากส่วนที่เหลือของเสาเข็มคอนกรีต." ใน **การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2552. **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลานและคอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สมาคมคอนกรีตไทย.

รัฐพล สมนา และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2554. "การใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า." **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.** 34(4) : 369-379.

วินิต ช่อวิเชียร และ วรนิติ ช่อวิเชียร. **การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : ป.สัมพันธ์พานิชย์.

วินิต ช่อวิเชียร. 2539. **คอนกรีตเทคโนโลยี.** กรุงเทพฯ : ป.สัมพันธ์พานิชย์.

ศักดิ์ชัย วงษ์ชัย. 2554. **การวิจัยการนำเศษคอนกรีตมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบผสมอกรีตแทนหินย่อย.** กรุงเทพฯ : กองวิเคราะห์และวิจัย สำนักการโยธา.

สิทธชัย แสงอาทิตย์. 2544. **แนวทางในการประเมินต้นทุนในการนำเศษคอนกรีตหักมาใช้เป็นมวลรวมหยาบในคอนกรีต.** นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สิริวัฒน์ ไชยชนะ. 2541. **ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : วี.เจ.พริ้นติ้ง.

อุษณีย์ อุยะเสถียร และ อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย. 2547. "การประเมินปริมาณและองค์ประกอบของของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารในกรุงเทพมหานคร." **วารสารสิ่งแวดล้อมและธรรมชาติ.** 5(2) : 133-140.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การปรับแก้ค่ากำลังอัดที่ได้จากเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 จากผลการสอบเทียบเครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

ได้ สมการ Calibration คือ

$$y = 1.0039x - 3.2411 \quad kN.$$

เมื่อ y = Ultimate Load (kN.) Standard reading

x = Ultimate Load (kN.) Machine reading

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รูปภาพที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.1 วัสดุมวลรวมหยาบที่ใช้ในการผสมคอนกรีต

รูปที่ ข.2 วัสดุมวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.3 วัสดุมวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตคละอิฐมอญ

รูปที่ ข.4 วัสดุมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้