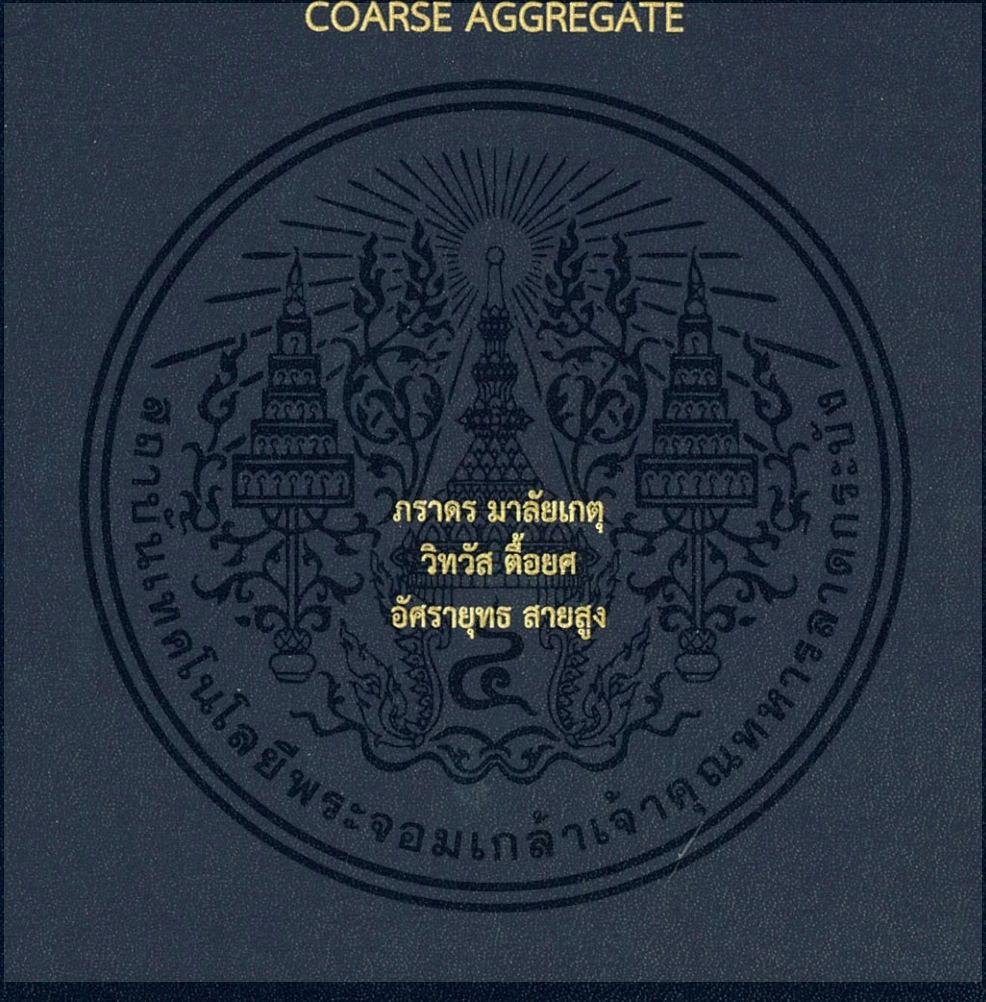
การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงระหว่างคอนกรีตที่ใช้หินเป็นมวลรวมหยาบกับคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบในอัตราส่วนต่างๆ

THE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH AND TENSILE STRENGTH OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE COMPARING WITH CONCRETE USING CRUSHED ROCK AS COARSE AGGREGATE



ภราดร มาลัยเกตุ
วิทวัส ตื้อยศ
อัศรายุทธ สายสูง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงระหว่างคอนกรีตที่ใช้หินเป็นมวลรวมหยาบกับคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบในอัตราส่วนต่างๆ

THE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH AND TENSILE STRENGTH OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE COMPARING WITH CONCRETE USING CRUSHED ROCK AS COARSE AGGREGATE

ภราดร มาลัยเกตุ

วิทวัส ตื้อยศ

อัศรายุทธ สายสูง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH AND TENSILE STRENGTH OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE COMPARING WITH CONCRETE USING CRUSHED ROCK AS COARSE AGGREGATE

PARADORN MALAIKET
WITTAWAT TUEYOT
ASSARAYUT SAISOONG

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

ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงระหว่างคอนกรีตที่ใช้หินเป็นมวลรวมหยาบกับคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบในอัตราส่วนต่างๆ

THE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH AND TENSILE STRENGTH OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE COMPARING WITH CONCRETE USING CRUSHED ROCK AS COARSE AGGREGATE

นักศึกษา นายภราดร มาลัยเกตุ รหัสประจำตัว 56010906

นายวิทวัส ตื้อยศ รหัสประจำตัว 56011130

นายอัศรายุทธ สายสูง รหัสประจำตัว 56011452

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร

คณะกรรมการหัวข้อโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	
อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง	
ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 18 เมษายน 2560 เวลา 13.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธาชั้น 1 (ห้องประชุมภาควิชา)

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 12 มิ.ย. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงระหว่างคอนกรีตที่ใช้หินเป็นมวลรวมหยาบกับคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบในอัตราส่วนต่างๆ

นายภราดร	มาลัยเกตุ	รหัสประจาตัว	56010906
นายวิทวัส	ตื้อยศ	รหัสประจาตัว	56011130
นายอัศรายุทธ	สายสูง	รหัสประจาตัว	56011452

ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร

ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการรับกำลังอัดและกำลังดึงของคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตที่มาจากคอนกรีตทรงกระบอกที่มีค่ากำลังอัด 280 ksc. มาผสมกับมวลรวมหยาบหินในสัดส่วนต่างๆ เพื่อมาเปรียบเทียบกับวัสดุมวลรวมหยาบที่เป็นหิน ทั้งนี้ทั้งนั้น ทั้งหมดนี้ถูกควบคุมด้วยขนาดคละในช่วง 0.5 นิ้ว ถึง 1 นิ้ว และค่าสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์เดียวกัน ซึ่งออกแบบค่ากำลังอัดไว้ที่ 280 ksc. ซึ่งจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 สัดส่วน คือ เศษคอนกรีต 0% : หิน 100% , เศษคอนกรีต 25% : หิน 75% , เศษคอนกรีต 50%: หิน 50%, เศษคอนกรีต 75 % : หิน 25% ใน 1 สัดส่วน แบ่งการทดสอบเป็นรับกำลังอัดและกำลังดึง รวมเป็น 18 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 4 สัดส่วน มี 72 ตัวอย่าง

จากการศึกษาผลการทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงของคอนกรีตที่ 28 วันพบว่า มวลรวมหยาบที่นำมาใช้แม้จะมาจากเศษคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดที่เท่ากับ 280 ksc. เมื่อได้นำมาย่อยเป็นมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีตกำลังอัดที่ออกแบบไว้ที่ 280 ksc. ได้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตหินย่อยธรรมดาโดยเฉลี่ยมีค่า 306.304 ksc.และค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ผสมเศษคอนกรีต 25%,50%และ 75%โดยเฉลี่ยคือ 238.154, 278.157, 235.373 ksc. ตามลำดับ ซึ่งจะได้สัดส่วนที่เหมาะสมมากที่สุดคือคอนกรีตผสมเศษคอนกรีต 50% ซึ่งมีกำลังอัดต่ำกว่าค่าคอนกรีตหินย่อยธรรมดา 9.189% และค่ากำลังดึงของคอนกรีตหินย่อยธรรมดาโดยเฉลี่ยมีค่า 25.72 ksc. และค่ากำลังดึงคอนกรีตที่ผสมเศษคอนกรีต 25%,50% และ 75%โดยเฉลี่ยคือ 18.347,23.368,23.339 ksc. ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนที่เหมาะสมมากที่สุดคือคอนกรีตผสมเศษคอนกรีต 50% ซึ่งมีกำลังดึงต่ำกว่าค่าคอนกรีตหินย่อยธรรมดา 9.145% ซึ่งอาจนำไปใช้ประโยชน์ ในโครงสร้างขนาดเล็กที่ไม่ได้ใช้เพื่อรับกำลังมากเช่น ทางเดิน เป็นต้น

คำสำคัญ—คอนกรีต; มวลรวมหยาบรีไซเคิล; กำลังรับแรงอัด; กำลังรับแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH AND TENSILE STRENGTH OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE COMPARING WITH CONCRETE USING CRUSHED ROCK AS COARSE AGGREGATE

Mr.Paradorn Malaiket Student ID 56010906
Mr.Wittawat Tueyot Student ID 56011130
Mr.Assarayut Saisoong Student ID 56011452
Asst.Prof.Dr.Arthit Petchsasithon
Academic Year 2016

Abstract

The aim of this project is to study the properties force of concrete that using crushed concrete as coarse aggregate from concrete cylinder at compressive strength 280 ksc in various ratios. Aggregate with all ratios will be compared with concrete using crushed rock as normal aggregate under the conditions that all grain sizes are in the range from 0.5 to 1 inch, Constant water: cement ratio and designed strength is 280 ksc. The ratios of crushed rocks: crushed concrete used in this project are 0:100, 25:75, 50:50 and 75:25.

Average compressive strength and tensile strength of concrete at the 28th day obtained for using rocks as aggregate are 306.304 ksc and 25.72 ksc respectively. Average compressive and tensile strength of concrete using crushed rock: crushed concrete ratio of 25%, 50% and 75% are 235.373, 278.157 and 238.154 ksc and 18.347, 23.368 and 23.339 ksc, respectively. The results illustrate that the most appropriate ratio is 50% since compressive strength and tensile strength are 9.189% and 9.145% less than those obtained from normal concrete, respectively. Probably, this mixture can be used for the small structures that do not require high concrete strength such as footpath.

Keywords— concrete; recycle coarse aggregate; ultimate compressive strength; ultimate tension strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ การให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาด้นคว้า และการทดลองจาก ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาในการศึกษาและเพิ่มเติมแนวทางในการ ปฏิบัติงาน ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา ขอขอบคุณ พี่เจ๊ยบ พี่เอก พี่สมบัติ และ เจ้าหน้าที่ทุกท่านทุกท่านที่ให้คำแนะนำ รวมถึงการจัดหาอุปกรณ์ ที่วางเก็บตัวอย่างและให้ความ สะดวกในการใช้เครื่องมือทดสอบในห้องปฏิบัติการ

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

นายภราดร มาลัยเกตุ
นายวิทวัส ตี๊อยศ
นายอัศรายุทธ สายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... V

สารบัญรูป..... VIII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 กล่าวนำ..... 1

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย..... 1

1.3 วัตถุประสงค์..... 1

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 1

1.5 ขอบเขตของการศึกษา..... 2

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมรวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 3

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..... 7

2.3 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเรื่องคอนกรีต..... 14

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน..... 29

3.1 การทดสอบ..... 30

3.1.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต..... 30

3.1.2 การทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ..... 37

3.1.3 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม..... 43

3.1.4 การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ..... 47

3.1.5 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด..... 50

3.1.6 การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม..... 52

3.1.7 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต..... 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.8 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต....57

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง....59

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาใช้ผสมคอนกรีต....59

4.1.1 ผลการทดสอบค่าความละเอียดของทราย....60

4.1.2 ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของทราย....63

4.1.3 หาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบใน type ต่างๆ....64

4.1.4 หาค่าหน่วยน้ำหนักโดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง....67

4.1.5 ผลการทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม....68

4.2 ขั้นตอนในการคำนวณปริมาณส่วนผสมคอนกรีต....69

4.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุและผลการทดลอง....77

4.3.1 การทดสอบรับแรงอัดของวัสดุแบบ....47

4.3.2 การทดสอบรับแรงดึงของวัสดุโดยวิธีการผ่า....47

4.4 สรุปผล....52

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ....99

5.1 สรุป....99

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน....100

บรรณานุกรม....101

ภาคผนวก....102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ของเสียที่ประเมินได้จากการก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัย (บ้าน 2 ชั้น) 4
ตารางที่ 2.2 ของเสียที่ประเมินได้จากการก่อสร้างอาคารที่ไม่เป็นอยู่อาศัย (สถาบันการศึกษา) 5
ตารางที่ 2.3 ของเสียที่ประเมินได้จากการรื้อถอนอาคารที่อยู่อาศัย (บ้าน 2 ชั้น)..... 6
ตารางที่ 2.4 ของเสียที่ประเมินได้จากการรื้อถอนอาคารที่ไม่ใช่อยู่อาศัย (สถาบันการศึกษา)..... 7
ตารางที่ 2.5 ปริมาณของสิ่งเจือปนที่ยอมให้วัสดุมวลรวม..... 17
ตารางที่ 2.6 เกณฑ์กำหนดอัตราส่วนขนาดคละของวัสดุ..... 18
ตารางที่ 2.7 ขนาดของหินเบอร์ต่างๆ..... 20
ตารางที่ 2.8 ค่ายุบตัวสำหรับงานก่อสร้างชนิดต่างๆ..... 21
ตารางที่ 3.1 ค่ายุบตัวสำหรับงานประเภทต่างๆ..... 34
ตารางที่ 3.2 ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต..... 35
ตารางที่ 3.3 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคอนกรีตกับอัตราส่วนของน้ำ-ซีเมนต์..... 35
ตารางที่ 3.3 (ข) อัตราส่วนน้ำ – ซีเมนต์ที่ยอมให้สำหรับงานภายใต้สภาวะพิเศษ..... 36
ตารางที่ 3.4 ปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร..... 36
ตารางที่ 3.5 น้ำหนักคอนกรีตสด..... 37
ตารางที่ 3.6 ปริมาณมวลรวมหยาบ ที่ใช้ในการทดลอง..... 38
ตารางที่ 3.7 (ก) สำหรับมวลรวมละเอียด(ทราย)..... 40
ตารางที่ 3.7 (ข) สำหรับมวลรวมหยาบ (หินหรือกรวด)..... 40
ตารางที่ 3.8 (ก) การคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวมหยาบ..... 41
ตารางที่ 3.8 (ข) การคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวมละเอียด..... 41
ตารางที่ 3.9 ขนาดของภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก..... 43
ตารางที่ 3.10 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ..... 44
ตารางที่ 3.11 แสดงค่าใกล้เคียงของปริมาณความชื้นที่ผิวของมวลรวม..... 53
ตารางที่ 3.12 อัตราส่วนระหว่างความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางกับแฟกเตอร์เผื่อแก้ค่า..... 55
ตารางที่ 4.1 สรุปค่าคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาใช้ผสมคอนกรีต..... 59
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-28 0:100..... 78
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต Type RCA-28 0:100..... 80
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-28 25:75..... 83
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต Type RCA-28 25:75..... 85
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-28 50:50..... 88
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต Type RCA-28 50:50. 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-28 75:25.....93
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต Type RCA-28 75:25.....95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การผสมส่วนผสมคอนกรีต....14
รูปที่ 2.2 สภาวะของวัสดุมวลรวม....19
รูปที่ 2.3 การกองเก็บซีเมนต์ถุง....24
รูปที่ 4.1 ขวด Pycnometer....63
รูปที่ 4.2 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงอัด 0 : 100 ในแต่ละช่วงเวลา....82
รูปที่ 4.3 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงดึง 0 : 100 ในแต่ละช่วงเวลา....82
รูปที่ 4.4 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงอัด 25 : 75 ในแต่ละช่วงเวลา....87
รูปที่ 4.5 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงดึง 25 : 75 ในแต่ละช่วงเวลา....87
รูปที่ 4.6 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงอัด 50 : 50 ในแต่ละช่วงเวลา....92
รูปที่ 4.7 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงดึง 50 : 50 ในแต่ละช่วงเวลา....92
รูปที่ 4.8 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงอัด 75 : 25 ในแต่ละช่วงเวลา....97
รูปที่ 4.9 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงดึง 75 : 25 ในแต่ละช่วงเวลา....97
รูปที่ 4.10 แผนภูมิแท่งแสดงความหนาแน่นของคอนกรีตรับแรงอัดในแต่ละสัดส่วน....98
รูปที่ 4.11 แผนภูมิแท่งแสดงความหนาแน่นของคอนกรีตรับแรงดึงในแต่ละสัดส่วน....98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

เศษคอนกรีตเป็นวัสดุที่ได้จากการรื้อถอนหรือทำลายถนนหรือโครงสร้างคอนกรีตเก่า ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว เศษคอนกรีตมักจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการถมที่ (Landfill) การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีต (Concrete Products) นอกจากนั้น เศษคอนกรีตหักยังสามารถนำมาใช้เป็นมวลรวมหยาบ (Recycled Aggregate Concrete) ในคอนกรีตได้อีกด้วย

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในงานการรื้อถอนโครงสร้างอาคารบางครั้งต้องมีการทุบทำลายโครงสร้างอาคารเก่าทิ้งทำให้เกิดเป็นเศษคอนกรีต (Crushed Concrete) เป็นจำนวนมาก ปัจจุบันได้มีการนำเศษคอนกรีต ไปใช้ประโยชน์หลักๆคือ ใช้ในการถมที่ (Landfill) และเป็นวัสดุถมที่ใช้ในการป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง ของแม่น้ำ ส่วนมากมีการนำคอนกรีตเหล่านั้นไปใช้ในการถมที่ ซึ่งการนำเศษคอนกรีตหักมาถมที่อาจทำให้เกิดปัญหาการตอกเสาเข็มไม่ลงในภายหลังได้ ปัจจุบันได้มีการวิจัยในการนำ เศษคอนกรีตหักมา ใช้เป็นมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ในคอนกรีต เนื่องจากการเป็นการช่วยลดขยะจากเศษคอนกรีต ซึ่งเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังช่วยลดการใช้หินใหม่ ลดการทำลายแหล่งหินที่ จะนำมาใช้เป็นมวลรวมหยาบ และปัญหาที่เกิดจากขบวนการผลิตมวลรวมหยาบโดยเฉพาะฝุ่นละอองและการทำลายธรรมชาติที่เกิดจากขบวนการ โม่หิน ซึ่งโดยทั่วไปเศษคอนกรีตหักไม่มีต้นทุนทางด้านราคาค่าวัสดุ และอาจต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนำไปทิ้งด้วย ทำให้การใช้เศษคอนกรีตหักยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างได้อีกด้วย แต่ในปัจจุบันยังในประเทศไทยยังไม่มีข้อมูลรองรับที่มากเพียงพอและยังไม่มีการยอมรับในการใช้งานทางด้านการใช้วันกำลัง

1.3 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการทำโครงงานพิเศษนี้ก็คือ เพื่อเปรียบเทียบกำลังวับแรงอัดสูงสุดระหว่างคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตและหินผสมกันในสัดส่วนต่างๆ มาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบกับคอนกรีตธรรมดาที่ใช้หิน เป็นวัสดุมวลรวมหยาบ โดยทั้งหมดถูกควบคุมด้วยขนาดคละของมวลรวมหยาบในช่วงเดียวกัน รวมทั้งค่า Water Cement Ratio และค่าการยุบตัว(Slump)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงความแตกต่างของค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังแรงดึงของคอนกรีตที่ใช้เศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตผสมกับหินในสัดส่วนต่างๆมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ กับคอนกรีตธรรมดาที่ใช้หินเป็นวัสดุมวลรวมหยาบที่ Water Cement Ratio ค่าการยุบตัว(Slump) เดียวกันและขนาดคละในช่วงเดียวกัน

1.4.2 ทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบไปใช้ โดยดูจากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ได้จากการเปรียบเทียบในข้อ 1.4.1 โดยดูความเหมาะสมของ โครงสร้างที่จะนำไปใช้

1.4.3 ทราบค่าความแตกต่างของหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตมาเป็น วัสดุมวลรวมหยาบกับคอนกรีตธรรมดาที่ใช้หินเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

ในการทดสอบคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตผสมกับหินในสัดส่วนต่างๆมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบกับคอนกรีตธรรมดาที่ใช้หิน เป็นวัสดุมวลรวมหยาบนั้นจะพิจารณาควบคุมตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตดังต่อไปนี้

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 7 ถึง 10 ซม. ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

1.5.6 การทดสอบนี้เป็นผลการทดสอบเฉพาะในห้อง Laboratory

1.5.7 ในขั้นตอนการทดสอบรับแรงอัดของคอนกรีตนั้น จะเป็น Unconfined Compression Test คือเป็นทดสอบแรงอัด โดยใส่แรงเข้าไปเพียงแกนเดียว

1.5.8 ในขั้นตอนการทดสอบรับแรงดึงโดยวิธีการผ่าซีก (Splitting Tensile Test)

1.5.9 ในการทดสอบนั้นจะแบ่งสัดส่วนออกเป็น 4 สัดส่วน คือเศษคอนกรีตต่อหิน 0:100, 25:75, 50:50 และ 75:25 ในแต่ละสัดส่วนจะทำการทดสอบกำลังแรงอัดและกำลังแรงดึงทั้งหมด 18 ตัวอย่าง ทดสอบคอนกรีตที่อายุ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน โดยจะทำการทดสอบ 72 ตัวอย่าง แล้ว นำมาหาค่าเฉลี่ย ทำการออกแบบค่ากำลังอัดที่ 280 ksc อ้างอิงจาก water cement ratio ใน mixed design โดยใช้วัสดุมวลรวมหยาบจากหินย่อยจากเศษคอนกรีตที่มีกำลังอัด 280 ksc จึงสรุปได้ว่ามี ทั้งหมด 4 case ทำ case ละ 18 ตัวอย่าง ดังนั้นจึงรวมทั้งหมดเป็น 72 ตัวอย่าง

1.5.10 ใช้น้ำประปาในการผสมคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมรวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในการน่าเศษคอนกรีตมาใช้เป็นมวลรวมหยาบในคอนกรีตได้ถูกดำเนินการมาเป็นเวลาหลายปีแล้วทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ ทั้งนี้เนื่องมาจากความต้องการในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากเศษขยะในการรื้อถอนโครงสร้างและปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะฝุ่นละอองและการทำลายธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ที่เกิดจากขบวนการโม่หิน เนื่องจากว่าปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกๆ ปีเนื่องจากมีการก่อสร้างที่ เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ที่เพิ่มมากขึ้นทุกๆ ปี ในขณะที่หน่วยงานท้องถิ่นไม่ได้ให้ความสำคัญในการจัดการกับของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนเหล่านี้อย่างเหมาะสม ทำให้ของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนบางส่วนถูกนำไปแอบทิ้งอย่างผิดกฎหมายตามที่ว่าง มีบางส่วนที่เอกชนนำไปถมที่โดยไม่มีการแยกวัสดุอันตราย วัสดุที่ไม่ควรนำไปถมที่ และวัสดุที่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ บางส่วนทิ้งรวมไปกับขยะมูลฝอยชุมชนเพื่อไปฝังกลบ ซึ่งจะทำให้อายุของหลุมฝังกลบลดลงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทำให้ใช้ทรัพยากรได้ไม่คุ้มค่า จึงมีงานวิจัยหนึ่งที่ได้มีการศึกษาปริมาณและองค์ประกอบของของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารใน กรุงเทพมหานคร ซึ่งได้ประเมินจาก 4 กิจกรรมคือ การก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัย การก่อสร้างอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย การรื้อถอนอาคารที่อยู่อาศัย และการรื้อถอนอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ของเสียจากการก่อสร้าง

2.1.1 อาคารที่อยู่อาศัย

ตารางที่ 2.1 ของเสียที่ประเมินได้จากการก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัย (บ้าน 2 ชั้น) 332 ตารางเมตร
ที่มา: อุษณีย์ อุยะเสถียร และ อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย (พ.ศ.2550)

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
รวม	15,032.40	100.00	22,303.20	100.00	18,667.80	100.00
อัตราการผลิตของเสีย (กก./	45.28		67.18		56.23	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 อาคารที่ไม่เป็นที่อยู่อาศัย

ตารางที่ 2.2 ของเสียที่ประเมินได้จากการก่อสร้างอาคารที่ไม่เป็นอยู่อาศัย (สถาบันการศึกษา) 20,050 ตารางเมตร ที่มา: อุษณีย์ อุยะเสถียร และ อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย (พ.ศ.2550)

ประเภทของวัสดุ	ค่าต่ำสุด		ค่าสูงสุด		ค่าเฉลี่ย	
	น้ำหนัก (กก.)	%	น้ำหนัก (กก.)	%	น้ำหนัก (กก.)	%
คอนกรีต	338,382.00	60.82	353,391.00	53.11	345,886.00	56.62
เหล็ก	109,398.00	19.66	158,583.00	23.83	133,990.00	21.94
อิฐมวลเบา	55,612.00	10.00	92,686.00	13.93	74,149.00	12.14
ไม้	45,013.00	8.09	45,026.00	6.77	45,020.00	7.37
หินแกรนิต	4,493.00	0.81	8,987.00	1.35	6.77	1.10
กระเบื้องเซรามิก	1,440.00	0.26	2,729.00	0.41	2,084.00	0.34
ยิบซั่มบอร์ด	987.00	0.18	1,975.00	0.30	1,481.00	0.24
กระเบื้องยาง	581.00	0.10	1,162.00	0.17	872.00	0.14
ไฟเบอร์ซีเมนต์และอลูมิเนียม	424.00	0.08	848.00	0.13	636.00	0.11
รวม	556,330	100	665,387	100	610,858	100
อัตราการผลิตของเสีย (กก./ตร.ม.)	27.75		33.17		30.47	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ของเสียจากการรื้อถอน

2.2.1 อาคารที่อยู่อาศัย

ตารางที่ 2.3 ของเสียที่ประเมินได้จากการรื้อถอนอาคารที่อยู่อาศัย (บ้าน 2 ชั้น) ที่มา: อุษณีย์ อุยะเสถียร และ อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย (พ.ศ.2550)

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	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 อาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย

ตารางที่ 2.4 ของเสียที่ประเมินได้จากการรื้อถอนอาคารที่ไม่ใช่อยู่อาศัย (สถาบันการศึกษา) 20,050 ตารางเมตร ที่มา: อุษณีย์ อุยะเสถียร และ อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย (พ.ศ.2550)

ประเภทวัสดุ	น้ำหนัก (กก.)	%
คอนกรีต	32,032,427.00	88.56
อิฐมวลเบา	1,853,730.00	5.13
เหล็ก	1,767,919.00	4.89
หินแกรนิต	299,544.00	0.83
กระเบื้องเซรามิก	81,019.00	0.22
ยิปซั่มบอร์ด	65,846.00	0.18
กระเบื้องยาง	38,695.00	0.11
ไฟเบอร์ซีเมนต์	20,827.00	0.06
ไม้และอลูมิเนียม	7,455.00	0.02
รวม	36,169,166.00	100.00
อัตราการผลิตของเสีย (กก./ตร.ม)	1,803.94	

จึงสรุปได้ว่าอัตราการผลิตของเสียจากการก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยที่ประเมินได้จากการศึกษานี้มีค่า 56.23 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และ 30.47 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ สำหรับอัตราการผลิตของเสียจากการรื้อถอนอาคารที่อยู่อาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยที่ ประเมินได้มีค่า 984.66 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และ 1,803.44 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งที่สังเกตเห็นว่าจากตารางทั้ง 4 ตารางว่า มีปริมาณคอนกรีตจำนวนมากมายที่เป็นของเสีย ทางกลุ่มของข้าพเจ้าจึงมีความคิดที่จะศึกษาการนำ เศษคอนกรีตเหล่านี้มารีไซเคิล และได้มีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.3 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การวิจัยการนำเศษคอนกรีตมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบผสมคอนกรีตแทนหินย่อย ปี 2553, นายศักดิ์ชัย วงษ์ชัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้นำเศษคอนกรีต 2 ชนิดมาใช้ คือ ใช้เศษคอนกรีตที่มีความต้านแรงอัดทั่วไป กับเศษคอนกรีตที่ดัดเฉพาะความต้านแรงอัดไม่น้อยกว่า 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความต้านแรงอัดที่ออกแบบให้เท่ากัน ว่าความต้านแรงอัดที่ ทดสอบออกมาได้จริงมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการออกแบบ ส่วนผสมคอนกรีตที่มีความต้านแรงอัด 150, 210, 240, 280 และ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมความสามารถของแท่งตัวอย่างคอนกรีต ที่ใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบ ว่าจะสามารถต้านแรงอัดตามที่กำหนดไว้หรือไม่ เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกความต้านแรงอัดที่ใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบในอนาคต จากการวิจัยนำเศษคอนกรีตมาใช้เป็นวัสดุมวล รวมหยาบผสมคอนกรีตแทนหินย่อย ผลของการทดสอบตามส่วนผสมในขนาดค่าความต้านแรงอัด ต่าง ๆ กัน การนำเศษคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดต่าง ๆ กันมาใช้ เป็นส่วนผสมแทนหินย่อยนั้น สามารถ สรุปผลสำเร็จของงานที่จะนำไปใช้งานได้จริงเป็น 2 ส่วน ดังนี้

(1) เศษคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ได้คัดแยก ค่าความต้านแรงอัดสามารถใช้เป็นมวลรวม หยาบแทนหินย่อยได้แต่ต้องเป็นคอนกรีตที่มีความต้านแรงอัดไม่สูงมากนักคือไม่เกิน 240กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสามารถใช้กันคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างบ้านพักอาศัย , รั้ว และถนนภายในอาคาร เป็นต้น

(2) เศษคอนกรีตที่คัดเฉพาะที่มีความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 350 กิโลกรัมต่อ ตารางเซนติเมตร สามารถใช้เป็นมวลรวมหยาบแทนหินย่อย ในการผสมคอนกรีตได้ถึงความต้านแรงอัด 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสามารถใช้กับคอนกรีตในงานก่อสร้างโครงสร้างขนาด ใหญ่ เช่น อาคารสูง, ถนน, สะพาน และคอนกรีตอัดแรง เป็นต้น แต่ต้องมีการศึกษาวิจัยคุณสมบัติ ของคอนกรีตด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) และอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio)

2.3.2 การใช้เศษโฟมมาทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต (สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ, 2549)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปัญหาขยะโฟมที่ไม่สามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติ โดยนำโฟมที่เหลือใช้มาย่อยให้ได้ขนาดตามต้องการ ผสมกับปูนซีเมนต์ขึ้นรูปเป็นวัสดุผสม โฟมซีเมนต์ ทั้งนี้จะคำนึงถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตด้านเชิงกล แบ่งการทดสอบเป็น 2ส่วน คือ การหาความเหมาะสมในการนำโฟมมาเป็นมวลรวมทดแทนหิน อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้0.4, 0.5, 0.6 สัดส่วนผสมซีเมนต์:ทราย:โฟม คือ 1:0.5:3, 1:0.5:4, 1:0.5:5 โดยปริมาตร ทำการ ทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ เลือกสัดส่วนผสมเพื่อทำคอนกรีต ใช้ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ คือ 0.7 อัตราส่วนซีเมนต์:ทราย:โฟม คือ 1:2.8:6.3, 1:2.2:5.3 โดยปริมาตร และทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15เซนติเมตร 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 พบว่าผลการ ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วน 1:2.2:5.3 โดยปริมาตร ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 อายุ การบ่มที่ 28 วัน ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดคือ 6.41 เมกกะปาสคาล และผลการทดสอบกำลังดัดของ คอนกรีต มีค่าโมดูลัสการแตกหัก เท่ากับ 1.42 เมกกะปาสคาล จากงานวิจัยครั้งนี้พบว่าสามารถ นำโฟมซีเมนต์ไปใช้ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตในงานโครงสร้างได้เนื่องจากมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้านการรับ กำลังและความเป็นไปได้ในการนำโฟมที่เหลือใช้หรือไม่ได้ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง

2.3.3 RCA จากส่วนที่เหลือของเสาเข็มคอนกรีต (เทอดศักดิ์ สายสุทธิ์, 2555)

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมด้วยมวลรวมหยาบคอนกรีตที่นำกลับมาใช้ใหม่ (RCA) หรือมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากส่วนที่เหลือของเสาเข็มคอนกรีต คอนกรีต ใหม่ที่ได้นี้จะถูกเรียกว่า “คอนกรีตรีไซเคิล ” หลักการก็คือ โดยใช้ RCA แทนที่มวลรวมหยาบ ธรรมชาติ (NCA) ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักตามลำดับเพื่อหาค่าการรับ กำลังอัดประลัยของคอนกรีตปกติหรือคอนกรีตธรรมชาติ (NC) และคอนกรีตรีไซเคิล (RC) ตาม มาตรฐาน BS 1881 ซึ่งใช้แบบหล่อเหล็กรูปลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร จำนวน 180 ตัวอย่าง และเพื่อหาค่าการรับกำลังดัดประลัยของ NC และ RC ตามมาตรฐาน ASTM C78 ซึ่งใช้ แบบหล่อคานขนาด 15x15x60 เซนติเมตร จำนวน 180 ตัวอย่าง โดยใช้ค่ากำลังอัดประลัยที่ออกแบบไว้เท่ากับ 210, 280 และ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นทำการบ่มตัวอย่างในน้ำ ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ รวมตัวอย่างทั้งสิ้นจำนวน 360 ตัวอย่าง จากการวิจัยพบว่า “ คอนกรีตรี ไซเคิล สำหรับค่ากำลังอัดประลัยที่ออกแบบไว้เท่ากับ 210, 280 และ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรโดยใช้ 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 “คอนกรีตรีไซเคิล จะมีค่ากำลังอัดประลัยและกำลังดัดประลัยลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 30 และ 33 ตามลำดับเมื่ออายุการบ่ม 28 วัน” คอนกรีตรีไซเคิลจะมีความเหมาะสมกับการใช้งานลักษณะต่างๆ เช่น งานถนนภายในโครงการ งานพื้นทางเท้า งานโครงสร้างอาคารชั่วคราวหรือโครงสร้างอาคารที่พักอาศัย เป็นต้นในอนาคตน่าจะมีการวิจัยต่อยอดสำหรับคอนกรีตรีไซเคิลนี้เช่น การใช้เถ้าลอย เถ้าชีวมวล ซิลิก้าฟูม กากแร่หรือสารเคมีผสมเพิ่ม เป็นต้น เพื่อเพิ่มค่ากำลังอัดประลัย ค่ากำลังดัดประลัย ค่าความคงทนและคุณสมบัติทางวิศวกรรมอื่นๆ เพราะว่า RCA นอกจากจะช่วยลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจแล้ว ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นการพัฒนาการใช้วัสดุก่อสร้างอย่างคุ้มค่า ยั่งยืนและบูรณาการ เนื่องจากมวลรวมหยาบรีไซเคิลสามารถนำมาใช้แทนมวลรวมหยาบธรรมชาติได้และเถ้าลอยหรือเถ้าชีวมวลก็เป็นวัสดุที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิต ที่สามารถนำมาใช้เพิ่มกำลังคอนกรีตได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

บทความนี้มุ่งหวังที่จะนำเถ้าชานอ้อยซึ่งเป็นของที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลมา ใช้เป็นวัสดุปอซโซลานเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านการรับกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษ คอนกรีตเก่า โดยออกแบบกำลังอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตควบคุมเท่ากับ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อย เศษคอนกรีตเก่าแทนหินปูนย่อยเพื่อผลิตคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการ ย่อยเศษคอนกรีตเก่า และใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ในคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบ จากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าในอัตราร้อยละ 20, 35 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ทำการทดสอบหาค่ากำลังอัด ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ และค่าความลึกคลอไรด์แทรกซึมของคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดของการใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าเพื่อให้ได้ทั้งกำลังอัดในช่วงอายุปลาย ความ ทึบน้ำ และความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ที่สูง คือร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน โดยการใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนสามารถช่วยให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน น้ำของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่ามีค่าต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน น้ำของคอนกรีตควบคุมประมาณ 2 ถึง 3 เท่า และต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่ ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าที่ไม่ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดประมาณ 3 ถึง 5 เท่า นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าให้สูงขึ้นได้อย่างชัดเจนโดยความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์จะสูงขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชานอ้อยบดละเอียดที่เพิ่มขึ้น

2.3.5 ผลกระทบจากการใช้เถ้าถ่านหินบดละเอียดต่อกำลังอัดและความทนทานของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีต (ปกป้อง รัตนชู, กฤษฎา เปรมฤทัย, วีรชาติ ตั้งจิรภัทร และชัย จาตุรพิทักษ์กุล 2558)

บทความนี้มุ่งศึกษาการนำเถ้าถ่านหินซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีต โดยหล่อคอนกรีตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.48 ควบคุมค่าการยุบตัวให้อยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 ซม. ใช้เถ้าถ่านหินบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 20, 35 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นแบ่งคอนกรีตออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากธรรมชาติ กลุ่มที่ 2 คือ คอนกรีตที่ใช้ทรายแม่น้ำและมวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีต และกลุ่มที่ 3 คือ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบจากเศษคอนกรีต ทำการทดสอบกำลังอัด ค่าสัมประสิทธิ์การซึมของน้ำผ่านคอนกรีต การแทรกซึมของอิออนคลอไรด์ และการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีต

ผลการทดสอบพบว่าการใช้เถ้าถ่านหินบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน สามารถช่วยพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีตให้สูงขึ้น โดยเฉพาะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตสามารถพัฒนากำลังอัดให้มีค่าเทียบเท่าคอนกรีตควบคุมได้ที่อายุ 28 วัน เถ้าถ่านหินบดละเอียดสามารถช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีตให้มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าถ่านหินบดละเอียดประมาณ 2 เท่า และต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมของน้ำผ่านคอนกรีตควบคุมประมาณ 1.5 เท่า นอกจากนี้การใช้เถ้าถ่านหินบดละเอียดเป็นวัสดุประสานส่งผลให้คอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีตมีความต้านทานการแทรกซึมของอิออนคลอไรด์ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ผลรทดลองยังได้แนะนำอัตราส่วนเถ้าถ่านหินบดละเอียดที่เหมาะสมที่ให้คุณสมบัติที่ดีทั้งด้านกำลังอัด การทึบน้ำ และความต้านทานการแทรกซึมของอิออนคลอไรด์ของคอนกรีต คือร้อยละ 35 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ส่วนการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีตมีค่าลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าถ่านหินบดละเอียดที่เพิ่มขึ้น

2.3.6 การศึกษาคอนกรีตมวลเบาผสมแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติ (นาย ประชุม คำพุฒและว่าที่ร้อยตรีกิตติพงษ์ สุวีโร , 2553)

งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราและเสริมแผ่นยางพารา โดยทำการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบ โดยใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ H/C = 0.63, H/C = 1.23, H/C = 1.83, H/C = 2.43 และ H/C = 3.03 ตามลำดับ ทำการขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ขนาด 190 x 390 x 70 มิลลิลิตร เพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบ คือ อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ H/C = 1.83 และขั้นตอนที่ 2 นำอัตราส่วนที่เหมาะสมในขั้นตอนที่ 1 (H/C = 1.83) มาทำการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ระหว่างคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบปกติ และคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารา โดยทำการทดสอบ ความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ, การเปลี่ยนแปลงความยาว และความต้านทางแรงอัด มาตรฐาน มอก.58-230 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก พบว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารา มีค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความต้านทานแรงอัด ใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา การเปลี่ยนแปลงความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารามีค่าน้อยกว่า และสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบได้ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราอยู่ประมาณ 1 องศาเซลเซียส

2.3.7 กรีนคอนกรีต ทางเลือกใหม่ของวัสดุก่อสร้าง (ชมพูนุท วีรกิตติ และ ปิยวรรณ กลิ่นศรีสุข ,2559)

หัวข้องานวิจัยที่เกิดขึ้นในภาคการศึกษามักมาจากปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นภาพใหญ่อย่างปัญหาของ “คอนกรีต” ที่มีส่วนประกอบสำคัญคือผงปูนซีเมนต์ ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลายอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากการผลิตผงปูนซีเมนต์นั้นประกอบด้วยแคลเซียม (Calcium) ออกซิเจน (Oxygen) ซิลิกอน (Silicon) โดยมีกระบวนการผลิตมาจากการเผาหินปูนที่อุณหภูมิกว่า 1,400 °C ในเตาเผาเพื่อให้ได้แร่ธาตุแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) และดินเหนียว ซึ่งกระบวนการให้ความร้อนนี่เองที่ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสู่ชั้นบรรยากาศจำนวนมากกว่าครึ่งต้นต่อการผลิตผงปูนซีเมนต์ทุกๆ 1 ตัน หรือกล่าวได้ว่าร้อยละ 5-8 ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโลกนั้นมาจากกระบวนการผลิตผงปูนซีเมนต์ สำหรับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้เริ่มตื่นตัวในประเด็นปัญหานี้ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและการศึกษา โดยเริ่มต้นที่รัฐบาลมาเลเซียซึ่งพยายามสนับสนุนการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในโครงสร้างของอาคารสีเขียว และสนับสนุนงานวิจัยจากคณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัย Universiti Teknologi MARA ในการพัฒนาคอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หรือที่เรียกว่า Green-mix Concrete ซึ่งออกแบบและผลิตโดยวิธีแบบเดิม แต่เปลี่ยนมาใช้วัตถุดิบบางส่วนจากขยะและวัสดุรีไซเคิลเพื่อให้ได้คุณสมบัติ ราคา และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามที่ต้องการ โดยกรีนคอนกรีตประเภทนี้ทำจากวัตถุดิบใหม่ๆ ประกอบด้วยเถ้าลอยซึ่งเคยเป็นของเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน เม็ดคอนกรีตรีไซเคิล และเส้นใยจากกระป๋องอลูมิเนียม ในระหว่างการวิจัยพบว่า เถ้าลอยมีศักยภาพที่จะแทนซีเมนต์ได้ กระป๋องอลูมิเนียมถูกเลือกใช้เพราะสามารถนำมาสับเป็นเส้นใยได้ง่าย และใช้เสริมแรงในคอนกรีต การผลิตคอนกรีตชนิดนี้แม้จะต้องการผู้เชี่ยวชาญทางเทคนิคที่มีความรู้เรื่องการออกแบบการผสมคอนกรีต เข้าใจวัตถุดิบที่นำมาใช้ และมีความรู้ใหม่ๆ ของกรีนคอนกรีต แต่ก็เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และยังมีราคาถูก จากการลดปริมาณวัตถุดิบที่ต้องซื้อและการออกแบบการผสมให้มีประสิทธิภาพ รวมทั้งผลลัพธ์ของกรีนคอนกรีตที่ได้ยังมีความแข็งแรงมากขึ้นถึงร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับคอนกรีตทั่วไป กล่าวโดยสรุปกรีนคอนกรีตมีประโยชน์ ดังนี้

1) ออกแบบเพื่อความแข็งแรงและสมรรถนะที่ได้มาตรฐานในระหว่างการใช้งานของอาคารหรือโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) มีสัดส่วนของซีเมนต์และคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยของคอนกรีตที่ผลิตต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไป มีศักยภาพในการนำไปผลิตเพื่อขาย โดยนำเสนอเป็นทางเลือกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมให้กับนักพัฒนาโครงการและผู้รับเหมาก่อสร้างได้

2.3.8 อิฐดินเหนียว วัสดุทางเลือกใหม่ แข็งแรงกว่าคอนกรีต 2 เท่า (watershed materials และ comdesignboom.com)

ผู้พัฒนาวัสดุก่อสร้าง Watershed Materials จากแคลิฟอร์เนีย ใช้เวลากว่า 4 ปี ในการวิจัยและพัฒนา 'อิฐดินเหนียว' เพื่อเป็นคอนกรีตทางเลือก โดยเปลี่ยนจากการใช้ซีเมนต์ มาเป็นวัสดุจากธรรมชาติ และใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุที่อยู่ในวัสดุเชื่อมประสานจีโอโพลิเมอร์ เพื่อช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวการหลักของภาวะโลกร้อน ทั้งนี้ การผลิตซีเมนต์ เพียงอย่างเดียว มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณมากถึง 6% จึงถือเป็นกระบวนการหนึ่งที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ หรือภาวะโลกร้อน การวิจัยและพัฒนาคอนกรีตทางเลือกในครั้งนี้ ได้รับการสนับสนุนอย่างเป็นทางการจากมูลนิธิวิทยาศาสตร์แห่งชาติสหรัฐฯ (NSF) สำหรับคอนกรีตทางเลือกที่คิดค้นขึ้น เป็นการผสมผสานทั้งความสวยงาม ความแข็งแรงคงทน มีความยืดหยุ่น ราคาถูก และที่สำคัญใช้ซีเมนต์น้อยกว่าเดิมถึง 50% และลดการใช้พลังงานในการผลิตมากถึง 65%

เทคโนโลยีของ Watershed Materials ยังดึงเอาความแข็งแรงจากแร่ธาตุต่าง ๆ รอบตัวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ทั้งแร่ธาตุจากหินปูน แกรนิต และไรโอไลท์ เป็นต้น สำหรับวัสดุธรรมชาติที่นำมาใช้แทนซีเมนต์คือ "ดินเหนียว" ที่หาได้ง่ายและมีอยู่ทุกหนแห่งทั่วโลก โดยการวิจัยค้นพบว่าคุณสมบัติของดิน ตอบสนองปฏิกิริยาทางเคมีได้เป็นอย่างดีกับวัสดุเชื่อมประสานจีโอโพลิเมอร์ (Geopolyme) ข้อดีที่ได้คืออายุการใช้งานยาวนาน ทนแรงกดดันได้สูง ทนต่อการกัดกร่อนจากเคมีภัณฑ์ และถือเป็นคอนกรีตทางเลือกที่ทนในทุกสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้ การทดสอบความทนแรงอัดยังพบว่า "อิฐดินเหนียว" สามารถทนรับแรงกดได้ที่ 7,000 แรงปอนด์/ตารางนิ้ว (psi) มากกว่า อิฐคอนกรีตธรรมดาทั่วไปถึง 2 เท่า

อนึ่ง การพัฒนาวัสดุก่อสร้างทางเลือก เพื่อความยั่งยืนเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ถือเป็นก้าวสำคัญของการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้น ในแง่ของการตระหนักและใส่ใจต่อธรรมชาติ โดยก่อนหน้านี้ ทีมนักวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซสต์ หรือ MIT ได้ร่วมกันพัฒนา "Eco-BLAC" อิฐทางเลือกเพื่อมาแทนที่อิฐมอญ หรืออิฐดินเผาแบบเดิม ๆ เนื่องจากเป็นการทำลายหน้าดินที่ใช้เป็นพื้นที่ในการเผาอิฐ ทั้งยังใช้ความร้อนในการเผาไหม้สูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส รบกวนพื้นที่เกษตรกรรม และสร้างมลภาวะทางอากาศ สำหรับอิฐทางเลือก "Eco-BLAC" จะผลิตจากขยะอุตสาหกรรม ประหยัดค่าใช้จ่าย และใช้พลังงานในกระบวนการผลิตน้อยเช่นกัน

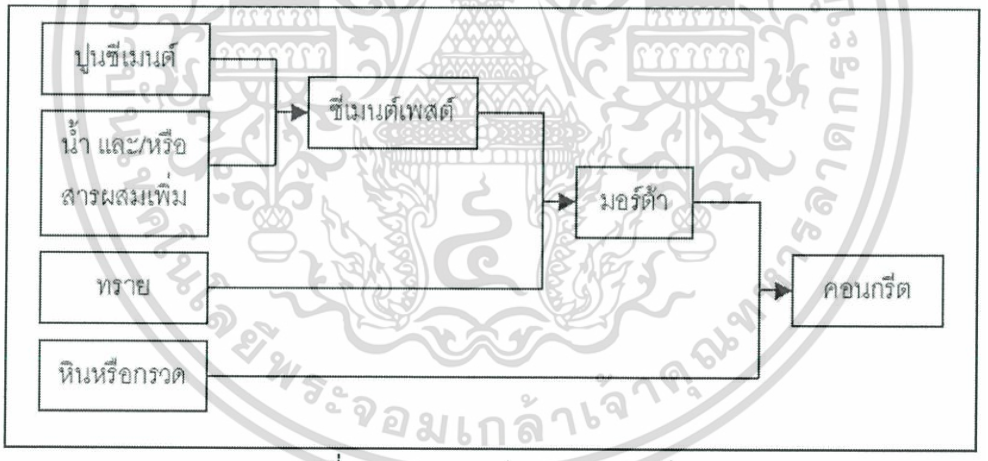
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเรื่องคอนกรีต

2.4.1 คอนกรีต

คอนกรีตได้อัดให้เป็นวัสดุที่ใช้สำหรับงานก่อสร้างอย่างแพร่หลายกันมานานหลายสิบ ปีแล้ว อันเป็นผลมาจากคุณลักษณะที่เด่น ๆ คือ คอนกรีตสามารถออกแบบหล่อหลอมเป็นโครงสร้าง หรือเป็นสิ่งก่อสร้างได้ทุกรูปลักษณะตามต้องการ คอนกรีตมีคุณสมบัติในการรับแรงอัดได้ดี และมี ความทนทานสูง ทั้งยังสามารถเลือกใช้ส่วนผสมให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ กัน เพื่อให้เหมาะ กันงานก่อสร้างแต่ละชนิดได้ นอกจากนี้คอนกรีตยังสามารถนำ มาใช้ร่วมกันวัสดุอื่น เช่น เหล็กจะ สามารถเพิ่มขีดความสามารถในการรับแรงต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม

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



รูปที่ 2.1 การผสมส่วนผสมคอนกรีต

2.4.2 ประเภทของคอนกรีต

คอนกรีตที่ใช้ในงานโครงสร้าง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

(1) คอนกรีตล้วน เป็นคอนกรีตอย่างเดียวล้วนๆ ไม่มีวัสดุอื่นมาเสริม จะใช้กับโครงสร้างรับแรงอัด

(2) คอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นคอนกรีตที่มีเหล็กเสริมร่วมกับคอนกรีต โดยหล่ออยู่ใน เนื้อคอนกรีต ใช้กับโครงสร้างที่รับแรงดึง และแรงอัด

(3) คอนกรีตอัดแรง เป็นคอนกรีตที่อัดแรงก่อนไร้ก่อนใช้งาน โดยการดึงเหล็กที่ทน แรงดึงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ยืดออก และตัดเหล็ก ปล่อยให้เหล็กพยายามหดตัวกลับจากจุดที่ยืดเป็นการอัดแรงให้กัน คอนกรีต คอนกรีตอัดแรงสามารถรับแรงได้ดีกว่าเพราะใช้ประโยชน์จากหน้าตัดคอนกรีต ได้ดีกว่า คอนกรีตเสริมเหล็ก

2.4.3 องค์ประกอบของคอนกรีต

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

(1) ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste)

— ส่วนประกอบ และหน้าที่ของซีเมนต์เพสต์

ซีเมนต์เพสต์ จะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ และอากาศ โดยทั่วไปในเนื้อคอนกรีตจะมีปริมาณของซีเมนต์เพสต์ประมาณ 23 - 40 % โดยปริมาตร ในซีเมนต์เพสต์จะมี ปริมาตรของปูนซีเมนต์ 3 - 15 % น้ำ 14 - 21 % และปริมาตรของอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่าง ประมาณ 8 % หน้าที่หลักๆ ของซีเมนต์เพสต์ คือ เป็นตัวยึดวัสดุมวลรวมเข้าด้วยกัน

— คุณภาพของซีเมนต์เพสต์

คุณภาพของซีเมนต์ส่วนใหญ่ดูที่กำลัง (Strength) เป็นหลักกำลังของซีเมนต์ เพสต์จะขึ้นอยู่กันอัตราส่วนของน้ำ ต่อซีเมนต์ (Water/Cement ratio) โดยกฎ อัตราส่วนน้ำ ต่อ ซีเมนต์มาก (น้ำมากปูนน้อย) กำลังของซีเมนต์เพสต์ก็จะน้อย ในทางกลับกันถ้าอัตราส่วนน้ำต่อ ซีเมนต์น้อย (น้ำน้อยปูนมาก) กำลังของซีเมนต์เพสต์จะมากตาม ฉะนั้น การควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ใน การผสมคอนกรีตจึงเป็นเรื่องสำคัญที่สุด การเพิ่มน้ำเพื่อให้คอนกรีตเหลวขึ้น ทำงานได้ง่ายขึ้น โดยไม่ เพิ่มปูนซีเมนต์ด้วยจะทำ ให้คอนกรีตที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่าที่ต้องการ

— ปฏิกิริยาระหว่างน้ำและปูนซีเมนต์

เมื่อนำน้ำมาผสมกับปูนซีเมนต์จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮ เดรชั่น (Hydration) ซึ่งจะทำ ให้ปูนซีเมนต์แปรสภาพจากเม็ดเล็กละเอียด เป็นวัสดุที่มีลักษณะคล้าย เจลาติน (หรือวุ้น) ซึ่งจะค่อย ๆ แข็งตัวขึ้นตามลำดับ ตราบเท่าที่ยังมีน้ำเข้าทำปฏิกิริยาอยู่ นั่นคือ ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กันน้ำจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเริ่มต้นตอนแรก และจะช้าลง ตามลำดับในตอนหลัง ดังนั้นปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยเพียงใด ขึ้นกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ ในคอนกรีตนี่เอง ที่หลังจากที่เทคอนกรีตและถอดแบบแล้วต้องทำการบ่มคอนกรีตทันที จุดประสงค์ก็คือ เพื่อให้มีน้ำเข้าทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ตลอดไม่ขาดตอน ผลลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น นอกจากจะทำ ให้ซีเมนต์เพสต์แข็งตัวแล้ว ยังมีความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาด้วย ความร้อนที่เกิดขึ้น จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Heat of Hydration) จะระบายผ่านออกมา ทางเนื้อคอนกรีต แต่ถ้าหากมี ความร้อนมากๆ จะทำ ให้คอนกรีตเสียกำลังไปและอาจทำ ให้คอนกรีตแตกร้าวได้ เนื่องจากแรงดันภายในคอนกรีต ฉะนั้น ในการเทคอนกรีตขนาดใหญ่หนาๆ (เช่น ฐานรากขนาดใหญ่) ความร้อนจะ ระบายออกไม่ทัน ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้สารผสมเพิ่ม เพื่อลดปริมาณความร้อนที่จะเกิดขึ้น

(2) วัสดุมวลรวม (Aggregates)

วัสดุมวลรวม คือ ส่วนผสมคอนกรีตที่ยึดเข้าไว้ด้วยกันด้วยซีเมนต์เพสต์ วัสดุมวลรวมนี้จะได้จากธรรมชาติ เป็นแร่ธาตุเฉื่อยไม่มีปฏิกิริยา ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ หินอ่อน หินกรวด และ ทรายหยาบ การเลือกใช้วัสดุมวลรวมมีส่วนสำคัญที่ช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดี

— ประเภทของวัสดุมวลรวม

วัสดุมวลรวม สามารถแบ่งตามลักษณะขนาดได้เป็น 2 ชนิด คือ

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

2. วัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse aggregate) หมายถึง วัสดุมวลรวมที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม. ขึ้นไปหรือที่ไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ซึ่งได้แก่ หินย่อย ,กรวด การเลือกใช้วัสดุมวลรวมหยาบ อาจกำหนดขนาดเพื่อให้เหมาะสมกับโครงสร้างนั้น ๆ เช่น ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมหยาบอาจเป็น 1 ใน 5 ของความหนาคานหรือ 1 ใน 3 ของความหนา ของแผงพื้น

— คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุมวลรวม

วัสดุมวลรวมเป็นองค์ประกอบหลักของคอนกรีต ดังนั้น คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม จึงมีผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตโดยตรง คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุมวลรวมจะมี ดังต่อไปนี้

1. กำลัง (Strength) วัสดุมวลรวม ต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้ไม่ น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีต โดยทั่วไปหินจะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตมาก กำลังรับ แรงอัดของหิน มีค่าประมาณ 700 ถึง 3,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความทนทานต่อการสึกหรอ (Abrasive resistance) หินที่นำมาผสม คอนกรีตในงาน ต้องทนทานต่อแรงกระแทกและเสียดสีมากๆได้โดยเฉพาะคอนกรีตที่ใช้ทำ พื้นหรือ ถนน ซึ่งต้องเผชิญการเสียดสีอยู่ตลอดเวลา
3. ความทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature resistance) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำ ให้คอนกรีตเกิดการขยายตัวและหดตัว หากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ บ่อยๆซ้ำๆตลอดเวลา จะทำ ให้เกิดหน่วยแรงมากพอที่จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้ วัสดุผสมจึง ควรทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี คือ ไม่ขยายหรือหดตัวมากและทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบ่อยๆซ้ำๆได้ดี
4. ความคงตัวต่อปฏิกิริยาเคมี วัสดุมวลรวมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมี กับปูนซีเมนต์
5. รูปร่าง และผิว (Particle shape and Surface texture) มีความสำคัญ ต่อการยึดเกาะกับซีเมนต์เพสต์ และ ความสามารถเทได้ของคอนกรีต ดังนั้น วัสดุที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นแง่เหลี่ยมคม และผิวหยาบเพื่อช่วยในการยึดเกาะ และไม่ควรมีรูปทรงเป็นแผ่นแบนๆ หรือเป็นชิ้นยาวๆ เพราะจะทำ ให้เทได้ยาก ควรมีรูปทรงก้อนกลมหรือลูกบาศก์
6. ความสะอาด (Cleanliness) วัสดุมวลรวม ต้องสะอาดมีสารที่จะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีตน้อยที่สุด สารเหล่านี้ได้แก่ เปลือกหอย ซานอ้อย ถ่านหิน ถ่านเศษไม้ เศษกระดาษ ก้อนหิน โคลนเลน ฝุ่นหรือผงละเอียด (Silt) ถุงพลาสติก ใบไม้ เป็นต้น สิ่งดังกล่าวนี้ทำให้ความทนทานและแรงยึดเหนี่ยวลดลงบางครั้งทำให้คอนกรีตร้าว, มีกำลังต่ำ, แข็งตัวช้า ปริมาณสิ่งเจือปนที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีตจะต้องมีไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณของสิ่งเจือปนที่ยอมให้วัสดุมวลรวม

สิ่งเจือปนในวัสดุผสม	เปอเซ็นต์ที่ยอมให้สูงสุดโดยน้ำหนัก	
	ในวัสดุผสมละเอียด	ในวัสดุผสมหยาบ
1. ดินเหนียว	1	1
2. ฝุ่นหรือผงละเอียดที่ผ่านตระแกรงมาตรฐาน เบอร์200		
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. วัสดุอ่อน (เช่น รากไม้. เศษไม้)	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ความลดหลั่นของขนาด หรืออัตราส่วนขนาดคละ (Gradation) วัสดุมวล รวมที่ใช้ผสมทำคอนกรีตจะต้องมีความลดหลั่นของขนาดที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยให้เรียงตัวกันได้แน่น และมีช่องว่างน้อย ทำ ให้คอนกรีตมีกำลังมากขึ้น ทั้งยังช่วยให้ทำงานได้ง่าย เกณฑ์กำหนดส่วนคละ ของขนาดวัสดุมวลรวม มีแสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์กำหนดอัตราส่วนขนาดคละของวัสดุ

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์สะสมที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาดต่างๆ				
	ทราย	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 3/4"	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 1"	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 1 1/2"	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 2"
2 นิ้ว			0	0	0-5
1.5 นิ้ว			0	0 - 5	-
1 นิ้ว		0	0-5	-	30-65
0.75 นิ้ว		0 - 10	-	30 - 65	-
0.5 นิ้ว		-	40-75	-	70-90
0.375 นิ้ว	0	45-80	-	70 - 90	-
เบอร์ 4	0-5	90-100	90 - 100	95 - 100	95 - 100
เบอร์ 6	0-20	95-100	95 - 100		
เบอร์ 16	15-50				
เบอร์ 30	40-75				
เบอร์ 50	70-90				
เบอร์ 100	90-98				

8. ความชื้นและการดูดซึม (Moisture and Absorption) ภายในก้อนของ วัสดุมวลรวม จะประกอบไปด้วย เนื้อและช่องว่าง ช่องว่างและเนื้อเหล่านี้จะเก็บดูดความชื้นในอากาศเข้าไว้ทำให้วัสดุอยู่ในสภาวะใดสภาวะหนึ่ง ในสี่สภาวะต่อไปนี้

ก) แห้งด้วยเตาอบ คือ แห้งสนิทโดยตลอด ทำ ให้วัสดุสามารถดูดความชื้นได้เต็มที่

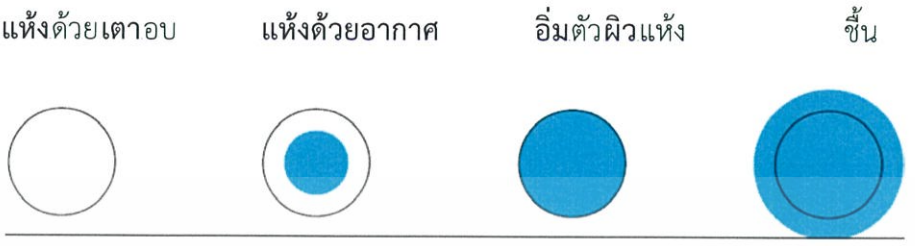
ข) แห้งด้วยอากาศ คือ แห้งที่ผิวแต่มีความชื้นอยู่ภายในช่องว่างข้างใน ทำ ให้วัสดุสามารถดูดความขึ้นได้บ้าง

ค) อิ่มตัวผิวแห้ง คือมีความชื้นทั่วถึงตลอด สภาวะนี้ถือว่าดีที่สุดสำหรับใช้ ผสมคอนกรีต เพราะจะไม่ดูดหรือคายความชื้น

จ) ชื้นหรือเปียก คือ มีน้ำอยู่รอบผิววัสดุสภาพความชื้น และการดูดซึมของ วัสดุ จะมีผลต่อปริมาณน้ำที่ใช้ผสม คอนกรีต หากวัสดุสามารถดูดความชื้นได้น้ำใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตจะถูกดูด ไป ทำให้มีปริมาณน้ำที่เข้าทำ ปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์น้อยลง หรือถ้าวัสดุมีความชื้นมากเกินไป ปริมาณน้ำในคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น เท่ากับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.2 สภาวะของวัสดุมวลรวม

9. การพองตัว (Particle shape and Surface texture) ดังได้กล่าวแล้วว่า ความ'สัน ที่'วัสดุมวลรวมเป็นตัวการสำคัญ ทำให้ต้องควบคุมส่วนผสม และอัตราส่วนปริมาณน้ำนอกจากนั้นแล้ว ความชื้นที่ผิวจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างเม็ดทรายทำ ให้เม็ดทรายแยกตัวห่างออก จากกันปริมาตรจึงเพิ่มขึ้นหรือที่เรียกว่าทรายพองตัว (Bulking of Sand) ปริมาตรการพองตัวขึ้นอยู่ กับเปอร์เซ็นต์ของความชื้นและขนาดของวัสดุมวลรวม วัสดุมวลรวมที่ละเอียดกว่าจะพองตัวมากกว่า เมื่อความชื้นเท่ากัน สำหรับทรายละเอียดจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นถึง 40 % ทรายหยาบอาจเพิ่มขึ้นถึง 25 % ซึ่งทำ ให้หน่วยน้ำหนักของทรายละเอียดลดลง 25 % ทรายหยาบลดลง 15 % ตามสำหรับ แต่ เมื่อทรายอิ่มตัวปริมาตรจะคงที่
10. โมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) ค่าโมดูลัสความละเอียด (ค่า FM) นี้เป็นเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในวัสดุมวลรวมที่กำหนด นั่นคือวัสดุมวลรวมยิ่งหยาบ ค่า FM ยิ่งสูงขึ้น สำหรับทรายที่ใช้ทำคอนกรีต ควรมีค่า FM ระหว่าง 2.25-3.25 หินที่ใช้ผสมคอนกรีต ควรมีค่า FM ระหว่าง 5.5-7.5
11. ขนาดโตสุดของวัสดุมวลรวม (Maximum size of Aggregate) ขนาดโต สุดของวัสดุมวลรวม ต้องอยู่ในเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน และต้องไม่โต กว่า 1/5 ของด้านที่แคบสุดของ แบบหล่อ หรือไม่โตกว่า 3/4 ของระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมแต่ละเส้น หรือแต่ละมัด ทั้งทางดิ่งและ ทางระดับ ขนาดของหินเบอร์ต่าง ๆ มีแสดงในตารางที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ในที่นี้จะแยกพิจารณา คุณสมบัติของคอนกรีตใน 2 ลักษณะ คือ คอนกรีตในสภาพที่ยังเหลว และคอนกรีตในสภาพที่แข็งตัวแล้ว

(1) คอนกรีตในสภาพที่ยังเหลว มีคุณสมบัติอยู่ 2 ประการที่ควรพิจารณา คือ

1) ความสามารถเทได้ (Workability) ความสามารถเทได้หรือความคล่องตัวใน การเท คือ ผลรวมของพลังงานที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคส่วนผสมในคอนกรีต และแรงเสียดทานระหว่างคอนกรีต กับแบบหล่อและเหล็กเสริมคอนกรีต หากคอนกรีตมี ความสามารถเทได้ดี คอนกรีตจะไหลได้เต็มแบบ และหุ้มเหล็กเสริมได้ดี ทั้งยังสามารถทำ ให้แน่นได้ โดยปราศจากการแยกตัวปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตได้แก

- ปริมาณน้ำในส่วนผสม น้ำมากจะช่วยเพิ่มการหล่อลื่นให้คอนกรีต แต่เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะมีช่องว่างในคอนกรีตมากทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง
- คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ และวัสดุมวลรวม
- ส่วนผสมของคอนกรีต ถ้าใช้ทรายมากจะมีความสามารถการเทได้มากขึ้นแต่กำลังจะลดลง
- สารผสมเพิ่ม

การทดสอบความสามารถเทได้ของคอนกรีตที่ใช้กันแพร่หลาย คือ การทดสอบหาค่ายุบตัว (Slump Test) ตัวอย่างค่ายุบตัวที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างทั่วๆ ไปในประเทศไทยมีแสดงไว้ในตารางที่2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ค่ายุบตัวสำหรับงานก่อสร้างชนิดต่างๆ

ชนิดของงานก่อสร้าง	ค่ายุบตัว (ซม.)
ฐานราก	7.5 +/- 2.5
แผนพื้นคานผนังค.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
เสาเข็มเจาะระบบแห้งหรือเสาเข็มขนาดเล็ก	10.0+/-2.5
งานเทคอนกรีตใต้น้ำ (Trimie)	มากกว่า15
เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่	มากกว่า15
งานคอนกรีตที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	มากกว่า15

2) การอยู่ตัว (Soundness) การอยู่ตัวหรือความข้นเหลวหมายถึงการที่คอนกรีตคงความสม่ำเสมอของเนื้อคอนกรีตตลอดช่วงเวลาที่เท หรือขนย้าย คอนกรีตที่มีการอยู่ตัวดี จะสามารถอัดแน่นในแบบหล่อได้ดี โดยไม่เกิดการแยกตัว (Segregation) และไม่เกิดการเยิ้ม (Bleeding) ในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือวัดค่าการอยู่ตัวจะอาศัยการสังเกตเป็นหลัก

(2) คอนกรีตในสภาพที่แข็งตัวแล้วคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีหลายประการ แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดคือ กำลังของคอนกรีต (Strength) กำลังของ คอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ปัจจัยที่สำคัญมากอย่างหนึ่งคือ อัตราส่วนน้ำ-ซีเมนต์ (water-cement ratio [w/c]) ถ้าใช้น้ำผสมคอนกรีตมากกำลังของคอนกรีตจะน้อย การที่กำลังของคอนกรีต ที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ นั้นเป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับซีเมนต์น้ำจึงมีความจำเป็นอย่างมากต่อกำ ลังของคอนกรีต ดังนั้น ในงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อผสมคอนกรีตจะต้องควบคุมปริมาณน้ำ ที่ใช้ผสมคอนกรีตให้ได้ตามที่ออกแบบส่วนผสม และเมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัวจะต้องคอยควบคุมให้ คอนกรีตสูญเสียน้ำน้อยที่สุด โดยปกติแล้วถือเอากำลังของคอนกรีตเมื่ออายุครบ 28 วัน เป็นมาตรฐานในการบอกกำลังของคอนกรีตและกำลังของคอนกรีตจะหาจากแท่งคอนกรีตรูป ทรงกระบอกหรือแท่งคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 ปูนซีเมนต์

(1) ลักษณะของปูนซีเมนต์

คำว่าปูนซีเมนต์ เป็นคำ เรียกสั้นๆ ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ปูนซีเมนต์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากเผาส่วนผสมต่าง ๆ แล้วผสมกันเป็นเนื้อเดียวส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของปูนซีเมนต์ คือ แคลเซียม และอลูมิเนียมซิ ลิเกต ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (HYDRATION) ซึ่งจะ ทำ ให้ปูนแข็งตัว มีคุณสมบัติในการเป็นตัวประสานวัสดุมวลรวมเข้าด้วยกัน

(2) ประเภทของปูนซีเมนต์ แบ่งตาม มาตรฐาน มอก.

สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ASTM) และสำนักงานมาตรฐานลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทยได้แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็นประเภทใหญ่ๆได้ 5 ประเภท คือ

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา(Ordinary Portland Cement) สำ หรับใช้ในการทำคอนกรีตที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และใช้ในงานคอนกรีตตามปกติทั่วไป ที่ไม่อยู่ในสภาวะอากาศรุนแรง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราทีพีไอสีแดง ตราพญานาคสีเขียว และตราเพชรเม็ดเดียว
2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสอง คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำ หรับใช้โนการทำคอนกรีตที่เกิดความร้อนต่ำและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงกันดินหนาๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ตอม่อสะพาน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร
3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสาม คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (High-Early strength Portland Cement) หรือที่เรียกว่าซูเปอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังสูงในระยะแรก เนื้อปูนมีลักษณะเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ผลิตได้โดยการ เปลี่ยนสัดส่วนส่วนผสม โดยการเติมสารอื่นและโดยการบดให้ละเอียดยิ่งขึ้นหรือโดยการเผาให้ดีขึ้น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็วมีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการความเร่งด่วนหรือในกรณี ที่ต้องการรื้อแบบหล่อเร็ว ๆ เช่น เสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้นและคานที่ต้องการจะใช้เร็ว เป็นต้น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง ตรา สามเพชร
4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสี่ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิด ความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้กันมากในการก่อสร้างคอนกรีตหลา เช่น เขื่อนเป็นต้น เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำ กว่า ปูนซีเมนต์ชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้า คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์สำหรับใช้กันโครงสร้าง ที่อยู่ภายใต้สภาพที่ มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น ในน้ำทะเล หรือในดินที่มีด่าง (Alkaline) สูง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทนี้ มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่งตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม

(3) ประเภทของปูนซีเมนต์ ที่ไม่แบ่งตามมาตรฐาน มอก.

นอกจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐานมอก.ทั้ง 5 ประเภทข้างต้นแล้ว ยัง มีปูนซีเมนต์ประเภทอื่นที่สำคัญอีก คือ

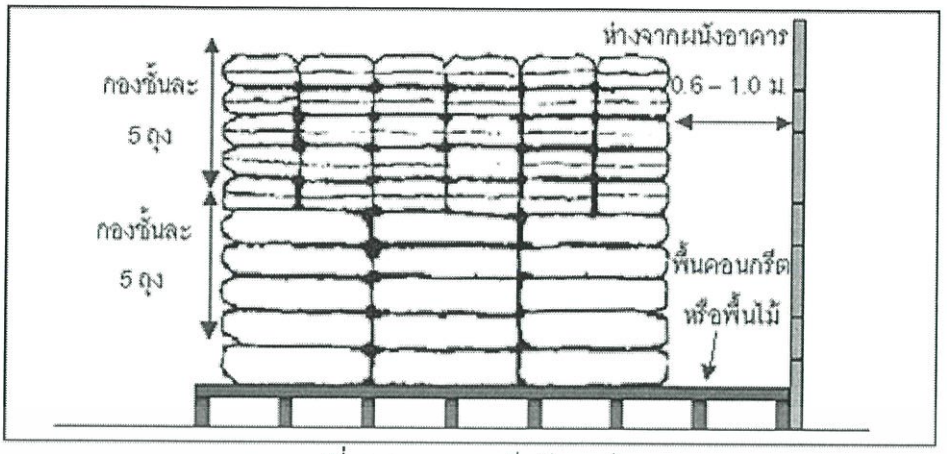
1) ปูนซีเมนต์ซัลเฟตสูง (Super-Sulfated Cement) คือ ปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดส่วนผสมของเม็ดตะกรันเตาถลุง,แคลเซียมซัลเฟต และปูน ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาเข้าด้วยกัน มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเล และพวกซัลเฟตได้ดี ทั้งยังทนทานต่อ กรด และน้ำมัน

2) ปูนซีเมนต์ซิลิก้า (Cilica) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ทาง ม.อ.ก. เรียก " ปูนผสม " ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ คือ ปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดเม็ดปูนของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดากับทราย ประมาณ 25 - 30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเนื้อซีเมนต์จึงมากขึ้นและมีราคาถูกลง มีลักษณะแข็งตัวช้าไม่ยืดหรือหดตัวมาก เหมาะกับงานก่อ งานถือปูนหรืองานที่ไม่ต้องการกำลังของคอนกรีตมากๆ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเสือ ตรางูเห่า และตรานกอินทรีย์ เป็นต้น

(4) การเก็บปูนซีเมนต์

การเก็บปูนซีเมนต์ไว้ใช้งาน เป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากปูนซีเมนต์เป็นวัตถุที่ถูกความชื้นจากอากาศ หรือของที่อยู่ใกล้เคียงได้ง่าย เมื่อปูนซีเมนต์ได้สัมผัสกับ ความชื้นจะเกิดเป็นเม็ดและก้อนแข็ง ถ้าหากความชื้นมีเพียง 1 - 2 % ก็ไม่ถือว่าเกิดความเสียหายแต่ อย่างใด แต่ถ้ามากไปกว่านี้ จะให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวช้าลง และกำลังก็จะลดลงด้วย และถ้าดูดความชื้น เข้าไว้มากกว่า 5 % แล้วปูนซีเมนต์นั้นจะเป็นก้อนแข็งใช้งานไม่ได้วิธีเก็บปูนซีเมนต์อย่างดีที่สุด คือ เก็บไว้ในสถานที่แห้งมีหลังคาและผนังปกคลุมมิดชิด โดยการเก็บควรเก็บไว้เป็นปริมาณมาก ๆ ในที่ เก็บแห่งเดียวการกองเก็บปูนซีเมนต์ควรกองเก็บให้มีอากาศผ่านเข้าภายในกองได้น้อยที่สุดและต้อง ระมัดระวังอย่าให้ความชื้นหรือน้ำเข้าทางพื้นได้ ถ้าพื้นเป็นไม้ต้องยกพื้นไม่ให้อยู่พ้นระดับดินขึ้นไป ไม่ต่ำกว่า 30 ซม. การวางถุงปูนซีเมนต์ ควรวางเรียงเป็นชั้นๆ ที่นิยมทำกันคือ วางตามยาวของถุง 5 ถุง แล้ววางตามขวาง 5 ถุง สลับกัน การวางซ้อนกันไม่ควรให้สูงมากเกินไปกว่าที่จะหยิบมาใช้งานได้ สะดวก แต่อย่าวางให้ชิดติดผนังหรือฝา เพราะปูนซีเมนต์อาจถูกความชื้นจากข้างนอกเข้ามาข้างในได้ ในกรณีจำเป็น ต้องวางกองปูนซีเมนต์ไว้กลางแจ้ง ควรหาไม้มาทำ เป็นพื้น (ยกพื้น) และต้องเตรียม ผ้าใบ (ที่กันน้ำได้) เพื่อใช้คลุมกันความชื้นหรือเวลาฝนตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การกองเก็บซีเมนต์ถุง

2.4.6 น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต (MIXING WATER)

(1) ลักษณะของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ควรต้องสะอาดปราศจากสิ่งเจือปน เช่น กรด ด่าง น้ำมัน และสารอินทรีย์ อื่นๆ มากจนเกินไป จนทำ ให้เป็นอันตรายต่อคอนกรีตและเหล็กเสริม ตามปกติแล้วน้ำประปา น้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนหรือจาก โรงงานอุตสาหกรรม จัดได้ว่าเป็นน้ำที่มีคุณภาพดีพอที่จะใช้ผสมคอนกรีตได้ดี น้ำทะเลซึ่งมีเกลือของ โซเดียม (NaCl) ละลายอยู่ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ (35,000 PPM.) แม้สามารถใช้ผสมเทคอนกรีตได้ แต่จะทำ ให้กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตลดลง 10 - 20 % แต่ถ้าน้ำมีเกลือของโซเดียม เกิน 5.0% จะทำ ให้กำลังคอนกรีตลดลง 3 % ดังนั้นไม่ควรนำ น้ำทะเลมาผสมคอนกรีต ถ้าสามารถหาน้ำ จืดใช้แทนได้ นอกจากนี้ยังไม่ควรใช้น้ำทะเลในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งนี้เพราะจะทำ ให้เหล็ก เสริมเป็นสนิม และผุกร่อนเร็ว สำหรับงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในน้ำทะเลควรมีคอนกรีตหุ้ม เหล็กเสริมอย่างน้อย 7 ซม.

(2) หน้าที่ของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต

น้ำทำหน้าที่หลายประการในการผสมคอนกรีต หน้าที่ที่สำคัญ ได้แก่

1) เคลือบวัสดุมวลรวม น้ำทำให้วัสดุมวลรวมเปียก เพื่อให้ปูนซีเมนต์เข้าเกาะได้ โดยรอบและจับยึดตัวกันได้
2) หล่อลื่นวัสดุมวลรวมทำให้เกิดความเหลว เมื่อคอนกรีตมีความเหลวสามารถเท ได้กระทุ้ง เขย่าเข้ารูปแบบหล่อเป็นรูปต่างๆได้
3) ทำปฏิกิริยาทางเคมีกันปูนซีเมนต์ น้ำเมื่อทำปฏิกิริยาเคมี(ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น) จะทำให้ผงซีเมนต์ติดอยู่กันวัสดุมวลรวมกลายเป็นวุ้นช่วยประสานผิวระหว่างวัสดุผสมให้เกาะยึดตัวแน่นเมื่อแข็งตัว สารที่เจือปนอยู่ในน้ำซึ่งมีผลทำให้คุณภาพคอนกรีตเสียไป ได้แก่ พวกฝุ่น หรือผง (Silt) น้ำมัน กรด ด่าง เกลือต่าง ๆ และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บ้านเรือนต่างๆ เป็นต้น

2.4.7 สารผสมเพิ่ม (ADMIXTURES)

สารผสมเพิ่มหมายถึง สารเคมีอื่นๆ นอกเหนือไปจาก ปูนซีเมนต์ วัสดุมวลรวม และน้ำ ที่ใช้เติมลงในส่วนผสมของคอนกรีต ด้วยจุดประสงค์เพื่อปรับเปลี่ยนคุณสมบัติบางประการของคอนกรีต สารผสมเพิ่มจะให้ผลแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ที่ใช้,ขนาด,รูปร่าง และส่วนขนาดคละของวัสดุมวลรวม,น้ำ และอุณหภูมิ ดังนั้น การใช้สารผสมเพิ่มจึงควรได้ทราบถึง ข้อมูลตลอดจนข้อแนะนำ ในการใช้ของบริษัทผู้ผลิตโดยละเอียด นอกจากนี้ สารผสมเพิ่มจะให้ผลดี ต่อเมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม สารผสมเพิ่มที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่

(1) สารเร่งการก่อตัว (Accelerators) สารเร่งการก่อตัวจะทำ ให้คอนกรีตก่อตัวและแข็งตัวเร็วขึ้นกว่าปกติ นอกจากนี้ ผลพลอยได้ของการใช้สารเร่งการก่อตัว คือ จะทำ ให้คอนกรีตมีกำลังในระยะแรกสูงกว่าคอนกรีต ธรรมดา โดยทั่วไปแล้วสารเร่งการก่อตัวจะใช้เมื่อต้องการเร่งเวลาการถอดแบบหล่อ หรือเมื่อต้องการ ให้คอนกรีตรับแรงได้เร็วกว่าปกติ เช่น การทำเสาเข็มธรรมดา และเสาคอนกรีตอัดแรง ใช้อุดรูรั่วใน เนื้อคอนกรีตสารที่นิยมใช้เป็นตัวเร่งการก่อตัวคือ แคลเซียมคลอไรด์ และโซเดียมซิลิเกต เป็นต้น

(2) สารหน่วงการก่อตัว (Retarders)สารหน่วงการก่อตัว มีคุณสมบัติช่วยให้คอนกรีตก่อตัวช้ากว่าธรรมดา (เกินกว่า 1 1/2 ชั่วโมง) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ ในกรณีที่ต้องเสียเวลาเคลื่อนย้ายคอนกรีตที่ผสมแล้วไปยังจุดเทที่อยู่ ไกล ๆ หรือในกรณีที่ต้องใช้เวลาในการเคลื่อนย้าย และการเทนาน ๆ ข้อเสียของการใช้สารหน่วงการ ก่อตัว คือ จะทำ ให้กำลังคอนกรีตลดต่ำ ไปในช่วง 3 วันแรก แต่ผลพลอยได้คือ ช่วยลดปริมาณน้ำได้ ประมาณ 5 - 15% ซึ่งเป็นผลทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงในระยะเวลาหลังและมีกำลังเท่ากับหรือสูง กว่าคอนกรีตธรรมดาเมื่ออายุ 28 รัน สารชนิดนี้ ได้แก่ แคลเซียม หรือยิบซัม ซึ่งบริษัทผู้ผลิต ปูนซีเมนต์ทั้งหลาย ก็ได้ใช้ปนอยู่แล้วในปูนซีเมนต์ที่ผลิต

(3) สารลดปริมาณน้ำ (Water Reducing Admixture) สารลดปริมาณน้ำจะช่วยลดปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในส่วนผสมคอนกรีต แต่ยังได้ความข้นเหลวเทียบเท่ากับคอนกรีตธรรมดา เมื่อใช้น้ำในส่วนผสมคอนกรีตน้อยลง (อัตราส่วนน้ำต่อ ซีเมนต์น้อยลง) จะมีผลในการเพิ่มกำลังของคอนกรีตสารชนิดนี้เป็นสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่ทำมาจาก เกลือลิกโนซัลโฟนิค (Lignosulfonic Acid) หรือเกลือและสารประกอบของกรดไฮดรอกซีคาร์บอซีลิค (Hydroxycarboxylic Acid) หรือสารประกอบโพลิเมอร์บางชนิด เช่น โพลิเมอร์ ไฮดรอกซีเลต (Hydroxylated Polymers)

(4) สารป้องกันน้ำ (Waterproofing) สารป้องกันน้ำจะทำ ให้คอนกรีตทึบน้ำกันน้ำไม่ให้น้ำซึมผ่านได้ สารป้องกันน้ำจะ เข้าไปแทรกอุดรูเล็กๆ ในคอนกรีตทำให้คอนกรีตทึบน้ำ ถ้าสามารถออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้ พอดี และสามารถผสมคอนกรีตได้ตามที่ออกแบบ เมื่อนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตไปหล่อแล้วคอนกรีตจะแน่นทึบ กันน้ำ แต่กรณีไม่สามารถทำได้ก็จำเป็นต้องใช้สารชนิดนี้ช่วย สารป้องกันนี้มักจะใช้กับคอนกรีตที่ต้องการไม่ให้น้ำซึมผ่านได้ เช่น โครงสร้างที่กั้นน้ำ ห้องใต้ดิน อุโมงค์ สระน้ำ หลังคา พื้นห้องน้ำ เป็น ต้น นอกจากนี้สารป้องกันน้ำ ยังนำมาใช้กับมอร์ต้า (ปูน ทราย น้ำ) ที่ใช้โบกกำแพง หรือเทผนัง กันมิให้ความชื้นซึมเข้าไปได้ และป้องกันราชื้นสารชนิดนี้เป็นพวก อัลคาไลน์ซิลิเกต (Alkaline Silicates) เช่น โซเดียมซิลิเกตหรืออลูมิเนียม และสังกะสีซัลเฟต (Zinc Sulphates)

(5) สารกระจายกักฟองอากาศ (Air-Entraining Admixture) สารกระจายกักฟองอากาศ จะช่วยทำ ให้เกิดฟองอากาศเล็ก ๆ มองด้วยตาเปล่าไม่ เห็น แผ่ปนอยู่ทั่วเนื้อคอนกรีต โดยฟองเหล่านี้จะไม่ทะลุถึงกันได้ ในคอนกรีต 1 ลบ.ม. อาจมี ฟองอากาศเล็ก ๆ นี้ประมาณ 3 - 6 % ของเนื้อคอนกรีตทั้งหมดโดยปริมาตร การที่ในเนื้อคอนกรีตมีฟองอากาศขนาดเล็กๆเหล่านี้จะช่วยทำ ให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทได้มากขึ้น แม้ว่าจะมี ปริมาณน้ำน้อยก็ตาม เพราะฟองอากาศเหล่านี้จะช่วยทำ หน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นแทนน้ำ นอกจากนี้ ช่วยมิให้น้ำในคอนกรีตแข็งเป็นน้ำแข็งก่อนที่คอนกรีตจะก่อตัว ซึ่งเป็นประโยชน์ในการหล่อคอนกรีต ในฤดูหนาว หรือในที่ที่มีอากาศหนาวเย็นมากสารกระจายกักฟองอากาศยังช่วยลดการแยกตัว,การสูญเสียน้ำ, ไม่รั่วซึมรวมทั้งเพิ่มความต้านทานซัลเฟตด้วย ข้อเสียของการใช้สารนี้ก็คือทำ ให้คอนกรีต มีกำลังต่ำลง เนื่องจากคอนกรีตมีรูพรุนมากและในการใช้เครื่องเขย่า คอนกรีต เพื่อทำให้คอนกรีต แน่นตัว ต้องระวังให้มากกว่าเดิม เพราะถ้าเขย่ามากแล้วจะทำ ให้จำนวนฟองอากาศลดน้อยลงไป เกือบ 50 เปอร์เซ็นต์ สารกระจายกักฟองอากาศมีหลายชนิด อาจทำมาจาก ยางไม้ ไขมัน น้ำมัน สัตว์-พืช นอกจากการใช้สารเคมีกระจายกักฟอกอากาศมาผสมในคอนกรีตแล้ว ปัจจุบันยังมีคอนกรีต กระจายกักฟองอากาศ ซึ่งผลิตขึ้นโดยใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดกระจายกักฟองอากาศ (Air-Entraining Cement) ซึ่งให้คุณสมบัติเช่นเดียวกันกับการเติมสารดังได้กล่าวมาแล้ว

2.4.8 ความรู้เรื่องการบ่มคอนกรีต

การบ่มหรือการบำรุงคอนกรีต (Curing) เป็นการควบคุมและป้องกันไม่ให้น้ำที่เหลือ จากการทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ระเหยออกมาจากคอนกรีตที่เทลงแบบหล่อและแข็งตัวแล้วเร็วเกินไป เพื่อให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในการรับแรงและความทนทานตามความต้องการหลังจากเทคอนกรีต และทิ้งไว้จนผิวหน้าคอนกรีตหมาดแข็งปราศจากรอยแล้วจะต้องทำการบ่มทันทีด้วยวิธีที่ถูกต้อง โดยปกคลุมผิวไม่ให้ถูกแดดหรือลมร้อน และไม่ให้ถูกรบกวนหรือสะเทือนโดยเฉพาะในระยะ 24 ชั่วโมง แรก ทั้งนี้เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีและมีคุณสมบัติตามต้องการ อีกทั้งเป็นการป้องกันการ สูญเสียน้ำจากคอนกรีตที่เทใหม่ๆ มิฉะนั้นคอนกรีตจะเกิดการหดตัวเร็ว ทำให้เกิดแรงดึงที่ผิวที่กำลัง จะแห้ง เป็นผลให้เกิดรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต ช่วงระยะเวลาที่ป้องกันและรักษาความชื้นนี้ไว้ภายหลัง จากเทคอนกรีตลงแบบหล่อแล้ว เรียกว่าระยะเวลาของการบ่มคอนกรีต (Curing period)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังของคอนกรีตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตราบเท่าที่ยังมีความชื้นให้ซีเมนต์ทำ ปฏิกิริยากับน้ำได้ต่อไปอีก กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วในระยะแรกและค่อยๆช้าลงในเวลา ต่อมา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นและอุณหภูมิที่พอเหมาะ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จากเส้นสัมพันธ์จะเห็นว่า หลังจากบ่มในอากาศแห้งแล้วบ่มขึ้นต่อกำลังของคอนกรีตจะเพิ่มสูงขึ้นอีก แต่คอนกรีตจะให้กำลัง สูงสุดหากบ่มขึ้นตลอดเวลา ซึ่งสภาพของงานก่อสร้างจริงไม่อาจบ่มขึ้นตลอดเวลานานๆได้ เพราะมี ข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาก่อสร้างและค่าใช้จ่าย ฉะนั้นจึงควรทำการบ่มขึ้นให้ต่อเนื่องกันตั้งแต่ต้น ประมาน 7-14 วัน เพื่อให้คอนกรีตมีกำลังประมาณ 70% ของกำลังอัดที่ต้องการ อุณหภูมิสำหรับบ่มคอนกรีต

อุณหภูมิที่ใช้บ่มคอนกรีตสำหรับคอนกรีตทั่วๆไป ควรอยู่ระหว่าง 15-39 องศาเซลเซียส สำหรับงานคอนกรีตหลาควรใช้อุณหภูมิให้ต่ำลง เพราะปฏิกิริยาของน้ำกับซีเมนต์นั้นให้ความร้อนออกมามากอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามไม่ควรบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียสเพราะคอนกรีตจะแข็งตัวช้ามาก เมื่อบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงมากและอากาศแห้ง จะทำให้น้ำระเหย ออกจากคอนกรีตอย่างรวดเร็ว กำลังของคอนกรีตที่ได้จะต่ำ และอาจเกิดรอยแตกร้าวได้ง่าย

2.4.9 กำลังของคอนกรีต

(1) กำลังอัดของคอนกรีต โดยทั่วไปการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กใช้กำลังอัดของคอนกรีตเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ โดยสมมุติฐานว่าคอนกรีตรับแรงอัดเป็นหลักโดยไม่สารถรับแรงดึง ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างคอนกรีต จึงต้องมีการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตในเรื่องของการรับแรง นอกจากนี้การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต เป็นสิ่งที่กระทำได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบอื่นๆตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่นิยมใช้กัน คือ ตัวอย่างรูปลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก ซึ่งให้ตัวอย่างรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งตัวอย่างคอนกรีตวิบัติ โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 2 ถึง 4 นาที ต่อตัวอย่าง กำลังอัดที่คอนกรีตรับได้อยู่ในช่วง 100 ถึง 400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับคอนกรีตกำลังธรรมดาหรือมีค่ามากกว่า 1,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรในกรณีที่เป็นคอนกรีตกำลังสูงมาก

การตัดสินใจเลือกขนาดกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้งาน ไม่ได้ขึ้นอยู่กับการรับกำลังอัดของคอนกรีตแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีกด้วย เช่น ราคา ขนาดของคอนกรีต น้ำหนัก ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เมื่อเป็นคอนกรีตขนาดใหญ่ตำแหน่งที่ก่อสร้างและวัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตในท้องถิ่น เช่น ไม่ควรเลือกคอนกรีตกำลังสูงกว่า 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในบริเวณป่าเขาหรือที่ทุรกันดารเนื่องจากขาดหินที่มีคุณภาพดี การเลือกกรวดที่สามารถหาได้ในพื้นที่ จะทำให้ราคาคอนกรีตถูกลง แต่ทั้งนี้ต้องดูเรื่องกำลังอัดซึ่งอาดลดลงได้ การใช้กำลังอัดของคอนกรีตที่สูงกว่า 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในเสาของอาคารสูงเพื่อลดขนาดหน้าตัดและทำให้มีพื้นที่ใช้สอยมากขึ้นแต่ราคาต่อลูกบาศก์เมตรของคอนกรีตและค่าใช้จ่ายในการควบคุมคุณภาพในการทำงานของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การก่อสร้างเขื่อนกั้นน้ำต้องการกำลังของคอนกรีตไม่สูงมากนักในช่วง 150 ถึง 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่ต้องการได้คอนกรีตที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักเพียงพอที่จะต้านทานแรงดันด้านข้างของน้ำที่กระทำต่อตัวเขื่อน โดยคอนกรีตดั่งกล่าว มีความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ไม่สูงจนเกินค่าที่กำหนดไว้ นอกจากนี้การทำงานคอนกรีตที่ขาดการควบคุมคุณภาพที่ดีควรกำหนดกำลังอัดให้ต่ำไว้ประมาณ 100 ถึง 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นต้น

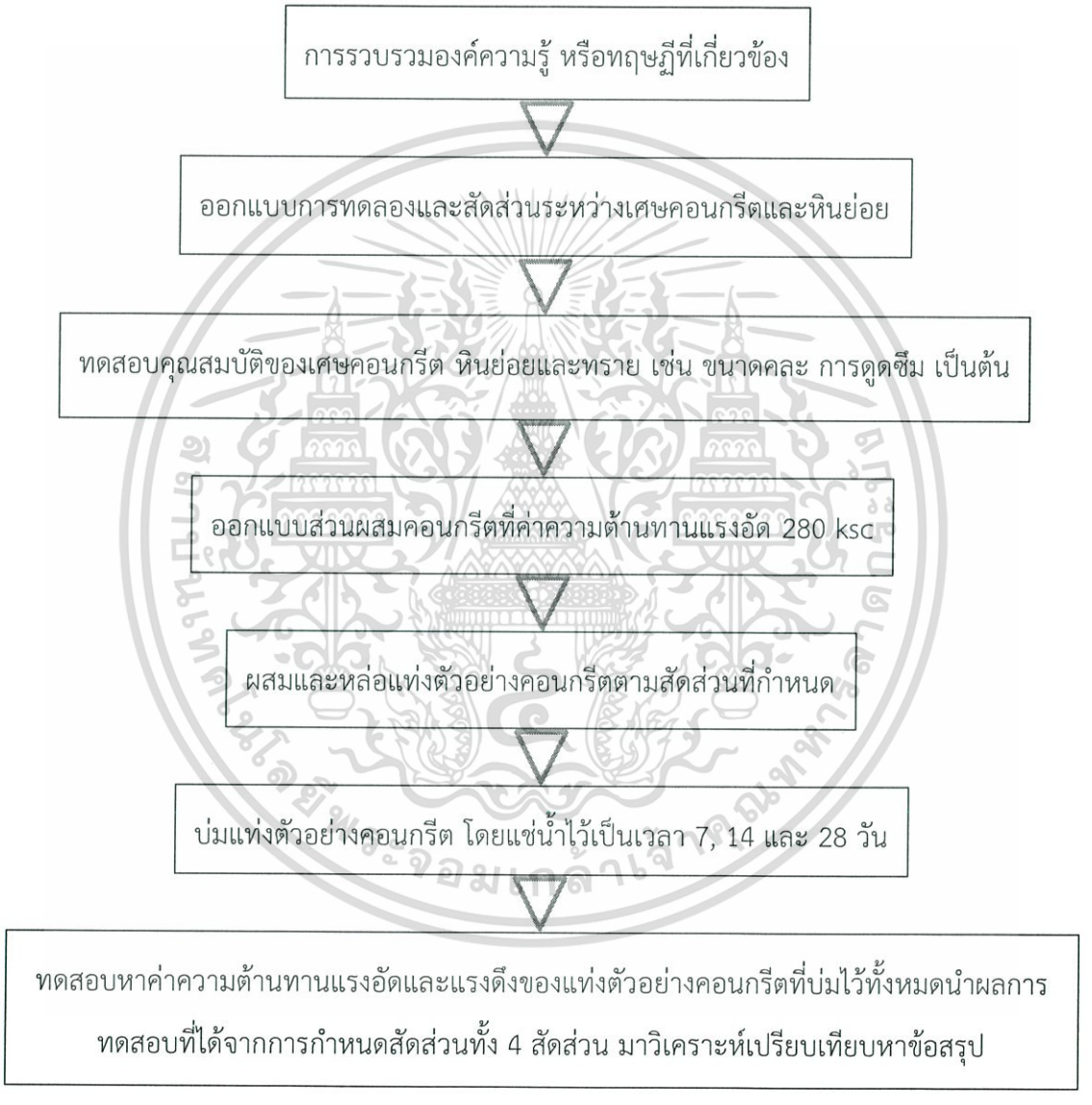
(2) กำลังดึงของคอนกรีต คอนกรีตรับแรงดึงได้ต่ำมากและเป็นวัสดุเปราะ ดังนั้นในการออกแบบคอนกรีตจึงไม่นิยมออกแบบให้คอนกรีตรับแรงดึง แต่มีงานบางประเภท เช่น งานพื้นถนนที่กำหนดให้คอนกรีตรับแรงดึงในรูปของโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture) โดยทั่วไปแรงดึงของคอนกรีตมีค่าประมาณร้อยละ 10 ของแรงอัด ดังนั้น ในการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงสมมุติให้คอนกรีตรับแรงดึงไม่ได้เลยและให้เหล็กรับแรงดึงทั้งหมด การทดสอบแรงดึงของคอนกรีตมีอยู่ 2 วิธี ได้แก่ วิธีโดยตรงและวิธีโดยอ้อม วิธีทดสอบโดยตรง คือการดึงตัวอย่างคอนกรีตให้ขาดออกจากกัน แต่การยึดจับตัวอย่างคอนกรีตเพื่อดึงทำได้ยากมาก จึงต้องทำการดัดแปลงอุปกรณ์ในการจับชิ้นตัวอย่างคอนกรีตให้สามารถรับแรงดึงโดยตรง นอกจากนี้ถ้าดึงคอนกรีตไม่ตรงแนวศูนย์กลางจริงๆ จะมีแรงบิดหรือโมเมนต์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยทำให้คอนกรีตแตกหรือหักด้วยแรงอื่นไม่ใช่แรงดึงโดยตรง ดังนั้นผลการทดสอบแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตจากอุปกรณ์ที่ดัดแปลงขึ้นจึงมีผลไม่แน่นอนและยากต่อการทดสอบ

การทดสอบแรงดึงของคอนกรีตโดยวิธีอ้อมเป็นที่นิยมใช้กันมาก เพราะทำได้ง่ายสะดวก และให้ผลการทดสอบที่น่าพอใจ การทดสอบแรงดึงโดยวิธีดัด (Bending) หรือเรียกว่าการทดสอบค่าโมดูลัสแตกร้าว และการทดสอบแรงดึงโดยวิธีผ่าซีก (Splitting Tensile Test) เป็นการทดสอบแรงดึงของคอนกรีตโดยวิธีอ้อมที่นิยมกันมาก และพบว่าค่าแรงดึงที่ได้จากการทดสอบด้วยแรงดัดหรือโมดูลัสแตกร้าวมีค่าสูงกว่าแรงดึงที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีการผ่าซีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตโดยวิธีของ ACI ขั้นตอนการดำเนินงาน วิธีการทดสอบหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่นำมาใช้ในการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานASTM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การทดสอบ

การทดสอบ อุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบ รวมถึงวิธีการบันทึกผลการทดสอบ ที่จะนำมาใช้ในการปฏิบัติงานโครงการ

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

(1) ขอบเขต

วิธีและหลักการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตที่จะได้กล่าวถึงต่อไปนี้ จะใช้กับคอนกรีตปกติทั่วไปที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคารและใช้กำหนดให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานได้เหมาะสมกับสภาพการเทหรือหล่อในที่ (Cast - in place construction)

อย่างไรก็ตามถือว่าเป็นเพียงการประมาณ อัตราส่วนในขั้นแรกเท่านั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบผลของอัตราส่วนนี้จากห้องทดลองปฏิบัติการหรือในสนาม และมีการปรับปรุงตาม ความจำเป็นและเหมาะสมกับคุณสมบัติตามต้องการ

(2) กล่าวนำ

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

สำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมนั้น มีข้อควรระวังอยู่ 2 ข้อ ที่มีความสำคัญเท่าๆกัน ข้อแรกคือการประหยัดวัสดุที่สมเหตุสมผล อีกข้อหนึ่งคือความต้องการใน ความสามารถที่จะรับแรง ความสามารถในการทำงาน ตลอดจนความคงทน เป็นต้น

(3) ความสัมพันธ์ขั้นมูลฐาน

จากที่ได้กล่าวนำไปแล้ว ว่าการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมนั้น ข้อที่ควรคำนึงอีกประการนอกจากความประหยัดแล้ว ก็คือความสามารถในการทำงาน กำลัง ความคงทน สิ่งต่างๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันพอสรุปได้ย่อยๆดังนี้

ความสามารถในการทำงาน (Workability) คำนี้ดูเหมือนจะให้คำจำกัดความลง ไปอย่างแน่ชัดไม่ได้ โดยทั่วไปเรามุ่งถึงคอนกรีตที่สามารถจะทำได้ง่ายสำหรับการผสม การขนส่ง การเทลงในแบบหล่อ การอัดแน่น การตกแต่ง ตลอดจนความแข็งแรงของคอนกรีต

ความข้นเหนียว (Consistency) กล่าวง่ายๆ ก็คือ ความเหลวหรือความเปียกของคอนกรีตสดนั่นเอง ความเหลวหรือความเปียกนี้ สามารถตรวจสอบได้จากการยุบตัว (Slump) คอนกรีตที่มีความยุบตัวสูงก็จะมีความเหลวมาก ความเหลวในที่นี้ไม่เกี่ยวกับคุณสมบัติความสามารถในการทำงานของคอนกรีต ในการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตนั้น ปริมาณน้ำที่จะใช้เป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ

ความแข็งแรง (Strength) กำลังความแข็งแรงของคอนกรีตนับว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่ง ในสภาวะทั่วไปกำลังของคอนกรีตคำนวณจากปริมาณน้ำสุทธิที่ใช้เทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเมนต์หนึ่ง หน่วย ปริมาณน้ำสุทธิที่ว่านี้ไม่รวมถึงน้ำที่ถูกซึมเข้าไปในมวลรวมคละ อย่างไรก็ตามกำลังของ คอนกรีตที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำกับซีเมนต์จำนวนหนึ่งนี้ อาจจะแตกต่างกันไปเนื่องจากขนาดของมวลรวมคละ รูปทรงของมวลรวม ความแกร่งของมวลรวม หรือการใช้ซีเมนต์ต่างชนิดกันตลอดจนกระทั่งปริมาณอากาศและการใช้สารผสมเพิ่ม

ความคงทน (Durability) คอนกรีตที่ดีต้องมีความสามารถในการคงทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ในขณะที่อยู่ในสภาวะกำลังใช้งาน อาจจะเป็นอากาศหนาวจัด ร้อนจัด ฝนตก แดดออกหรือผลจากสารเคมี ซึ่งสิ่งต่างเหล่านี้ควรมีการใช้สารผสมเพิ่ม เพื่อให้คอนกรีตเกิดความคงทนภายใต้สภาวะดังกล่าว ให้กำหนดค่า water-cement ratio ต่ำๆ อาจมีส่วนช่วยยืดอายุคอนกรีตให้คงทนขึ้นได้มาก

ความหนาแน่น (Density) คอนกรีตบางชนิดอาจมีความจำเป็นที่ต้องใช้คุณสมบัติจากน้ำหนักของตัวมันเองดังนั้น 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

ขั้นตอนสำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีต ในที่นี้ควรกระทำไปตามลำดับขั้นตอนที่กำหนด สิ่งแรกก็คือต้องทราบความต้องการหรือคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่จะใช้ ซึ่งมีดังนี้

1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด
2. ปริมาณซีเมนต์น้อยสุด
3. ปริมาณอากาศ
4. ค่ายุบตัว
5. ขนาดโตสุดของมวลรวมคละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กำลังคอนกรีต
7. อาจมีความต้องการอื่นๆ อีกนอกเหนือจากการคำนวณ เช่น สารผสมเพิ่ม และซีเมนต์ชนิดพิเศษ เหล่านี้เป็นต้น

ข้อมูลสำหรับความจำเป็นเบื้องต้นเหล่านี้ มีหลักและวิธีการปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่ายุบตัว : หากค่ายุบตัวไม่ได้กำหนดไว้ในความต้องการของงาน อาจใช้ตารางที่ 1 ช่วยในการคำนวณได้ ค่ายุบตัวต่างๆ ที่กำหนดไว้ในตารางนี้ เป็นค่ายุบตัวสำหรับการเทคอนกรีตที่ใช้เครื่องจี้สั่นสะเทือนให้คอนกรีตแน่น และเป็นส่วนผสมที่ความข้นเหนียว เหมาะสมแก่สภาพงานอย่างยิ่ง

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดขนาดโตสุดของมวลรวม : มวลรวมคละที่มีขนาดเรียงประกอบด้วยขนาดใหญ่ที่มีจำนวนมาก ย่อมเกิดช่องว่างน้อยกว่ามวลรวมคละที่มีขนาดเรียงเม็ดเล็กๆ ทั้งนี้เพราะเมื่อคิดปริมาณคอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรแล้ว มวลรวมคละที่มีขนาดใหญ่ต้องใช้เนื้อปูนหรือมอร์ต้าน้อยกว่า อย่างไรก็ตามมีข้อกำหนดไว้ว่าขนาดของมวลรวมใหญ่สุดไม่ควรเกิน 1/5 เท่า ของขนาดโครงสร้างที่แคบที่สุด หรือ 1/3 เท่าของความหนาพื้น หรือ 3/4 เท่าของระยะต่ำสุดของเหล็กเสริมที่อยู่ในแนวเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดปริมาณน้ำผสมและปริมาณอากาศ : ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตในหนึ่งหน่วยปริมาตรที่จะทำให้เกิดค่ายุบตัวตามกำหนดในขั้นตอนแรกนั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโตสุด รูปทรงและขนาดเรียงของมวลรวมคละ และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณฟองอากาศอีกด้วย ในตารางที่ 2 เป็นตารางที่ช่วยในการประมาณการของจำนวนน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตสำหรับมวลรวมคละขนาดต่างๆ ทั้งที่เป็นคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตกักฟองอากาศ เนื่องจากขนาดและรูปร่างของมวลรวมที่อาจวัดได้ไม่แน่นอน อาจทำให้ค่าในตารางที่วัดให้ไว้ผิดพลาดไปบ้างเล็กน้อย แต่ก็คิดว่าจะยังคงถูกต้องเพียงพอสำหรับใช้ในการประมาณขั้นแรกนี้ และจำนวนน้ำที่แตกต่างกัน จากความที่น่าจะเป็นจริงเพียงเล็กน้อยนี้ไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของคอนกรีตเลย ทั้งนี้เพราะยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกมากมายนักที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 4 การเลือกอัตราส่วนน้ำซีเมนต์ (WCR) : ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต้องการในการผสมคอนกรีตนั้น มิใช่เพียงเพื่อให้คอนกรีตเกิดกำลังตามต้องการนั้น แต่ยังเพื่อช่วยให้เกิดความคงทนและความสามารถที่จะตกแต่งได้อีกด้วย จะเห็นว่าค่า WCR เดียวกันนี้อาจจะทำให้ คอนกรีตมีกำลังแตกต่างกันได้ ถ้าใช้มวลรวมคละหรือประเภทของซีเมนต์ที่แตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้ควรจะได้ก่อให้เกิดการปรับปรุงหรือแก้ไขค่า WCR ให้สอดคล้องกันกับวัสดุที่นำมาใช้จริงๆ สำหรับงานคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 โดยต้องการให้กำลังคอนกรีตเกิดที่ระดับต่างๆ นั้น จะดูได้จากตารางที่ 3.3 (ก) ค่าในตารางเป็นค่าโดยประมาณของ WCR และกำลังคอนกรีตที่ระดับต่างๆ คิดจากคอนกรีตที่ได้รับการบ่มอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีในห้องปฏิบัติการครบรอบ 28 วัน ซึ่งจากข้อความนี้แน่นอนเมื่อต้องการจะเลือกใช้ค่า WCR ในการทำงานจริงๆ ควรเลือกใช้ค่า WCR ของกำลังคอนกรีตที่สูงกว่าความต้องการไว้บ้าง ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ค่ากำลังเฉลี่ยในงานจริงต่ำกว่ากำหนด

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

ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณปริมาณซีเมนต์ : ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรนั้น ขึ้นอยู่กับค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ที่ผ่านมา โดยที่จำนวนซีเมนต์นี้เท่ากับ

$$\text{ปริมาณซีเมนต์} = \frac{\text{จำนวนน้ำที่ใช้ผสม}}{WCR}$$

ขั้นตอนที่ 6 การประมาณปริมาณมวลรวมหยาบ : ปริมาณมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต หาได้จากตารางที่ 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)

วิธีน้ำหนักเริ่มต้นจากน้ำหนักของคอนกรีตจะต้องถูกสมมุติขึ้นก่อน โดยอาจประมาณเอาจากประสบการณ์ จากนั้นน้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่ต้องการก็จะหาได้ง่ายจากการเอาน้ำหนักคอนกรีตสดหักออกจากน้ำหนักของวัสดุผสมต่างๆ แต่อย่างไรก็ตาม อาจใช้ตารางที่ 3.5 ช่วยในการประมาณน้ำหนักของคอนกรีตก็จะได้ที่ใกล้เคียงขึ้น

สำหรับน้ำหนักคอนกรีตสด ถ้าต้องการคำนวณให้ค่าถูกต้องจริงๆ จะหาได้จะสมการข้างล่างนี้

$$U_M = 10G_a(100 - A) + C_m\left(1 - \frac{G_a}{G_c}\right) - W_m(Ga - 1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ U_M = น้ำหนักคอนกรีตสด, กก./ลบ.ม.

G_a = ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของมวลรวมคละ (หยาบ+ละเอียด)

G_c = ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ (ทั่วไปเท่ากับ 2,400 กก. /ลบ.)

A = ปริมาณอากาศ, %

W_m =ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับผสมคอนกรีต, กก. /ลบ.

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. หากใช้กรรมวิธีอื่นทำให้คอนกรีตแน่นนอกจากวิธีตามปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต

ค่ายุบตัวของคอนกรีต	ปริมาณน้ำ, กก./ลบ.ม. สำหรับคอนกรีตที่มีมวลรวมคละขนาดโตสุด เป็น มม							
ซม.	10	12.5	20	25	40	50	70	150
คอนกรีตธรรมดา								
3 ถึง 5	205	200	185	180	150	155	145	125
8 ถึง 10	225	215	200	195	175	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	อัตราส่วนน้ำ-ซีเมนต์โดยน้ำหนัก	
28 วัน (กก./ตร.ซม.)	คอนกรีตธรรมดา	คอนกรีตกระจายฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.4
300	0.55	0.48
250	0.62	0.55
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

*กำลังคอนกรีตคิดจากตัวอย่างทรงกระบอกขนาด ☐15 X 30 ซม. บ่มชื้นจนได้อายุ 28 วัน ที่อุณหภูมิ 23±1.7°c ถ้าเทียบกับตัวอย่างลูกบาศก์ค่าจะสูงกว่าประมาณ 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 (ข) อัตราส่วนน้ำ – ซีเมนต์ที่ยอมให้สำหรับงานภายใต้สภาวะพิเศษ

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกชื้นตลอดเวลาหรือทนต่ออากาศหนาว	คอนกรีตสัมผัสน้ำทะเลหรือซัลเฟต
ชิ้นส่วนเล็กๆ อาทิ ราว, ขอบกั้น, บัวหรือหน้าตัดที่มีระยะหุ้มต่ำกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างทั่วไป	0.5	0.45*

*ควรใช้คอนกรีตชนิดสารกระจายฟองอากาศ

ตารางที่ 3.4 ปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร

หินขนาดโตสุด (มม.)	ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของทรายที่มีค่าแห่งความละเอียดต่างกัน			
	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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 น้ำหนักคอนกรีตสด

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

สำหรับวิธีปริมาตรเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาปริมาตรของมวลรวมละเอียดที่ได้ค่าแน่นอน ซึ่งย่อมเกี่ยวข้องกับปริมาตรส่วนผสมต่างๆ ที่อยู่ในคอนกรีต ในที่นี้คือน้ำ, อากาศ, ซีเมนต์ และมวลรวมหยาบ นำปริมาตรเหล่านี้ไปหักออกจากปริมาตรของคอนกรีตก็จะได้ปริมาตรของมวลรวมละเอียด ปริมาตรของวัสดุต่างๆ ที่อยู่ในคอนกรีต อาจหาได้โดยเอาน้ำหนักหารด้วยความหนาแน่นของตัวมันเอง

ขั้นตอนที่ 8 การปรับค่าสำหรับความชื้นในมวลรวมคละ : ปริมาณของมวลรวม คละที่ได้จากการชั่งน้ำหนักนั้น จะต้องอยู่ในขอบข่ายของความชื้นที่ยอมให้ได้ในมวลรวมคละ โดยทั่วไปมวลรวมคละจะต้องมีความชื้น โดยจะมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ถูกซึมเคลือบผิวอยู่ ดังนั้นปริมาณน้ำที่จะใส่เข้าไปผสมจะต้องลดลงตามจำนวนของความชื้นในมวลรวมคละ

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

(1) วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาขนาดของมวลรวมคละโดยใช้ตะแกรงมาตรฐานสำหรับหาค่าพิกัดความละเอียด (Fineness modulus) ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของ อนุภาคในมวลรวมที่กำหนดให้ นั่นคือมวลรวมยิ่งหยาบค่าพิกัดความละเอียดก็ยิ่งสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

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

หมายเหตุ ปริมาณมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดลอง

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

ตารางที่ 3.6 ปริมาณมวลรวมหยาบ ที่ใช้ในการทดลอง

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

(3) ขั้นตอนการทดสอบ

ก) การหาส่วนขนาดคละขนาดทราย

1. เตรียมทรายสำหรับทดสอบตรวจดูก่อนว่าชื้นหรือไม่ ปกติควรเป็นทรายที่แห้งหากชื้นเกินไปควรอบเสียก่อน
2. เตรียมชุดของตะแกรง ด้วยการทำความสะอาดไม่ให้มีเศษฝุ่นผงค้างอยู่ภายในซ่องชั่งน้ำหนักตะแกรงทุกขนาดและบันทึกไว้ พร้อมกับจัดเรียงซ้อนตามลำดับพร้อมถาดรองอยู่ด้านล่างสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่อยๆ เททรายที่เตรียมพร้อมไว้แล้วลงในชุดตะแกรง ปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่า จับเวลาประมาณ 10 นาที
4. ในตอนนี้ทรายที่มีเม็ดขนาดต่างๆ จะถูกแยกแยะไปอยู่ในตะแกรงขนาดต่างๆ ให้นำตะแกรงที่มีทรายค้างอยู่นั้นไปชั่งและจดบันทึกไว้อีกครั้งหนึ่ง แล้วคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดต่อไป

ข) การหาส่วนขนาดคละของกหิน

1. เตรียมหินสำหรับทดลอง หากเป็นหินขนาดเล็กคือมีขนาดโตสุดไม่เกิน 1" ให้ใช้ประมาณ 5 กก. แต่หากเป็นหินขนาดใหญ่ควรใช้ประมาณ 20 กก.
2. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองของทราย ตั้งแต่ข้อ 2-4

หมายเหตุ

1. ค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวม จะหาได้จากผลรวมของอัตราที่ค้างอยู่บนตะแกรงทั้งหมด หารด้วย 100

$$(Sand)F.M. = \frac{Comulative\ \%\ retained}{100}$$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นอกจากนี้ ยังสามารถตรวจสอบการเรียงตัวของมวลรวมว่าเหมาะสมหรือไม่จากการพล็อตกราฟของ grading curve และเทียบกับเส้นกราฟได้จากตารางแสดงมาตรฐานข้างล่าง

ตารางแสดงมาตรฐานส่วนคละของมวลรวม

ตารางที่3.7(ก) สำหรับมวลรวมละเอียด(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

ตารางที่ 3.7 (ข) สำหรับมวลรวมหยาบ (หินหรือกรวด)

ขนาดตะแกรง / ขนาดมวลรวมหยาบ	ค่าอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง						
	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.10
1 1/2"	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
1"	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
3/4"	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
1/2"	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 (ก) การคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวมหยาบ

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

ตารางที่ 3.8(ข) การคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวมละเอียด

	Sieve Size	Weight Retained (%)	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
	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			Σ	246	
Fineness modulus = 246/100 = 2.46					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
1 1/2"							
1"							
3/4 "							
1/2"							
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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

(1) วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาน้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร ทั้งในสภาพที่อัดตัวแน่น และหลวมตัวไม่ว่าจะเป็นทราย หิน หรือมวลรวมผสมก็ตาม ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

(2) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. มวลรวมอาทิ ทราย หินและกรวดเตรียมไว้ประมาณ 125-200 % ของจำนวนที่ต้องการใส่ภาชนะ นำไปอบภายใต้อุณหภูมิ 110 + 5°c
2. ตาชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 % ของน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ
3. เหล็กกระทุ้ง เป็นแท่งเหล็กกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาวประมาณ 60 ซม. มีปลายด้านกระทุ้งมนเป็นลักษณะครึ่งวงกลม
4. ภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก อาจเป็นภาชนะโลหะรูปทรงกระบอกผิวเรียบ ควรมีมือจับทั้งสองข้าง ขนาดของภาชนะต้องเป็นไปตามตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 3.9 ขนาดของภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ขั้นตอนการทดสอบ

ก) การหาหน่วยนาหนักของน้ำ

1. เติมน้ำใส่ภาชนะให้เต็มและทำให้ไม่มีฟองอากาศอยู่เลย พร้อมปิดฝาด้วยแผ่นกระจกใส

2. วัดอุณหภูมิของน้ำ เพื่อนำไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนัก โดยเทียบจาก ตารางแสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ

3. หาค่าแฟกเตอร์ (ความจุ) ของภาชนะ โดยการหารหน่วยน้ำหนักของน้ำ ในภาชนะด้วยหน่วยน้ำหนักน้ำ

ตารางที่ 3.10 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ

อุณหภูมิ		กก./ลบ.ม.	ปอนด์/ลบ.ฟ.
°C	°F		
60.0	15.6	999.01	62.366
65.0	18.3	998.53	62.336
70.0	21.1	997.97	62.301
73.4	23.0	997.53	62.274
75.0	23.9	997.32	62.261
80.0	26.7	996.60	62.216

ข) การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักเมื่อมวลรวมอัดตัวแน่น

1. โดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง (Rodding procedure) วิธีเหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 37.5 มม. (1 *1/2"*)

1.1 เทมวลรวมที่จะทดสอบลงในภาชนะที่ชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ให้แต่ละส่วนหนาประมาณ 1/3 ของความสูงของภาชนะ เกลี่ยผิวหน้าให้ เรียบและใช้เหล็กกระทุ้งๆ ให้เกือบถึงด้านล่าง โดยแผ่กระจายให้ทั่วผิวหน้ารวม 25 ครั้ง จากนั้นเติมมวลรวมลงไปอีกเป็นชั้นที่สอง ทำการกระทุ้งเช่นเดียวกันและเติมลงไปอีกเป็นชั้นสุดท้าย กระทุ้งอีก 25 ครั้ง เสร็จแล้วให้ปาดผิวหน้าของมวลรวมให้เรียบเสมอกันแนวขอบบนของภาชนะอย่าให้บุ่มหรือโปนเป็นอันขาด

1.2 ชั่งน้ำหนักภาชนะที่บรรจุมวลรวมดังกล่าว เพื่อคำนวณหาน้ำหนักเฉพาะของมวลรวมโดยแห้งโดยชั่งให้ได้ละเอียดถึง 0.1 % แล้วคูณด้วยแฟกเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ ก) จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่น

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

2.1 แบ่งเทมวลรวมใส่ภาชนะเป็น 3 ชั้น เช่นเดียวกับวิธีใช้เหล็กกระทุ้งแต่วิธีนี้ภาชนะควรถูกนำมาวางบนพื้นที่แข็ง เช่น พื้นคอนกรีต เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเมื่อเทมวลรวมแต่ละชั้นแล้วให้เอียงภาชนะ เพื่อให้ด้านตรงข้ามสูงขึ้นจากพื้นประมาณ 50 มม. และ ปล่อยให้ตกลงกระแทกพื้น เป็นจำนวน 25 ครั้ง เสร็จแล้วเอียงกลับมาอีกด้านหนึ่งเพื่อให้ด้านที่ติดพื้นตอนแรกนั้นยกลอยขึ้นมา 50 มม. และปล่อยให้ตกกระทบพื้นอีก 25 ครั้งเช่นเดียวกัน ทำเช่นนี้ทั้ง 3 ชั้น จึงปาดผิวหน้ามวลรวมให้เรียบไม่ให้ปูดหรือบุ๋มแล้วนำไปชั่ง

2.2 เมื่อได้น้ำหนักที่แห้งของมวลรวมแล้ว คูณด้วยแฟกเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ ก) ก็จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่นเช่นเดียวกัน

ค) การหาค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

1. แฟกเตอร์หรือความจุของภาชนะ หาได้จากสมการ

$$V = \frac{W_w}{R_W}$$

โดยที่ V = ความจุภาชนะ, ลบ.ม.

W_W = น้ำหนักของน้ำในภาชนะ, กก.

R_W = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน, กก/ลบ.ม.

2. หน่วยน้ำหนักของมวลรวม หาได้จากสมการ

$$R_a = \frac{W_a}{V}$$

โดยที่ R_a = หน่วยน้ำหนักขอมวลรวม, กก./ ลบ.ม.

W_a = น้ำหนักสุทธิของมวลรวม, กก.

V = ความจุภาชนะ, ลบ.ม.

ง) การหาค่าปริมาณช่องว่าง (Void Content) โดยอาศัยค่าหน่วยน้ำหนักของมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมที่คำนวณได้จากข้อ ค) และนำมาหาค่าปริมาณช่องว่างได้จากสมการ

$$\%\, Void = 100 \times \frac{(S - R_w) - R_a}{S \times R_w}$$

โดยที่ S = ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม

R_W = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิ 18.3 °c = 998 กก. /ลบ.ม.

R_a = หน่วยน้ำหนักของมวลรวม, กก. /ลบ.ม.

CONCRETE TECHNOLOGY LABORATORY UNIT

WEIGHT OF AGGREGATE

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

Description: .....

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

Trial No	1	2
1. Voliume 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, %		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ (Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates) ASTM : C12793

(1) วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึมของมวลรวมหยาบเพื่อประโยชน์ในการออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต วิธีนี้เรียกว่า Suspension Method

(2) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มวลรวมหยาบประมาณ 5 กก. สำหรับขนาดโตไม่เกิน 1 1/2" 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

(3) ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมวัสดุที่จะนำมาทำการทดลอง ด้วยการล้างให้ทั่วถึงเพื่อให้ฝุ่นผงหรือเศษวัสดุอื่นๆ ที่ติดอยู่กับผิวหลุดออกจนหมด และนำไปทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 110±5°c และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1-3 ชม.
2. จากนั้นให้แช่วัสดุในน้ำสะอาดเป็นเวลาประมาณ 24±4 ชั่วโมง
3. นำวัสดุชิ้นจากน้ำเมื่อครบเวลา เทลงผืนผ้าใหญ่ๆ ที่สามารถดูดซับน้ำได้กลิ้ง วัสดุไปมาเพื่อให้ผ้าซับน้ำจนสังเกตด้วยตาเปล่าไม่เห็นมีน้ำอยู่ที่ผิววัสดุ แม้ว่าที่จริงแล้วผิวยังชื้นอยู่ก็ตาม หรือถ้าวัสดุมีขนาดใหญ่มากกิอาจจะเช็ดทีละก้อนก็ได้ แต่ต้องระวังไม่ให้เกิดการระเหยหายไปของน้ำขณะอยู่ในขั้นตอนนี้
4. วัสดุที่จบขั้นตอนที่ 3 นี้จะเรียกว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ให้นำตัวอย่างวัสดุนี้ชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกไว้แล้วรีบใส่ลงในตะกร้าลวดและทำการชั่ง วัสดุนี้ในน้ำทันทีและบันทึกค่าไว้เช่นกัน (อุณหภูมิของน้ำควรอยู่ระหว่าง 23±1.7°C)
5. หลังจากนั้นนำวัสดุเข้าเตาอบด้วยอุณหภูมิระหว่าง 110±5°c ประมาณ 1 ชม. แล้วจึงนำมาใส่โถแก้วกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปกติอีกประมาณ 1-3 ชม. หรือ เย็นพอที่จะสัมผัสได้ จึงชั่งน้ำหนักอีกหนึ่งครั้ง
6. จากนั้นให้นำค่าต่างๆ มาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

อัตราการดูดซึม, % $= \frac{B-A}{A} \times 100\%$

โดยที่ A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศหลังจากผ่านการอบแห้งสนิทแล้ว

B = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

C = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE TECHNOLOGY LABORATORY

SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF COARSE AGGREGATE

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

Description: .....

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

DETERMINATION NO.			
CONTAINER NO.			
wr. CONTAINER + SAT. SURF.DRY AGGREGATE , gm.			
wr. CONTAINER + DRY AGGREGATE ,gm.			
wr. CONTAINER , gm.			
wr. SAT.SURF.DRY AGGREGATE (B) , gm.			
wr. DRY AGGREGATE (A) , gm.			
wr. 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]x100%			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

(1) วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึมของมวลรวมละเอียด เช่น ทรายภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง นอกจากนี้หินหรือกรวดที่มีขนาดเล็กไม่เกิน 3/4" ก็สามารถใช้วิธีนี้ทดสอบได้ เช่นกัน

(2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ทรายประมาณ 1200-1500 กรัม ที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
2. พิคโนมิเตอร์ (Pycnometer) ซึ่งประกอบด้วยขวดโหลแห้งสำหรับบรรจุขนาด 1 ควอต ที่มีฝาแก้วปิดในแนวราบสนิทแน่นกับปากขวด
3. ตาชั่งวัดละเอียดถึง 0.1 กรัม
4. เครื่องวัดอุณหภูมิ
5. เตาอบ
6. โถแก้วกันความชื้น

(3) ขั้นตอนการทดสอบ

1. แบ่งทรายที่เตรียมไว้เป็นสองส่วนเท่าๆกัน ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า แทนด้วย B
2. นำทรายอีกส่วนหนึ่งเข้าเตาอบใช้แห้งสนิทประมาณ 1 ชม. แล้วจึงนำมาใส่ในโถกันความชื้น เพื่อทิ้งให้ตัวอย่างเย็นลงตามปกติจึงนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า แทนด้วย A
3. เทน้ำที่ทราบอุณหภูมิลงในขวดพิคโนมิเตอร์ให้สูงประมาณ 3/4 ของขวดนำ ทรายส่วน B เติมลงไป เขย่าหรือคนให้ทั่วเพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด จากนั้นจึงเติมน้ำลงไปให้เต็มพอดีปากขวดพร้อมกับทำให้ไม่มีอากาศเหลืออยู่เลยเช่นเดียวกัน แล้วจึงปิดฝาแก้วนำไปชั่งและบันทึกค่า แทนด้วย W
4. จากนั้นจึงนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ (เมื่อวัสดุแห้งสนิท)} = \frac{A}{W_C+B-W}$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ (ภายใต้สภาวะอิ่มตัวแห้ง)} = \frac{B}{W_C+B-W}$$

$$\text{อัตราการดูดซึม, \%} = \frac{B-A}{A} \times 100\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งหลังจากผ่านการอบแห้งสนิท

B = น้ำหนักมวลรวมภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

W_c = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำชนิดเดียวกับที่ใช้ทดสอบเต็มปากขวด

W = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำและมวลรวม

CONCRETE TECHNOLOGY LABORATORY

SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF FINE AGGREGATE

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

Description: .....

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

DETERMINATION NO.			
Wt. SAND (SAT.SURF.DRY) (B) ,gm.			
Wt. FLASK + SAND (SAT.SURF.DRY) + WATER (Wc) ,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-Wc)			
BULK SPECIFIC GRAVITY , (SAT.SURF.DRY) , B/(B+W-Wc)			
APPARENT SPECIFIC GRAVITY , A/(W+A-Wc)			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
5. แท่งเหล็กสำหรับคนมวลรวม

(3) ขั้นตอนการทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมชิ้นที่จะนำมาทดสอบ แล้วเทลงในภาชนะบรรจุ นำไปใส่หรือวางบนเตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สม่ำเสมอ ใช้แท่งเหล็กคนมวลรวมเป็นระยะๆ เพื่อให้มวลรวมทุกก้อนได้รับความร้อนทั่วถึงกัน
2. เมื่อมวลรวมแห้งสนิทดีแล้ว นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง
3. ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวมจะหาได้จากสูตร

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

โดยที่ P = ปริมาณความชื้น ,%

W = น้ำหนักมวลรวมก่อนเผา

D = น้ำหนักมวลรวมแห้งหลังเผา

ส่วนปริมาณความชื้นที่ผิวของมวลรวม จะหาได้จากค่าแตกต่างระหว่างปริมาณ ความชื้นรวมกับอัตราการดูดซึมของมวลรวมนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.11 แสดงค่าใกล้เคียงของปริมาณความชื้นที่ผิวของมวลรวม

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

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 (%)		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. เครื่องมือทดสอบกำลังอัด
3. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก ทำด้วยโลหะที่ซีเมนต์ไม่เกาะติดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์ 6" และ 12"
4. เครื่องชั่งขนาดใหญ่
5. เครื่องมือวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง
6. เครื่องหล่อหมวก (Capped) หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

(3) ขั้นตอนการทดสอบ

ก) การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้ผันหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิว ในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว
2. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวอย่างให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วย การประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุด ขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

ข) การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ๆ
2. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ขั้น เมื่อคอนกรีตเต็ม แบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ
3. ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้โนร่มเฉยๆ ประมาณ 24 ชม. จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่มโดยแช่ ในถังบ่มจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบและควรทดสอบ ก่อนตัวอย่างจะแห้งสนิท ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) การทดสอบกำลังอัด

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

ง) การคำนวณ

ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีต จะหาได้จากสูตร

$$f_c = \frac{P}{A}$$

โดยที่ f_c = กำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต , กก./ซม.^{2}

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง, กก.

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ

$= \frac{\pi D^2}{4}$ ซม.^{2}

หากปรากฏว่าอัตราส่วนระหว่างความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบต่ำกว่า 1.8 ค่าที่ได้จากการทดสอบจะต้องคูณด้วยแฟกเตอร์เผื่อแก้ค่าให้ถูกต้อง เสียก่อน จากตารางข้างล่างเผื่อแก้ค่าให้ถูกต้องเสียก่อน

ตารางที่ 3.12 อัตราส่วนระหว่างความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางกับแฟกเตอร์เผื่อแก้ค่า

L/D	1.75	1.50	1.25	1.00
แฟกเตอร์แก้ค่า	0.98	0.96	0.93	0.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE TECHNOLOGY LABORATORY

COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

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

Description: .....

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

Temperature: ..... °c

SPECIMEN NO.				
DIAMETER (cm.), $D_1+(D_2/2)$				
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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (Test for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens) ASTM: C496 – 90

(1) วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต จากการทดสอบที่กระทำทางอ้อม คือ การทดสอบการปริแตกของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก เนื่องจากการทดสอบโดยตรงกระทำได้ยาก ซึ่งโดยทั่วไปกำลังปริแตกจะอยู่ภายในช่วง 5 – 12 % สูงกว่ากำลังรับแรงดึงโดยตรง

(2) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. คอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบ
2. เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Machine)
3. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก ทำด้วยโลหะที่ซีเมนต์ไม่เกาะติดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว และสูง 12 นิ้ว
4. เครื่องชั่งขนาดใหญ่
5. เครื่องมือวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
6. ไม้รอง ทำด้วยไม้อัดหนา 1/8 นิ้ว กว้างประมาณ 1 นิ้ว มีความยาวเท่ากับความยาวของแท่งตัวอย่างหรือยาวกว่าเล็กน้อย เพื่อช่วยให้น้ำหนักแผ่กระจายทั่วผิวข้างของแท่งตัวอย่างและเมื่อใช้ทดสอบครั้งหนึ่งแล้วไม่ควรใช้กับตัวอย่างอื่นอีก การทดสอบหนึ่งตัวอย่างใช้ไม้รอง 2 อัน

(3) ขั้นตอนการทดสอบ

ก) การเตรียมแบบหล่อและแท่งตัวอย่าง เหมือนกับการทดสอบกำลังอัด

ข) การเตรียมแบบหล่อ

1. ขีดแนวเส้นผ่านศูนย์กลางให้ยาวจรดหัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง
2. วัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยจากการวัด 3 ค่า คือที่ใกล้ปลายทั้งสองและที่กึ่งกลางของแท่งตัวอย่างพร้อมกับวัดความยาวเฉลี่ยจาก 2 ด้านตามแนวที่ขีดไว้
3. วางแท่งคอนกรีตในลักษณะนอนบนแท่นเครื่องกด ให้แนวเส้นที่ลากไว้อยู่ด้านบนและล่าง นำไม้รองมารองตรงเส้นทั้งด้านบนและล่าง ให้กึ่งกลางของไม้รองตรงแนวเส้น จากนั้นจึงเดินเครื่องทดสอบเพิ่มแรงกดจนกระทั่งคอนกรีตปริแตก
4. การคำนวณกำลังปริแตกของคอนกรีต จะหาได้จากสูตร

$$T = \frac{2P}{\pi DL}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ T = กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตแท่งตัวอย่าง, กก./ซม.^{2}

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง, กก.

D = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของแท่งตัวอย่าง, ซม.

L = ความยาวเฉลี่ยของแท่งตัวอย่าง, ซม.

CONCRETE TECHNOLOGY LABORATORY

TENSILE STRENTH OF CONCRETE

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

Description: .....

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

Slump: ..... Ingredient: .....

SPECIMEN NO.	DIAMETER (cm)	HEIGHT (kg)	WEIGHT (kg)	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	TENSILE STREGTH (ksc)	REMARK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาใช้ผสมคอนกรีต

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลจากการทดลอง ซึ่งแต่ละการทดลองนั้นได้กล่าววิธีการทดลองไว้แล้วในบทที่ 3 และมีการนำข้อมูลต่างๆที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ เพื่อที่จะแปรผลข้อมูลในบทนี้ ซึ่งจากผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ พบว่า ทรายที่ใช้มีค่า Modulus ความละเอียดอยู่ที่ 2.571 และมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 1.695% ซึ่งเป็นทรายแม่น้ำ

ส่วนวัสดุที่เป็นมวลรวมหยาบนั้น แบ่งออกเป็น 2 type โดยจะมีหลักการกำหนดชื่อดังนี้

1. Type RCA-28 (เศษคอนกรีตคัดมาจากกำลังอัด 280 ksc)
2. Type CR (Crushed Rock , หิน)

สามารถสรุปเป็นตารางได้ดัง ตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 สรุปค่าคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาใช้ผสมคอนกรีต

ชนิด	ความถ่วงจำเพาะ	อัตราการดูดซึม (%)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
Type RCA-28	2.491	5.498	1378.889
Type CR	2.982	1.007	1382.398

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ผลการทดสอบค่าความละเอียดของทราย

PROJECT: Civil Engineering SAMPLE TYPE: Sand

DESCRIPTION: ทำเพื่อหาค่า Fineness Modulus ของทราย

TESTED BY: 29/9/59 DRY WEIGHT OF ORIGINAL SAMPLE: 500 gm.

ครั้งที่ 1

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
1 1/2"							
1"							
3/4 "							
1/2"							
3/8"							
No. 4	9.5	471.75	477.41	5.66	1.132	1.132	98.868
No. 8	2.36	693.82	722.78	28.96	5.792	6.924	93.076
No. 16	1.18	661.06	728.81	67.75	13.55	20.474	79.526
No. 30	0.6	604.52	741.53	137.01	27.402	47.876	52.124
No. 50	0.3	548.27	720.85	172.58	34.516	82.392	17.608
No. 100	0.15	517.42	586.32	68.9	13.78	96.172	3.828
PAN		482.6	501.74	19.14	3.828	-	-
			Σ	500	100	254.97	

FINENESS MODULUS = TOTAL OF CUMULATIVE PERCENT RETAINED/100 = 2.550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT: Civil Engineering SAMPLE TYPE: Sand

DESCRIPTION: ทำเพื่อหาค่า Fineness Modulus ของทราย

TESTED BY: 29/9/59 DRY WEIGHT OF ORIGINAL SAMPLE: 500 gm.

ครั้งที่ 2

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
1 1/2"							
1"							
3/4 "							
1/2"							
3/8"							
No. 4	9.5	471.75	475.2	4.09	0.818	0.818	99.182
No. 8	2.36	693.82	719.6	25.78	5.156	5.974	94.026
No. 16	1.18	661.06	735.7	74.64	14.928	20.902	79.098
No. 30	0.6	604.52	737.9	133.38	26.676	47.578	52.422
No. 50	0.3	548.27	727.97	179.7	35.94	83.518	16.482
No. 100	0.15	517.42	591.41	73.99	14.798	98.316	1.684
PAN		482.6	491.02	8.42	31.684	-	-
				Σ = 500	Σ = 100	Σ = 257.106	

FINENESS MODULUS = TOTAL OF CUMULATIVE PERCENT RETAINED/100 = 2.571

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT: Civil Engineering SAMPLE TYPE: Sand

DESCRIPTION: ทำเพื่อหาค่า Fineness Modulus ของทราย

TESTED BY: 29/9/59 DRY WEIGHT OF ORIGINAL SAMPLE: 500 gm.

ครั้งที่ 3

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
1 1/2"							
1"							
3/4 "							
1/2"							
3/8"							
No. 4	9.5	471.75	473.26	1.51	0.302	0.302	99.698
No. 8	2.36	693.82	720.18	26.36	5.272	5.574	94.426
No. 16	1.18	661.06	727.89	66.83	13.366	18.94	81.06
No. 30	0.6	604.52	750.43	145.91	29.182	48.122	51.878
No. 50	0.3	548.27	740.68	192.41	38.482	86.604	13.396
No. 100	0.15	517.42	582.94	65.52	13.104	99.708	0.292
PAN		482.6	484.06	1.46	0.292	-	-
			Σ	500	100	259.25	

FINENESS MODULUS = TOTAL OF CUMULATIVE PERCENT RETAINED/100 = 2.592

ดังนั้น จะได้ว่าค่าเฉลี่ยของ Fineness modulus = $\frac{2.569+2.573+2.571}{3}$ = 2.571

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของทราย

Project: Civil Engineering Test date: 29/9/59

Description: เพื่อหาค่าของความถ่วงจำเพาะกับค่าการดูดซึมในทราย

Temperature: 20.8°c

เริ่มต้นโดยการเตรียมทราย ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
จำนวน 1200 g โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

Weight (container) = 535 g
Weight (container +sand) = 1135 g
Weight (sand) = 1135 – 535
= 600 g (A)

Weight (container) = 814 g
Weight (container+sand) = 1414 g
Weight (sand) = 1414 – 814
= 600 g (B)

อบ 24 ชม.

Weight (container + sand)
ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว = 1125 g

น้ำหนักทรายหลังอบ = 1125 - 535
= 590 g

รูปที่ 4.1 ขวด ycnometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Weight of pycnometer + น้ำเต็มปากขวด (Wc) = 1595 g

นำทราย (B) 800 g มาใส่ในขวด pycnometer แล้วใส่น้ำ

จนเต็มปากขวด แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W) = 1945 g

ความถ่วงจำเพาะ (เมื่อวัตถุแห้งสนิท) $= \frac{A}{Wc+B-W} = \frac{590}{1595+600-1945} = 2.36$

ความถ่วงจำเพาะ (ภายใต้วัตถุสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) $= \frac{A}{Wc+B-W} = \frac{600}{1595+600-1945} = 2.40$

อัตราการดูดซึม $= \frac{B-A}{A} \times 100\ \% = \frac{600-590}{590} \times 100 = 1.695\ \%$

4.1.3 หาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบใน type ต่างๆ

Project: Civil Engineering Test date: 6/10/56

Description: เพื่อหาค่าของความถ่วงจำเพาะกับค่าการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

1. Type CR (Crushed Rock, หิน)

   WT. container = 420 g

   WT. container + aggregate (Type RCA-28) ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 5435 g

   ดังนั้น ค่า B = 5435 - 420 = 5015 g

   WT. aggregate (Type RCA-24) ในน้ำ ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 3350 g

   WT. container + aggregate (หลังอบแล้ว) = 5390 g

   ดังนั้น ค่า A = 5390 - 425 = 4965 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ)

$$= \frac{A}{B-C} = \frac{4965}{5015-3350} = 2.982$$

ความถ่วงจำเพาะ (ภายใต้วัตถุสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

$$= \frac{B}{B-C} = \frac{5015}{5015-3350} = 3.012$$

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (เมื่อวัตถุแห้งสนิท)

$$= \frac{A}{A-C} = \frac{4965}{4965-3350} = 3.074$$

อัตราการดูดซึม

$$= \frac{B-A}{A} \times 100\ \% = \frac{5015-4965}{4965} \times 100 = 1.007\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Type RCA-28 (เศษคอนกรีตคัดมาจากกำลังอัด 280 ksc)

WT. container = 810 g

WT. container + aggregate (Type CR) ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 5895 g

ดังนั้น ค่า B = 5895 - 810 = 5085 g

WT. aggregate (Type CR) ในน้ำ ณ ภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 3150 g

WT. container + aggregate (หลังอบแล้ว) = 5265 g

ดังนั้น ค่า A = 5265 - 445 = 4820 g

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ) $= \frac{A}{B-C} = \frac{4820}{5085-3150} = 2.491$

ความถ่วงจำเพาะ (ภายใต้วัตถุสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) $= \frac{B}{B-C} = \frac{5085}{5085-3150} = 2.628$

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (เมื่อวัตถุแห้งสนิท) $= \frac{A}{A-C} = \frac{4820}{4820-3150} = 2.886$

อัตราการดูดซึม $= \frac{B-A}{A} \times 100\ \% = \frac{5085-4820}{4820} \times 100 = 5.498\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 หาค่าหน่วยน้ำหนักโดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง

Project: Civil Engineering Test date: 21/09/59

Description: เพื่อหาค่าการทดสอบหาหน่วยหนักของมวลรวม

Temperature = 35 °c

Weight (container +น้ำ) = 15.565 kg

Weight (น้ำ) = 15.565-5.680 = 9.885

Aggregate type RCA-28

Weight (container) = 5.685 kg

Weight (container + aggregate) = 19.440 kg

ดังนั้น Weight(aggregate = 19.440 – 5.685 = 13.755 kg

Aggregate type CR

Weight (container) = 5.680 kg

Weight (container + aggregate) = 22.01 kg

ดังนั้น Weight(aggregate = 22.01 – 5.680 = 16.33 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temperature = 35.0°

หน่วยน้ำหนักน้ำ = $-0.0052(35)^2 + 0.0022(35) + 1000.2 = 993.900$ kg/m^3

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

ที่ Temperature = 32.0° : Volume = $\frac{9.885}{993.900} = 9.945 \times 10^{-3}$ m^3

Density dry

1. Aggregate type RCA–28 = $\frac{13.755}{9.945 \times 10^{-3}} = 1383.11$ kg/m^3

2. Aggregate type CR = $\frac{16.33}{9.945 \times 10^{-3}} = 1641.92$ kg/m^3

4.1.5 ผลการทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม

(Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying) ASTM : c566 - 89

เมื่อเราทราบแล้วว่าดัชนีความละเอียดของทราย ค่าความถ่วงจำเพาะของทราย และ มวลรวมหยาบที่จะนำมาใช้ ค่าอัตราการดูดซึมน้ำ

ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวมจะหาได้จากสูตร

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

โดยที่ P = ปริมาณความชื้น, %

W = น้ำหนักมวลรวมก่อนเผา

D = น้ำหนักมวลรวมแห้งหลังเผา

Type CR	Type RCA-28
น้ำหนักถาด = 420 g	น้ำหนักถาด = 425 g
น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด ก่อนอบ=3280 g	น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด ก่อนอบ = 3130 g
น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด หลังอบ=3275 g	น้ำหนักมวลรวมหยาบ+ถาด หลังอบ = 3125 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ความชื้นของมวลรวมหยาบ $= \frac{100x(3280-3275)}{3275-420} = 0.175\ \%$

เปอร์เซ็นต์ความชื้นของมวลรวมหยาบ $= \frac{100x(3130-3125)}{3125-425} = 0.705\ \%$

มวลรวมละเอียด
น้ำหนักถาด = 435 g
น้ำหนักมวลรวมละเอียด+ถาด ก่อนอบ = 3130 g
น้ำหนักมวลรวมละเอียด+ถาด หลังอบ = 3120 g

เปอร์เซ็นต์ความชื้นของมวลรวมละเอียด $= \frac{100x(3130-3120)}{3120-435} = 0.372\ \%$

4.2 ขั้นตอนในการคำนวณปริมาณส่วนผสมคอนกรีต

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

1. Type CR (Crushed Rock , หิน) 100 : Type RCA-28 (เศษคอนกรีตคัดมาจากกำลังอัด 280 ksc) 0

- ต้องการกำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.^{2}
- ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8 - 10 ซม.
- มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 40 มม.
- หน่วยน้ำหนักแห้งของมวลรวมหยาบ 1641.92 กก. /ม.^{3}
- มวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.571

ขั้นตอนที่ 1 : ต้องการค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8 - 10 ซม.

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มม.

ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 2 ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8 -10 ซม. และ มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มม. จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากับ 175 กก./ม^3

ขั้นตอนที่ 4 : จากตารางที่ 3(ก.) ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา กำลังรับแรงอัด = 280 ksc

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 : ปริมาณของซีเมนต์ที่ได้ = 175/0.578 = 302.768 กก./ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบ หาได้จากตารางที่ 4 ในบทที่ 3 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มี ค่า F.M. = 2.571 และ มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 40 มม.

จะได้ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

$$= 0.74 + (2.571\text{-}2.50) \times \frac{(0.72-0.74)}{(2.80-2.50)} = 0.735$$

ดังนั้น น้ำหนักมวลรวมหยาบแห้ง = 0.735 x 1641.92 = 1206.81 กก.

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์

น้ำหนักของคอนกรีตสด	=	2420.00 กก.
น้ำหนักของมวลรวมหยาบ	=	1206.81 กก.
น้ำหนักของน้ำ	=	175.00 กก.
น้ำหนักของซีเมนต์	=	302.77 กก.

จะได้น้ำหนักของทราย = 2420-1206.81-175-302.77 = 735.42 กก.

คำนวณปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์ ที่ต้องใช้ในการผสมทำก้อนคอนกรีต 18 ก้อน และทำเผื่อไว้ 20 ก้อน

ปริมาตรของก้อนคอนกรีต = $\frac{\pi}{4}(0.15)^2 \times 0.30 \times 20 = 0.106$ ม.^{3}

ปริมาณมวลรวมหยาบ	= 1206.81 × 0.106	= 127.92 กก.
ปริมาณน้ำ	= 175 × 0.106	= 18.55 กก.
ปริมาณซีเมนต์	= 302.768 × 0.106	= 32.093 กก.
ปริมาณทราย	= 735.42 × 0.106	= 77.95 กก.

ขั้นตอนที่ 8 : การปรับแก้ปริมาณมวลรวม และปริมาณน้ำ เนื่องจากความชื้นในมวลรวม

% ความชื้นของมวลรวมหยาบที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	= 1.007%
% ความชื้นของมวลรวมหยาบขณะที่นำมาใช้	= 0.175%
% ความชื้นของมวลรวมละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	= 1.695%
% ความชื้นของมวลรวมละเอียดขณะที่นำมาใช้	= 0.372%

การปรับแก้

1) ปริมาณมวลรวมหยาบ = 127.92 x 1.00175 = 128.14 กก.
2) ปริมาณทราย = 77.95 x 1.00372 = 78.24 กก.
3) ปริมาณน้ำ

$$= 18.550 + \left(\frac{1.007-0.175}{100}\right)(127.92) + \left(\frac{1.695-0.372}{100}\right)(77.95)$$

$$= 20.64 \text{ กก.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักของวัสดุผสมครั้งสุดท้าย สำหรับใช้ในการผสมจริง คือ

มวลรวมหยาบ	128.14 กก.
ทราย	78.240 กก.
ซีเมนต์	32.093 กก.
น้ำ	20.640 กก.

2. Type CR (Crushed Rock , หิน) 25 : Type RCA-28 (เศษคอนกรีตคัดมาจากกำลังอัด 280 ksc) 75

- ต้องการกำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.^{2}
- ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8 - 10 ซม.
- มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 40 มม.
- หน่วยนาหนักแห้งของมวลรวมหยาบ 1641.92 กก. /ม.^{3}
- มวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.571

ขั้นตอนที่ 1 : ต้องการค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8 - 10 ซม.
ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มม.
ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 2 ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8 -10 ซม. และ มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มม. จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากับ 175 กก./ม^3
ขั้นตอนที่ 4 : จากตารางที่ 3(ก.) ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา กำลังรับแรงอัด = 280 ksc

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

ขั้นตอนที่ 5 : ปริมาณของซีเมนต์ที่ได้ = 175/0.578 = 302.768 กก./ม.^{3}
ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบ หาได้จากตารางที่ 4 ในบทที่ 3 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.571 และ มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 40 มม. ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต = $0.74 + (2.571\text{-}2.50) \times \frac{(0.72-0.74)}{(2.80-2.50)} = 0.735$

จะได้ ดังนั้น น้ำหนักมวลรวมหยาบแห้ง = 0.735 x 1641.92 = 1206.81 กก.]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์

น้ำหนักของคอนกรีตสด = 2420.00 กก.

น้ำหนักของมวลรวมหยาบ = 1206.81 กก.

น้ำหนักของน้ำ = 175.00 กก.

น้ำหนักของซีเมนต์ = 302.77 กก.

จะได้น้ำหนักของทราย = 2420-1206.81-175-302.77 = 735.42 กก.

คำนวณปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์ ที่ต้องใช้ในการผสมทำก้อนคอนกรีต 18 ก้อน และทำเผื่อไว้ 20 ก้อน

ปริมาตรของก้อนคอนกรีต $=\frac{\pi}{4}(0.15)^2 \times 0.30 \times 20 = 0.106$ ม.^{3}

ปริมาณมวลรวมหยาบ = 1206.81 × 0.106 = 127.92 กก.

ปริมาณมวลรวมหยาบ(หิน 75 %) = 127.92 × 0.75 = 95.94 กก.

ปริมาณมวลรวมหยาบ(RCA 25%) = 127.92 × 0.25 = 31.98 กก.

ปริมาณน้ำ = 175 × 0.106 = 18.55 กก.

ปริมาณซีเมนต์ = 302.768 × 0.106 = 32.093 กก.

ปริมาณทราย = 735.42 × 0.106 = 77.95 กก.

ขั้นตอนที่ 8 : การปรับแก้ปริมาณมวลรวม และปริมาณน้ำ เนื่องจากความชื้นในมวลรวม

% ความชื้นของมวลรวมหยาบหินที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 1.007%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบหินขณะที่นำมาใช้ = 0.175%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบRCAที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 5.498%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบRCAขณะที่นำมาใช้ = 0.705%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 1.695%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดขณะที่นำมาใช้ = 0.372%

การปรับแก้

1) ปริมาณมวลรวมหยาบ(หิน) = 95.94 x 1.00175 = 96.11 กก.
2) ปริมาณมวลรวมหยาบ(RCA) = 31.98 x 1.00705 = 32.20 กก.
3) ปริมาณทราย = 77.95 x 1.00372 = 78.24 กก.
4) ปริมาณน้ำ

$$= 18.550 + \left(\frac{1.007-0.175}{100}\right)(95.94) + \left(\frac{5.498-0.705}{100}\right)(31.98) + \left(\frac{1.695-0.372}{100}\right)(31.98)$$

= 21.30 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักของวัสดุผสมครั้งสุดท้าย สำหรับใช้ในการผสมจริง คือ

มวลรวมหยาบ(หิน 75 %)	96.11 กก.
มวลรวมหยาบ(RCA 25%)	32.20 กก.
ทราย	78.24 กก.
ซีเมนต์	32.093 กก.
น้ำ	21.30 กก.

3. Type CR (Crushed Rock , หิน) 50 : Type RCA-28 (เศษคอนกรีตคัดมาจากกำลังอัด 280 ksc) 50

- ต้องการกำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.
- ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8 - 10 ซม.
- มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 40 มม.
- หน่วยนาหนักแห้งของมวลรวมหยาบ 1641.92 กก./ม.^{3}
- มวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.571

ขั้นตอนที่ 1 : ต้องการค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8 - 10 ซม.

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มม.

ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 2 ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8 -10 ซม. และ มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มม. จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากับ 175 กก./ม^3

ขั้นตอนที่ 4 : จากตารางที่ 3(ก.) ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา กำลังรับแรงอัด = 280 ksc

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

ขั้นตอนที่ 5 : ปริมาณของซีเมนต์ที่ได้ = 175/0.578 = 302.768 กก./ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบ หาได้จากตารางที่ 4 ในบทที่ 3 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.571 และ มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 40 มม. จะได้ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

$= 0.74 + (2.571-2.50) \times \frac{(0.72-0.74)}{(2.80-2.50)} = 0.735$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น น้ำหนักมวลรวมหยาบแห้ง = 0.735 x 1641.92 = 1206.81 กก.

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์

น้ำหนักของคอนกรีตสด = 2420.00 กก.

น้ำหนักของมวลรวมหยาบ = 1206.81 กก.

น้ำหนักของน้ำ = 175.00 กก.

น้ำหนักของซีเมนต์ = 302.77 กก.

จะได้น้ำหนักของทราย = 2420-1206.81-175-302.77 = 735.42 กก.

คำนวณปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์ ที่ต้องใช้ในการผสมทำก้อนคอนกรีต 18 ก้อน และทำเผื่อไว้ 20 ก้อน

ปริมาตรของก้อนคอนกรีต $=\frac{\pi}{4}(0.15)^2 \times 0.30 \times 20 = 0.106$ ม.^{3}

ปริมาณมวลรวมหยาบ = 1206.81 x 0.106 = 127.92 กก.

ปริมาณมวลรวมหยาบ(หิน 50 %) = 127.92 x 0.5 = 63.96 กก.

ปริมาณมวลรวมหยาบ(RCA 50 %)= 127.92 x 0.5 = 63.96 กก.

ปริมาณน้ำ = 175 x 0.106 = 18.55 กก.

ปริมาณซีเมนต์ = 302.768 x 0.106 = 32.093 กก.

ปริมาณทราย = 735.42 x 0.106 = 77.95 กก.

ขั้นตอนที่ 8 : การปรับแก้ปริมาณมวลรวม และปริมาณน้ำ เนื่องจากความชื้นในมวลรวม

% ความชื้นของมวลรวมหยาบที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 1.007%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบขณะที่นำมาใช้ = 0.175%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบRCAที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 5.498%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบRCAขณะที่นำมาใช้ = 0.705%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 1.695%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดขณะที่นำมาใช้ = 0.372%

การปรับแก้

1) ปริมาณมวลรวมหยาบ(หิน) = 63.96 x 1.00175 = 64.07 กก.
2) ปริมาณมวลรวมหยาบ(RCA) = 63.96 x 1.00705 = 64.41 กก.
3) ปริมาณทราย = 77.95 x 1.00372 = 78.24 กก.
4) ปริมาณน้ำ

$$= 18.550 + \left(\frac{1.007-0.175}{100}\right)(63.96) + \left(\frac{5.498-0.705}{100}\right)(63.96) + \left(\frac{1.695-0.372}{100}\right)(78.23)$$

= 23.18 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักของวัสดุผสมครั้งสุดท้าย สำหรับใช้ในการผสมจริง คือ

มวลรวมหยาบ(หิน 50 %)	64.07 กก.
มวลรวมหยาบ(RCA 50 %)	64.41 กก.
ทราย	78.24 กก.
ซีเมนต์	32.093 กก.
น้ำ	23.18 กก.

4. Type CR (Crushed Rock , หิน) 75 : Type RCA-28 (เศษคอนกรีตคัดมาจากกำลังอัด 280 ksc) 25

- ต้องการกำลังอัดคอนกรีต = 280 กก/ซม.2
- ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8 - 10 ซม.
- มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 40 มม.
- หน่วยนาหนักแห้งของมวลรวมหยาบ 1641.92 กก./ม.^{3}
- มวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.571

ขั้นตอนที่ 1 : ต้องการค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8 - 10 ซม.

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มม.

ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 2 ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8 -10 ซม. และ มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มม. จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากับ 175 กก./ม^3

ขั้นตอนที่ 4 : จากตารางที่ 3(ก.) ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา กำลังรับแรงอัด = 280 ksc

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

ขั้นตอนที่ 5 : ปริมาณของซีเมนต์ที่ได้ = 175/0.578 = 354.67 กก./ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบ หาได้จากตารางที่ 4 ในบทที่ 3 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.571 และ มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 40 มม.จะได้ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

$$= 0.74 + (2.571-2.50)\times\frac{(0.72-0.74)}{(2.80-2.50)} = 0.735$$

ดังนั้น น้ำหนักมวลรวมหยาบแห้ง = 0.735 x 1641.92 = 1206.81 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์

น้ำหนักของคอนกรีตสด = 2420.00 กก.

น้ำหนักของมวลรวมหยาบ = 1206.81 กก.

น้ำหนักของน้ำ = 175.00 กก.

น้ำหนักของซีเมนต์ = 302.77 กก.

จะได้น้ำหนักของทราย = 2420-1206.81-175-302.77 = 735.42 กก

คำนวณปริมาณของ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด น้ำ และซีเมนต์ ที่ต้องใช้ในการผสมทำก้อนคอนกรีต 18 ก้อน และทำเผื่อไว้ 20 ก้อน

ปริมาตรของก้อนคอนกรีต $=\frac{\pi}{4}(0.15)^2 \times 0.30 \times 20 = 0.106$ ม.^{3}

ปริมาณมวลรวมหยาบ = 1206.81 × 0.106 = 127.92 กก.

ปริมาณมวลรวมหยาบ(หิน 25 %) = 127.92 × 0.25 = 31.98 กก.

ปริมาณมวลรวมหยาบ(RCA 75%)= 127.92 × 0.75 = 95.94 กก.

ปริมาณน้ำ = 175 × 0.106 = 18.55 กก.

ปริมาณซีเมนต์ = 302.768 × 0.106 = 32.093 กก.

ปริมาณทราย = 735.42 × 0.106 = 77.95 กก.

ขั้นตอนที่ 8 : การปรับแก้ปริมาณมวลรวม และปริมาณ,น้ำ เนื่องจากความชื้นในมวลรวม

% ความชื้นของมวลรวมหยาบที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 1.007%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบขณะที่นำมาใช้ = 0.175%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบRCAที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 5.498%

% ความชื้นของมวลรวมหยาบRCAขณะที่นำมาใช้ = 0.705%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 1.695%

% ความชื้นของมวลรวมละเอียดขณะที่นำมาใช้ = 0.372%

การปรับแก้

1) ปริมาณมวลรวมหยาบ(หิน) = 31.98 x 1.00175 = 32.04 กก.
2) ปริมาณมวลรวมหยาบ(RCA) = 95.94 x 1.00705 = 96.62 กก.
3) ปริมาณทราย = 77.95 x 1.00372 = 78.24 กก.
4) ปริมาณน้ำ

$$= 18.550 + \left(\frac{1.007-0.175}{100}\right)(32.04) + \left(\frac{5.498-0.705}{100}\right)(96.62) + \left(\frac{1.695-0.372}{100}\right)(78.24)$$

= 24.48 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักของวัสดุผสมครั้งสุดท้าย สำหรับใช้ในการผสมจริง คือ

มวลรวมหยาบ(หิน 25 %)	32.04 กก.
มวลรวมหยาบ(RCA 75 %)	96.62 กก
ทราย	78.24 กก.
ซีเมนต์	32.093 กก.
น้ำ	24.48 กก.

4.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุและผลการทดลอง

4.3.1 การทดสอบรับแรงอัดของวัสดุแบบ Unconfined compression test

เป็นการทดสอบแรงอัด โดยใส่แรงเข้าไปเพียงแกนเดียวที่ส่วนผสมออกแบบที่กำลังอัด 280 ksc. โดยหล่อคอนกรีตเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ความสูง 30 cm. ตาม ASTM C 192 กำลังต้านทานแรงหรือการรับแรง เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต ซึ่งมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น กำลังต้านทานแรงอัดเป็นต้น งานคอนกรีตทั่วไปนิยมทำการทดสอบหากำลังยึดเหนี่ยวและกำลังต้านทานแรงอัดเป็นต้น งานคอนกรีตทั่วไปนิยมทำการทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดเป็นหลัก เพื่อนำผลไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของงานและยังใช้เป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติด้านอื่นได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะกำลังต้านทานแรงอื่น ๆ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังต้านทานแรงอัด การทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตทำได้โดยการกดหรืออัดแท่งทดสอบรูปลูกบาศก์ตามมาตรฐานอังกฤษ หรือรูปทรงกระบอกตามมาตรฐานอเมริกัน ซึ่งบ่มชื้นตามระยะเวลาที่กำหนดจนกระทั่งแตก แล้วทำการคำนวณหาค่าความต้านทานแรงอัดประลัย มีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม หรือ ปอนด์/ตร.นิ้ว

4.3.2 การทดสอบรับแรงดึงของวัสดุโดยวิธีการผ่าซีก (Splitting tensile test)

พัฒนาขึ้นในประเทศบราซิล และมีวิธีการทดสอบตาม ASTM C 496 การทดสอบโดยย่อคือ ใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกวางนอนเพื่อรับแรงกดตามแกนที่ส่งผ่านจากแผ่นไม้อัดหนา 3 มม. กว้าง 25 มม. แรงอัดที่ส่งผ่านไม้อัดจะทำให้เกิดแรงดึงขึ้นซึ่งเกือบคงที่ตลอดหน้าตัด โดยเกิดแรงอัดที่ผิวสัมผัสจึงไม่สามารถทำให้คอนกรีตวิบัติ แต่แรงดึงซึ่งเกิดขึ้นจะสูงกว่าแรงดึงที่คอนกรีตรับได้จึงทำให้คอนกรีตแตกออกเป็น 2 ซีก กำลังดึงของคอนกรีตที่ทดสอบโดยวิธีผ่าซีกมีค่าสูงกว่ากำลังดึงที่ทดสอบโดยการดึงโดยตรงประมาณร้อยละ 15 ขณะที่กำลังดึงของคอนกรีตโดยวิธีผ่าซีกมีค่าประมาณร้อยละ 50 ถึง 75 ของกำลังดึงที่ทดสอบโดยวิธีดัด (โมดูลัสแตกร้าว) สำหรับแรงดึงโดยวิธีผ่าซีกที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตกำลังธรรมดาที่ค่าประมาณร้อยละ 10 ถึง 20 ของกำลังอัด แต่ในกรณีของคอนกรีตกำลังสูง (มากกว่า 800 กก./ซม^{2}ขึ้นไป) กำลังอัดมีค่าประมาณร้อยละ 5 ถึง 10 ของกำลังอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST (Type RCA-28 0 : 100)

SPECIMEN NO.	DIAMETER (cm)	AREA (cm^2)	HEIGHT (cm)	WEIGHT (kg)	Volume (m^3)	Date of casting	Date of Testing	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	COMP. STREGTH (ksc)	DENSITY ($kg./m.^3$)	REMARK
1	15.13	179.79	30	12.903	0.00539	05-10-59	13-10-59	7	457.87	259.600	2392.22	
2	15.03	177.42	30	12.784	0.00532	05-10-59	13-10-59	7	414.55	238.177	2401.8	
3	15.02	177.19	30.1	12.883	0.00533	05-10-59	13-10-59	7	392.21	225.642	2415.58	
4	15.08	178.60	30	12.901	0.00536	05-10-59	20-10-59	14	522.29	298.092	2407.74	
5	15.01	176.95	30.2	12.803	0.00534	05-10-59	20-10-59	14	482.77	278.112	2395.82	
6	15.05	177.89	31	12.487	0.00551	05-10-59	20-10-59	14	390	223.477	2264.3	
7	15.024	177.28	30.05	12.967	0.00533	05-10-59	03-11-59	28	558.24	320.990	2434.08	
8	15.12	179.55	29.9	12.884	0.00537	05-10-59	03-11-59	28	505.86	287.189	2399.86	
9	14.98	176.24	29.9	13.051	0.00527	05-10-59	03-11-59	28	537.24	310.732	2476.62	

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-28 0:100

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

Comp.Strength (ksc) at 7 days	Average	= 241.140 ksc
Comp.Strength (ksc) at 14 days	Average	= 266.560 ksc
Comp.Strength (ksc) at 28 days	Average	= 306.304 ksc

Density (kg./m.3)

Average	= 2398.67 kg/m3
S.D.	= 56.805
CV	= 0.0237

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

CONCRETE TENSILE STRENGTH TEST (Type CR 0 : 100)

SPECIMEN NO.	DIAMETER (cm)	AREA (cm^2)	HEIGHT (cm)	WEIGHT (kg)	Volume (m^3)	Date of casting	Date of Testing	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	TENS. STREGTH (ksc)	Density ($kg./m.^3$)	REMARK
10	15.3	183.85	29.8	13.037	0.00548	05-10-59	13-10-59	7	144.57	20.577	2379.52	
11	14.96	175.77	29.9	12.802	0.00526	05-10-59	13-10-59	7	127.23	18.459	2435.87	
12	15.158	180.46	29.7	12.868	0.00536	05-10-59	13-10-59	7	157.44	22.695	2400.94	
13	15.18	180.98	30.03	12.938	0.00543	05-10-59	27-10-59	14	173.16	24.651	2380.56	
14	15.01	176.95	29.9	12.877	0.00529	05-10-59	27-10-59	14	163.18	23.595	2433.84	
15	15.06	178.13	29.9	12.866	0.00533	05-10-59	27-10-59	14	158.54	22.848	2415.64	
16	14.92	174.83	29.85	12.951	0.00522	05-10-59	10-11-59	28	160.79	23.429	2481.60	
17	15.08	178.60	29.95	12.912	0.00535	05-10-59	10-11-59	28	163	23.421	2413.82	
18	15.038	177.61	30	13.016	0.00533	05-10-59	10-11-59	28	210.71	30.310	2442.79	

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต Type RCA-28 0:100

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

Tens.Strength (ksc) at 7 days Average = 20.577 ksc

Tens.Strength (ksc) at 14 days Average = 23.698 ksc

Tens.Strength (ksc) at 28 days Average = 25.72 ksc

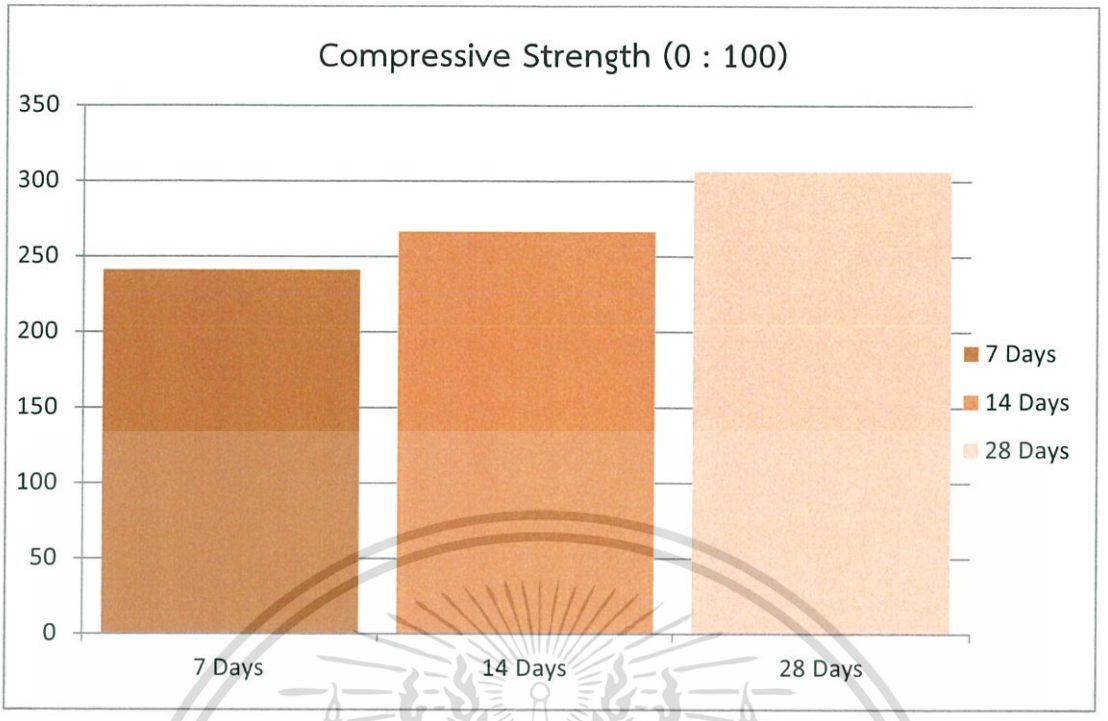
Density (kg./m.3)

Average = 2420.507 kg/m3

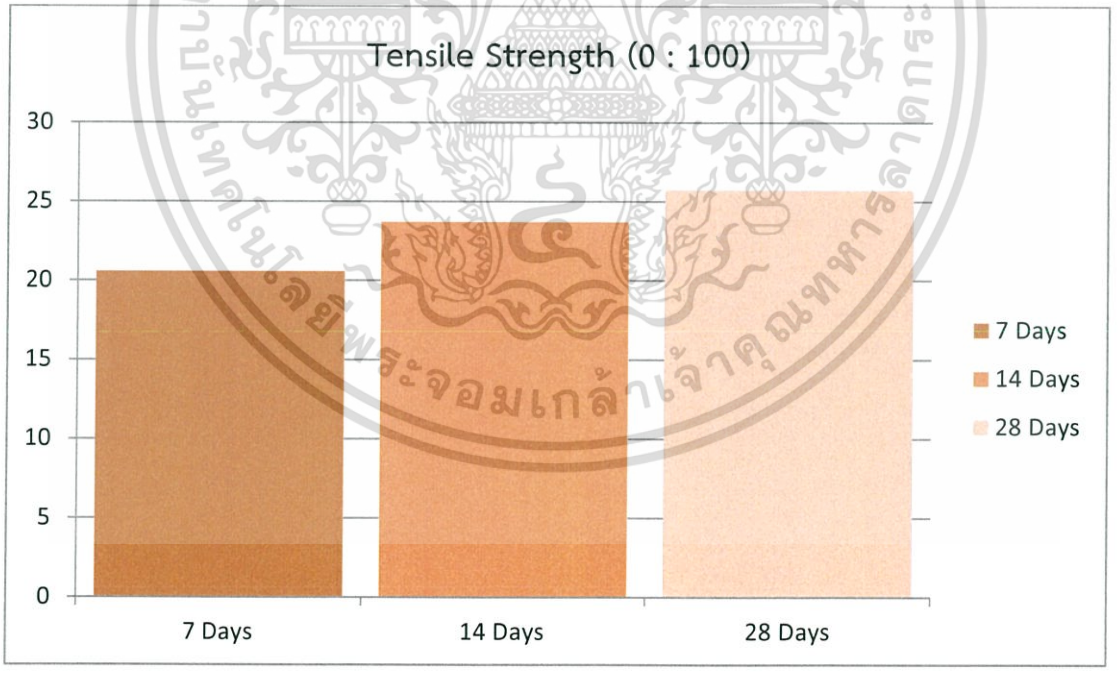
S.D. = 32.346

CV = 0.0134

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงอัด 0 : 100 ในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 4.3 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงดึง 0 : 100 ในแต่ละช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST (Type RCA-28 25 : 75)

SPECIMEN NO.	DIAMETER (cm)	AREA (cm^2)	HEIGHT (cm)	WEIGHT (kg)	Volume (m^3)	Date of casting	Date of Testing	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	COMP. STREGTH (ksc)	Density ($kg./m.^3$)	REMARK
1	15.05	177.895	30	12.672	0.00534	12-10-59	20-10-59	7	282.05	161.620	2374.44	
2	15.08	178.605	30.02	12.458	0.00536	12-10-59	20-10-59	7	287.81	164.265	2323.51	
3	15.07	178.368	30	12.531	0.00535	12-10-59	20-10-59	7	301.25	172.164	2341.79	
4	15.08	178.605	29.8	12.523	0.00532	12-10-59	27-10-59	14	366.93	209.422	2352.88	
5	15.138	179.981	30	12.703	0.00540	12-10-59	27-10-59	14	377.35	213.722	2352.65	
6	15.02	177.186	30	12.517	0.00532	12-10-59	27-10-59	14	312.11	179.560	2354.77	
7	14.926	174.975	29.8	12.635	0.00521	12-10-59	10-11-59	28	437.89	255.105	2423.16	
8	15	176.715	29.9	12.517	0.00528	12-10-59	10-11-59	28	401.04	231.338	2368.95	
9	14.96	175.773	29.8	12.488	0.00524	12-10-59	10-11-59	28	393.18	228.018	2384.10	

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-28 25:75

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

Comp.Strength (ksc) at 7 days	Average	= 166.016 ksc
Comp.Strength (ksc) at 14 days	Average	= 200.901 ksc
Comp.Strength (ksc) at 28 days	Average	= 238.154 ksc

Density (kg./m.3)

Average	= 2364.03 kg/m3
S.D.	= 28.52
CV	= 0.0121

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

CONCRETE TENSILE STRENGTH TEST (Type RCA-28 25 : 75)

SPECIMEN NO.	DIAMETER (cm)	AREA (cm^2)	HEIGHT (cm)	WEIGHT (kg)	Volume (m^3)	Date of casting	Date of Testing	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	TENS. STREGTH (ksc)	Density ($kg./m.^3$)	REMARK
10	15.16	180.505	29.8	12.578	0.00538	12-10-59	20-10-59	7	105.67	15.179	2338.34	
11	15.05	177.895	30	12.538	0.00534	12-10-59	20-10-59	7	119.25	17.140	2349.33	
12	15.01	176.950	30	12.533	0.00531	12-10-59	20-10-59	7	114.94	16.565	2360.93	
13	15.08	178.605	30	12.574	0.00536	12-10-59	27-10-59	14	116.8	16.754	2346.71	
14	15.118	179.506	30.1	12.742	0.00540	12-10-59	27-10-59	14	122.62	17.487	2358.26	
15	14.984	176.338	29.9	12.46	0.00527	12-10-59	27-10-59	14	123.92	17.950	2363.21	
16	14.99	176.479	30	12.99	0.00529	12-10-59	10-11-59	28	109.49	15.800	2453.55	
17	14.926	174.975	31	12.926	0.00542	12-10-59	10-11-59	28	133.11	18.669	2383.01	
18	15.114	179.411	30	12.664	0.00538	12-10-59	10-11-59	28	143.74	20.573	2352.89	

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต Type RCA-28 25:75

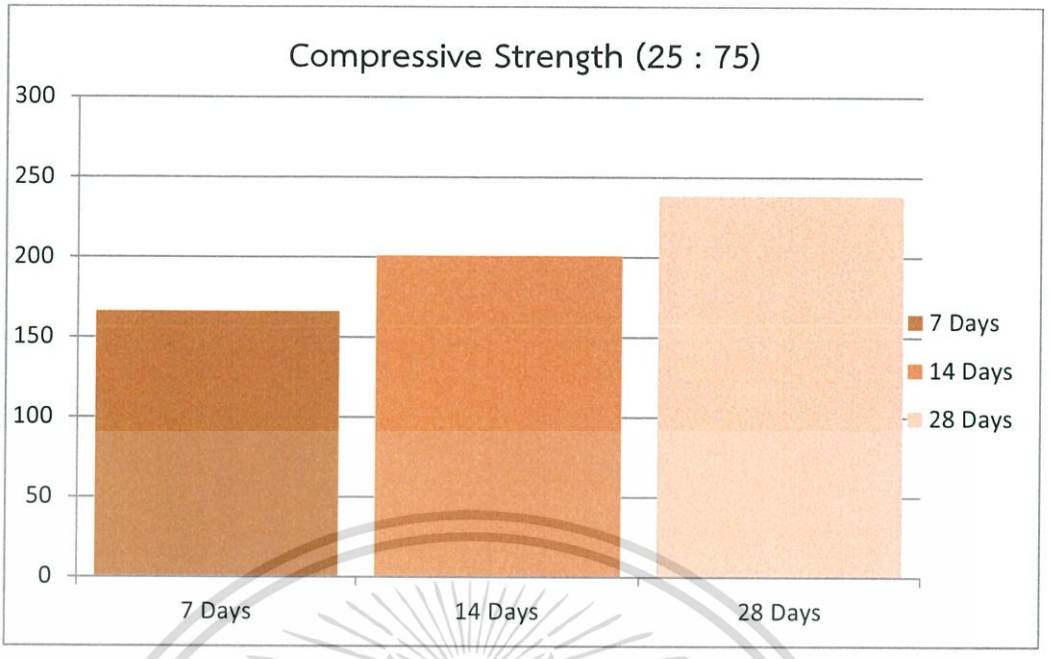
$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x-\bar{x})^2}{N-1}} \qquad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x}{N}$$

Tens.Strength (ksc) at 7 days	Average	= 16.271 ksc
Tens.Strength (ksc) at 14 days	Average	= 17.263 ksc
Tens.Strength (ksc) at 28 days	Average	= 18.347 ksc

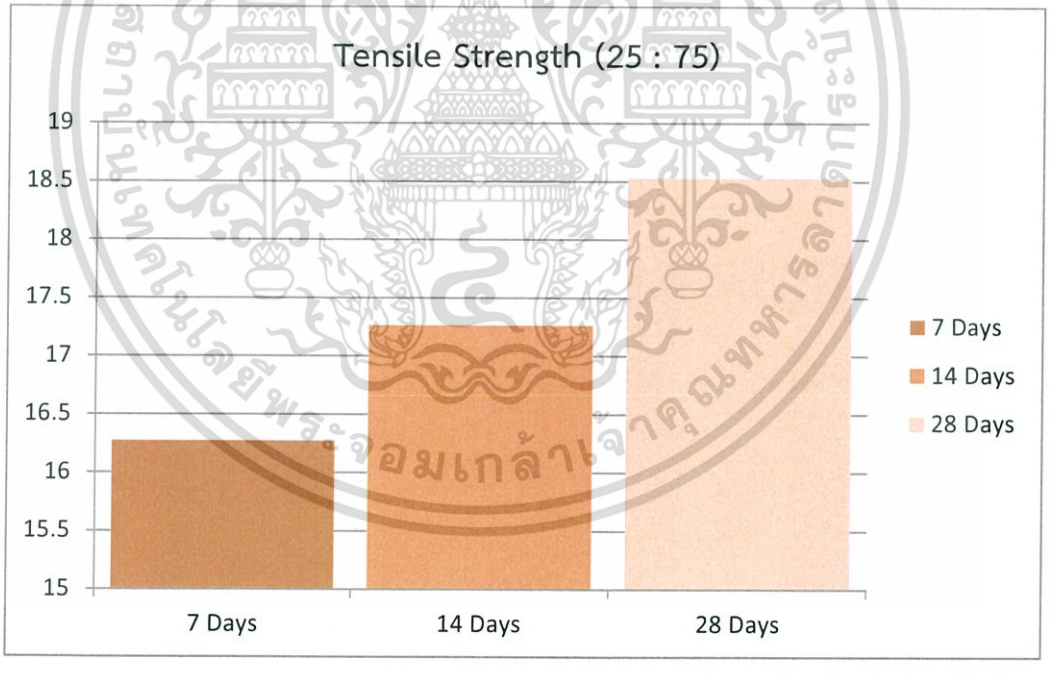
Density (kg./m.^{3})

Average	= 2367.358 kg/m^3
S.D.	= 34.674
CV	= 0.0146

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 4.4 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงอัด 25 : 75 ในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 4.5 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงดึง 25 : 75 ในแต่ละช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST (Type RCA-28 50 : 50)

SPECIMEN NO.	DIAMETER (cm)	AREA (cm^2)	HEIGHT (cm)	WEIGHT (kg)	Volume (m^3)	Date of casting	Date of Testing	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	COMP. STREGTH (ksc)	Density ($kg./m.^3$)	REMARK
1	15.03	177.422	29.8	12.477	0.00529	13-10-59	21-10-59	7	384.6	220.970	2359.86	
2	15.088	178.794	29.9	12.645	0.00535	13-10-59	21-10-59	7	453.04	258.294	2365.34	
3	15	176.715	29.8	12.564	0.00527	13-10-59	21-10-59	7	338.26	195.123	2385.83	
4	15.096	178.984	30.1	12.545	0.00539	13-10-59	28-10-59	14	381.9	217.504	2328.58	
5	15.09	178.842	30	12.525	0.00537	13-10-59	28-10-59	14	444.1	253.130	2334.47	
6	15.04	177.658	30.1	12.487	0.00535	13-10-59	28-10-59	14	500.94	287.429	2335.1	
7	15.038	177.611	30.1	12.592	0.00535	13-10-59	11-11-59	28	535.75	307.484	2355.36	
8	15.02	177.186	30	12.573	0.00532	13-10-59	11-11-59	28	460.16	264.734	2365.31	
9	15.01	176.950	30.2	12.488	0.00534	13-10-59	11-11-59	28	455.24	262.253	2336.87	

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-28 50:50

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

Comp.Strength (ksc) at 7 days	Average	= 224.796 ksc
Comp.Strength (ksc) at 14 days	Average	= 252.688 ksc
Comp.Strength (ksc) at 28 days	Average	= 278.157 ksc

Density (kg./m.3)

Average	= 2351.86 kg/m3
S.D.	= 19.180
CV	= 0.0082

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

CONCRETE TENSILE STRENGTH TEST (Type RCA-28 50 : 50)

SPECIMEN NO.	DIAMETER (cm)	AREA (cm^2)	HEIGHT (cm)	WEIGHT (kg)	Volume (m^3)	Date of casting	Date of Testing	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	TENS. STREGTH (ksc)	Density ($kg./m.^3$)	REMARK
10	15.014	177.045	30	12.463	0.00531	13-10-59	21-10-59	7	125.75	18.118	2346.49	
11	15.05	177.895	29.9	12.574	0.00532	13-10-59	21-10-59	7	119.52	17.236	2363.96	
12	15.06	178.131	30.01	12.563	0.00535	13-10-59	21-10-59	7	115.51	16.586	2350.11	
13	15.004	176.809	29.9	12.494	0.00529	13-10-59	28-10-59	14	172.62	24.970	2363.34	
14	15.1	179.079	30	12.615	0.00537	13-10-59	28-10-59	14	157.16	22.514	2348.13	
15	15.158	180.457	30.1	12.629	0.00543	13-10-59	28-10-59	14	120.56	17.148	2325.03	
16	15.08	178.605	30.05	12.436	0.00537	13-10-59	11-11-59	28	159.5	22.842	2317.09	
17	15.03	177.422	29.9	12.492	0.00530	13-10-59	11-11-59	28	162.6	23.480	2354.79	
18	15.19	181.220	29.8	12.589	0.00540	13-10-59	11-11-59	28	163.93	23.501	2331.15	

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต Type RCA-28 50:50

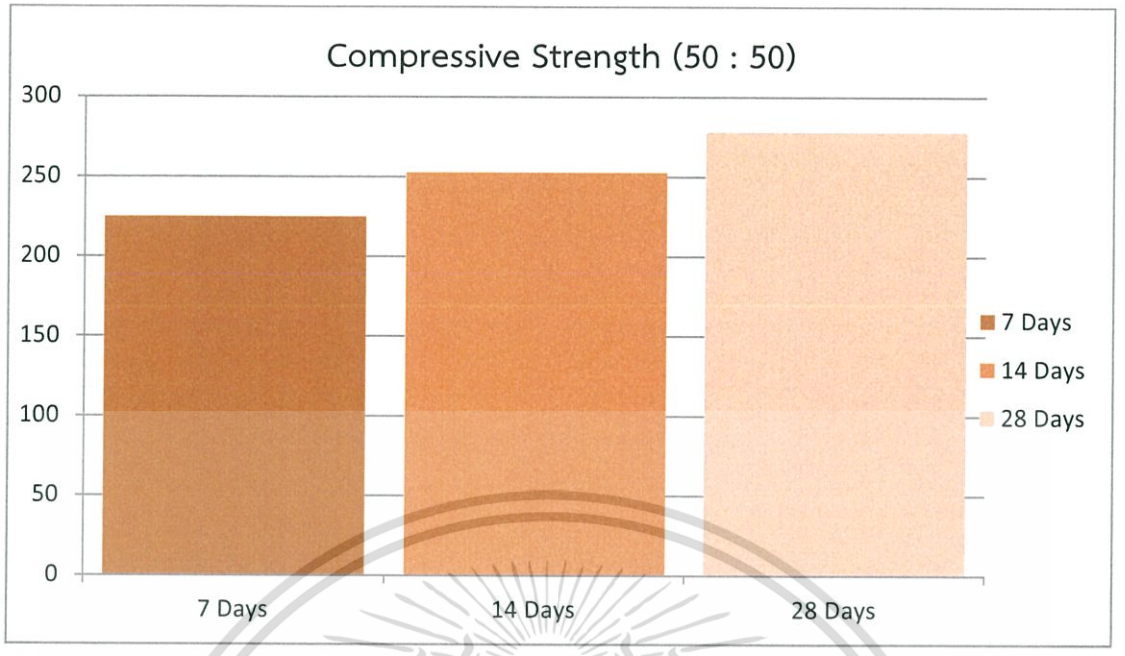
S.D. = $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x-\bar{x})^2}{N-1}}$ $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x}{N}$

Tens.Strength (ksc) at 7 days	Average	= 17.131 ksc
Tens.Strength (ksc) at 14 days	Average	= 21.566 ksc
Tens.Strength (ksc) at 28 days	Average	= 23.227 ksc

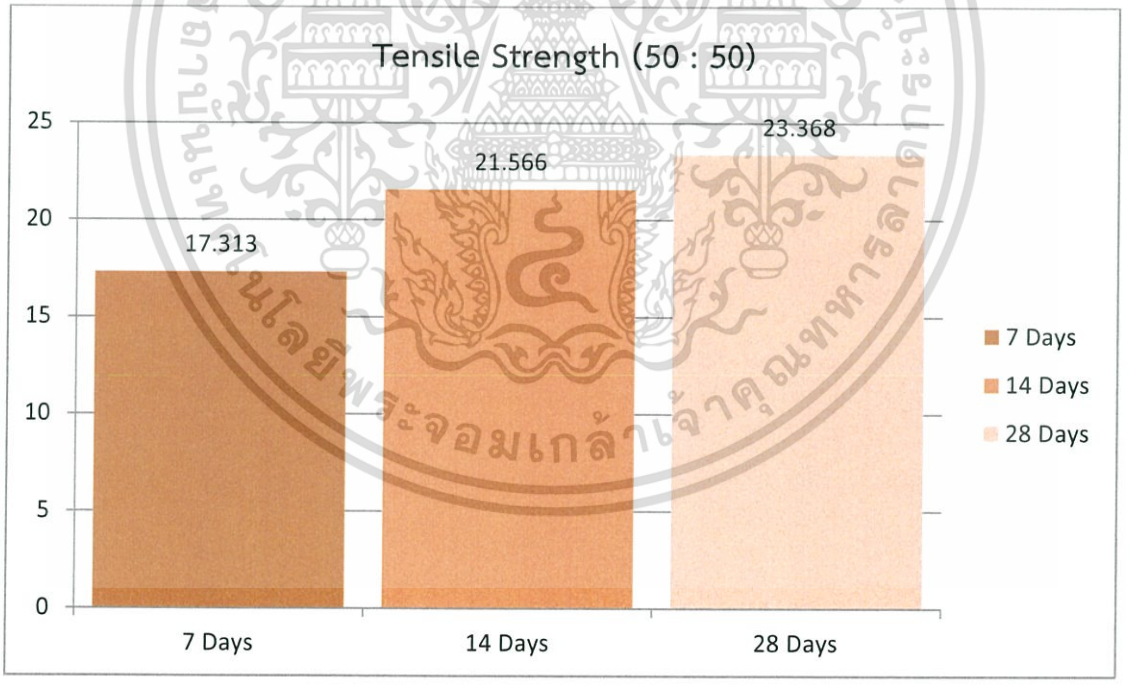
Density (kg./m.^{3})

Average	= 2344.454 kg/m^3
S.D.	= 16.570
CV	= 0.0071

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 4.6 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงอัด 50 : 50 ในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 4.7 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงดึง 50 : 50 ในแต่ละช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST (Type RCA-28 75 : 25)

SPECIMEN NO.	DIAMETER (cm)	AREA (cm^2)	HEIGHT (cm)	WEIGHT (kg)	Volume (m^3)	Date of casting	Date of Testing	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	COMP. STREGTH (ksc)	Density ($kg./m.^3$)	REMARK
1	15.01	176.950	29.95	12.357	0.00530	16-10-59	24-10-59	7	381.76	219.923	2331.66	
2	15.02	177.186	29.9	12.248	0.00530	16-10-59	24-10-59	7	367.79	211.593	2311.87	
3	15.04	177.658	29.95	12.277	0.00532	16-10-59	24-10-59	7	348.71	200.083	2307.33	
4	15.03	177.422	29.99	12.254	0.00532	16-10-59	31-10-59	14	424.62	243.963	2303	
5	15.1	179.079	30.01	12.53	0.00537	16-10-59	31-10-59	14	340.13	193.612	2331.53	
6	15.08	178.605	30.1	12.259	0.00538	16-10-59	31-10-59	14	353.21	201.591	2280.32	
7	15	176.715	30	12.291	0.00530	16-10-59	14-11-59	28	404.3	233.218	2318.43	
8	15.128	179.743	30	12.41	0.00539	16-10-59	14-11-59	28	359.76	204.029	2301.43	
9	15	176.715	29.5	12.166	0.00521	16-10-59	14-11-59	28	466.11	268.873	2333.74	

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต Type RCA-28 75:25

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

Comp.Strength (ksc) at 7 days	Average	= 210.533 ksc
Comp.Strength (ksc) at 14 days	Average	= 213.055 ksc
Comp.Strength (ksc) at 28 days	Average	= 235.373 ksc

Density (kg./m.3)

Average	= 2313.257kg/m3
S.D.	= 17.63
CV	= 0.0076

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

CONCRETE TENSILE STRENGTH TEST (Type RCA-28 75 : 25)

SPECIMEN NO.	DIAMETER (cm)	AREA (cm^2)	HEIGHT (cm)	WEIGHT (kg)	Volume (m^3)	Date of casting	Date of Testing	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	TENS. STREGTH (ksc)	Density ($kg./m.^3$)	REMARK
10	15.03	177.422	29.95	12.237	0.00531	16-10-59	24-10-59	7	100.02	14.419	2302.87	
11	15.034	177.517	30	12.188	0.00533	16-10-59	24-10-59	7	143.85	20.698	2288.61	
12	15.01	176.950	30.1	12.22	0.00533	16-10-59	24-10-59	7	140.14	20.129	2294.32	
13	15.05	177.895	29.9	12.291	0.00532	16-10-59	31-10-59	14	150.92	21.765	2310.75	
14	15.07	178.368	30	12.401	0.00535	16-10-59	31-10-59	14	143.96	20.664	2317.5	
15	15.08	178.605	30.01	12.228	0.00536	16-10-59	31-10-59	14	153.4	21.997	2281.38	
16	15.04	177.658	30.1	12.394	0.00535	16-10-59	14-11-59	28	167.62	24.028	2317.71	
17	15.01	176.950	29.9	12.174	0.00529	16-10-59	14-11-59	28	162.92	23.558	2300.97	
18	15	176.715	30	12.31	0.00530	16-10-59	14-11-59	28	157.46	22.707	2322.01	

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต Type RCA-28 75:25

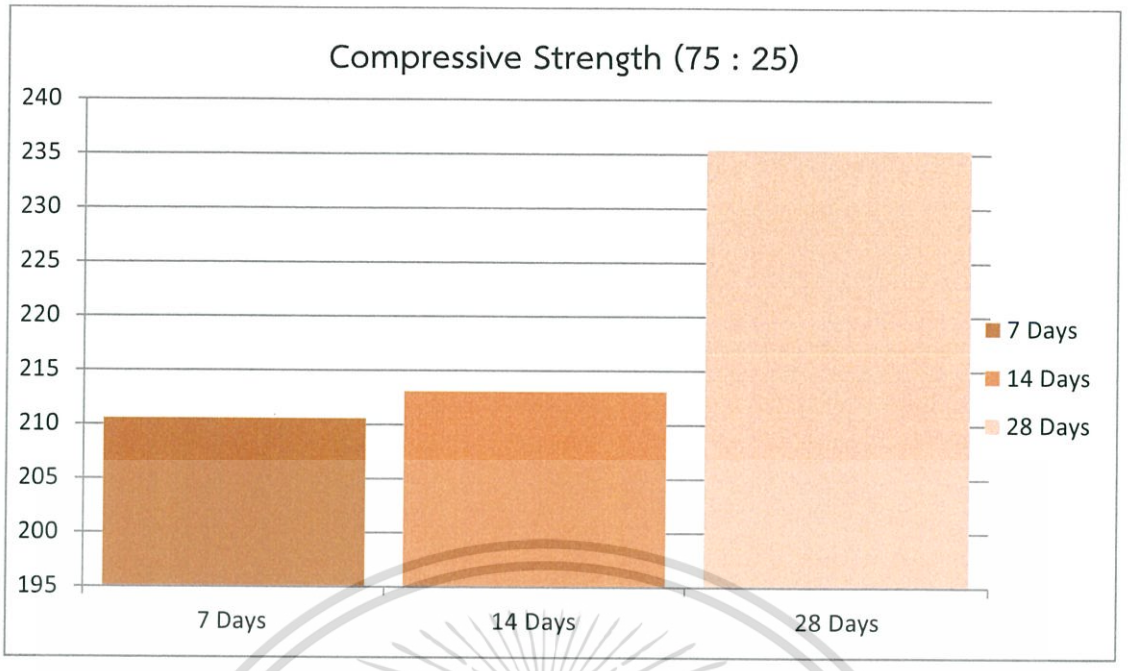
$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x-\bar{x})^2}{N-1}} \qquad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x}{N}$$

Tens.Strength (ksc) at 7 days	Average	= 18.415 ksc
Tens.Strength (ksc) at 14 days	Average	= 21.524 ksc
Tens.Strength (ksc) at 28 days	Average	= 23.379 ksc

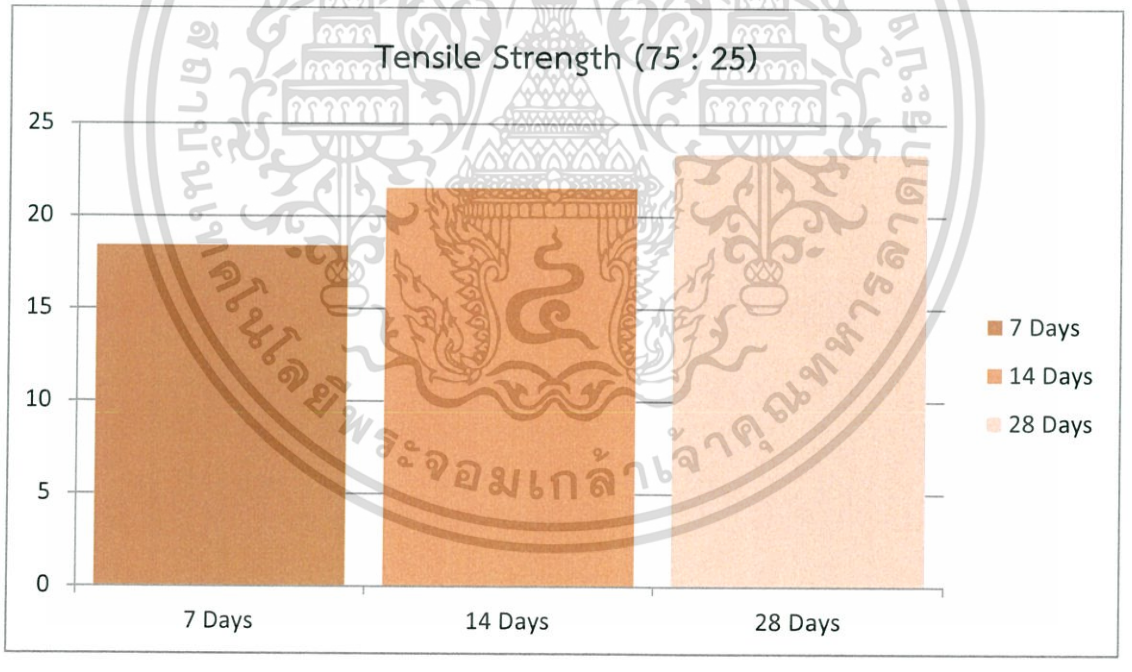
Density (kg./m.^{3})

Average	= 2304.01 kg/m^3
S.D.	= 14.11
CV	= 0.0061

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

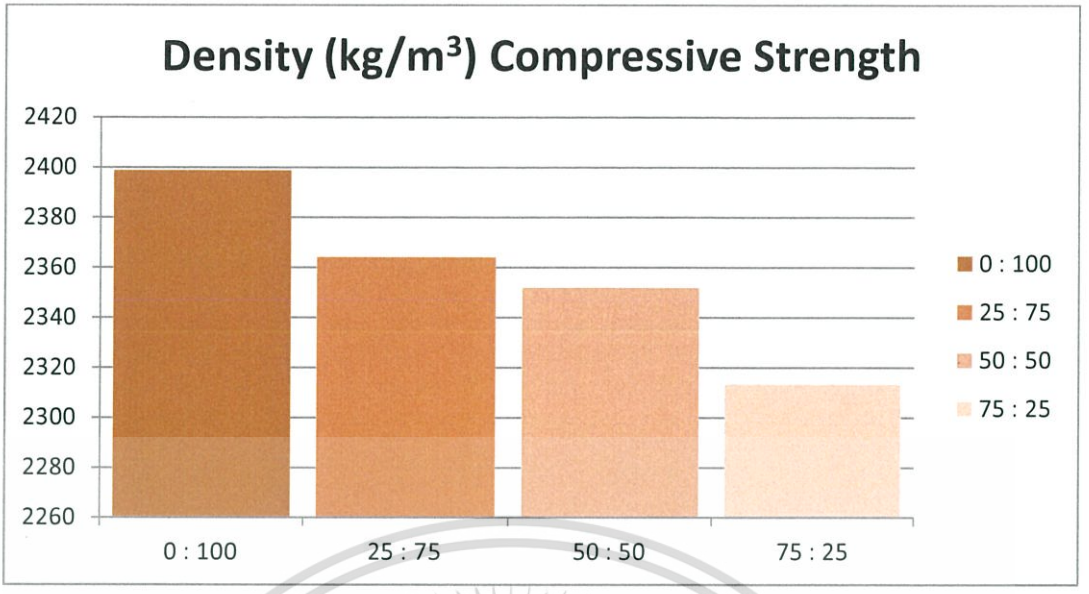


รูปที่ 4.8 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงอัด 75 : 25 ในแต่ละช่วงเวลา

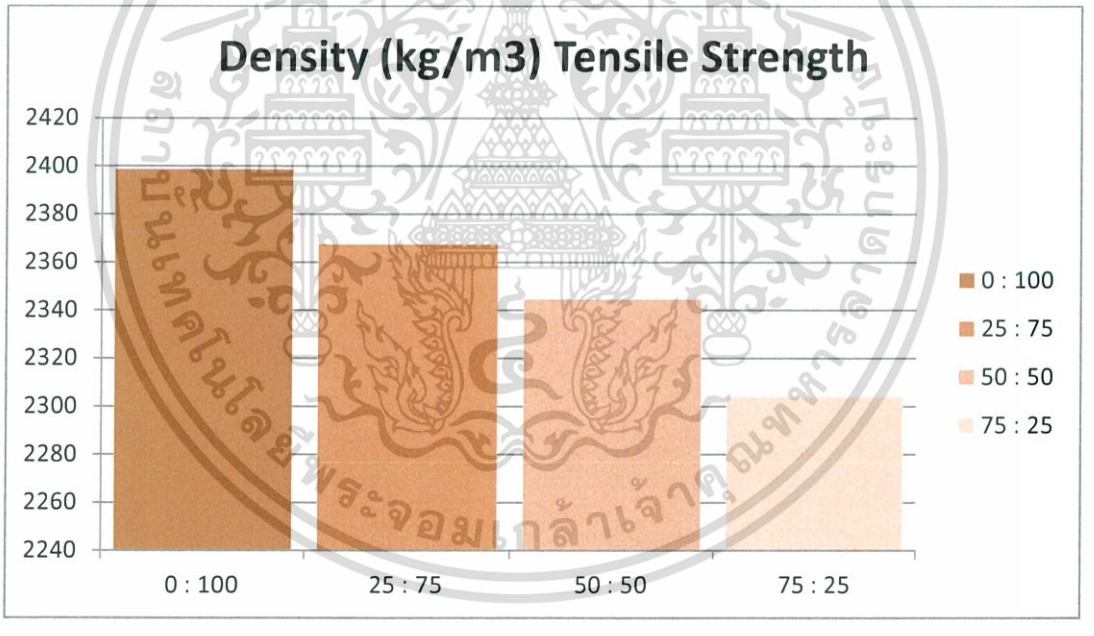


รูปที่ 4.9 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงดึง 75 : 25 ในแต่ละช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แผนภูมิแท่งแสดงความหนาแน่นของคอนกรีตรับแรงอัดในแต่ละสัดส่วน



รูปที่ 4.11 แผนภูมิแท่งแสดงความหนาแน่นของคอนกรีตรับแรงดึงในแต่ละสัดส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากผลการทดสอบคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ เพื่อมาศึกษาเปรียบเทียบกำลังอัดและกำลังรับแรงดึงกับในกรณีของหินย่อยที่อายุของคอนกรีต 28 วัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าถึงแม้มวลรวมหยาบที่นำมาใช้จะมาจากเศษคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดแตกต่างกันในช่วง 280 ksc. เมื่อได้นำมาย่อย เป็น
มวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีตกำลังอัดที่ออกแบบไว้ที่ 280 ksc.

(1) จากการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วันพบว่า มวลรวมหยาบที่นำมาใช้แม้จะมาจากเศษคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดที่เท่ากับ 280 ksc. เมื่อได้นำมาย่อยเป็นมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีตกำลังอัดที่ออกแบบไว้ที่ 280 ksc. ได้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตหินย่อยธรรมดาโดยเฉลี่ยมีค่า 306.304 ksc.และค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ผสมเศษคอนกรีต 25%,50%และ 75%โดยเฉลี่ยคือ 238.154, 278.157, 235.373 ksc. ตามลำดับ ซึ่งจะได้สัดส่วนที่เหมาะสมมากที่สุดคือคอนกรีตผสมเศษคอนกรีต 50% ซึ่งมีกำลังอัดต่ำกว่าค่าคอนกรีตหินย่อยธรรมดา 9.189% ซึ่งอาจนำไปใช้ประโยชน์ ในโครงสร้างขนาดเล็กที่ไม่ได้ใช้เพื่อรับกำลังมากเช่น ทางเดิน เป็นต้น

(2) จากการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตหินย่อยธรรมดาโดยเฉลี่ยมีค่า 25.72 ksc. และค่ากำลังดึงคอนกรีตที่ผสมเศษคอนกรีต 25%,50% และ 75%โดยเฉลี่ยคือ 18.347,23.368,23.339 ksc. ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนที่เหมาะสมมากที่สุดคือคอนกรีตผสมเศษคอนกรีต 50% ซึ่งมีกำลังดึงต่ำกว่าค่าคอนกรีตหินย่อยธรรมดา 9.145% ซึ่งอาจนำไปใช้ประโยชน์ ในโครงสร้างขนาดเล็กที่ไม่ได้ใช้เพื่อรับกำลังมากเช่น ทางเดิน เป็นต้น

(3) ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อสัดส่วนของเศษคอนกรีตเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าความหนาแน่นของเศษคอนกรีตมีค่า 1382.398 kg/m^3 และค่าความหนาแน่นของหิน 1641.92 kg/m^3 ซึ่งจะเห็นว่าความหนาแน่นของเศษคอนกรีตมีค่าน้อยกว่าหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค์ในการดำเนินงาน

(1) ช่วงเวลาที่ทำการทดลองหาความชื้นในมวลรวม เป็นช่วงฤดูฝนทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นใน มวลรวมได้ง่าย ทำให้มีปัญหาในการหาที่จัดเก็บ และต้องเพิ่มความระมัดระวังในเกี่ยวกับความชื้นในการทดลอง

(2) เนื่องจากเศษคอนกรีตที่ได้จากกระย่อยสลายคอนกรีตที่ใช้แล้ว มีซีเมนต์เพสต์เกาะอยู่มากน้อยคละกันไป อาจเป็นส่วนที่ทำให้กำลังของคอนกรีตใหม่มีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ศักดิ์ชัย วงษ์ชัย, 2553, **การวิจัยการนำเศษคอนกรีตมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบผสมคอนกรีตแทนหินย่อย**

[2] สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ, 2549, **การใช้เศษโฟมมาทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต**

[3] เทอดศักดิ์ สายสุทธิ์, 2555, **RCA จากส่วนที่เหลือของเสาเข็มคอนกรีต**

[4] รัฐพล สมนา และ ขัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2554, **การใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัดการซึมผ่านน้ำ และ ความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า**

[5] ปกป้อง รัตนชู, กฤษฎา เปรมฤทัย, วีรชาติ ตั้งจิรภัทรและชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2558, **ผลกระทบจากการใช้เถ้าถ่านหินบดละเอียดต่อกำลังอัดและความทนทานของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีต**

[6] ประชุม คำพุฒและว่าที่ร้อยตรีกิตติพงษ์ สุวีโร, 2553, **การศึกษาคอนกรีตมวลเบาผสมแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติ**

[7] ชมพูนุท วีรกิตติ และ ปิยวรรณ กลิ่นศรีสุข, 2559, **กรีนคอนกรีต ทางเลือกใหม่ของวัสดุก่อสร้าง Watershed materials และ comdesignboom.com อิฐดินเหนียว วัสดุทางเลือกใหม่แข็งแรงกว่าคอนกรีต 2 เท่า**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

รูปภาพที่เกี่ยวข้อง

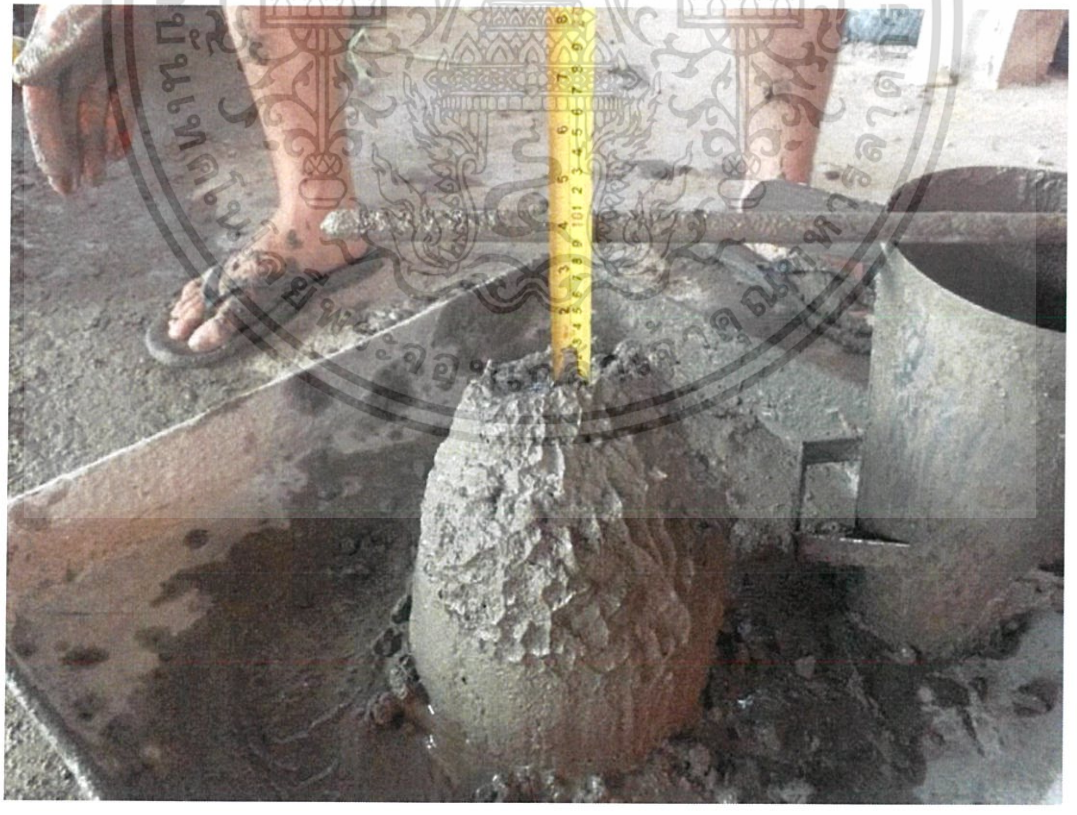
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 วัสดุมวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีต

รูปที่ 2 วัสดุมวลรมหยาบที่เป็นหินย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 วัสดุมวลรวมหยาบที่ใช้ในการผสมคอนกรีต



รูปที่ 4 การทดสอบค่าการยุบตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(อัตราส่วน 0:100) ที่ 7 วัน

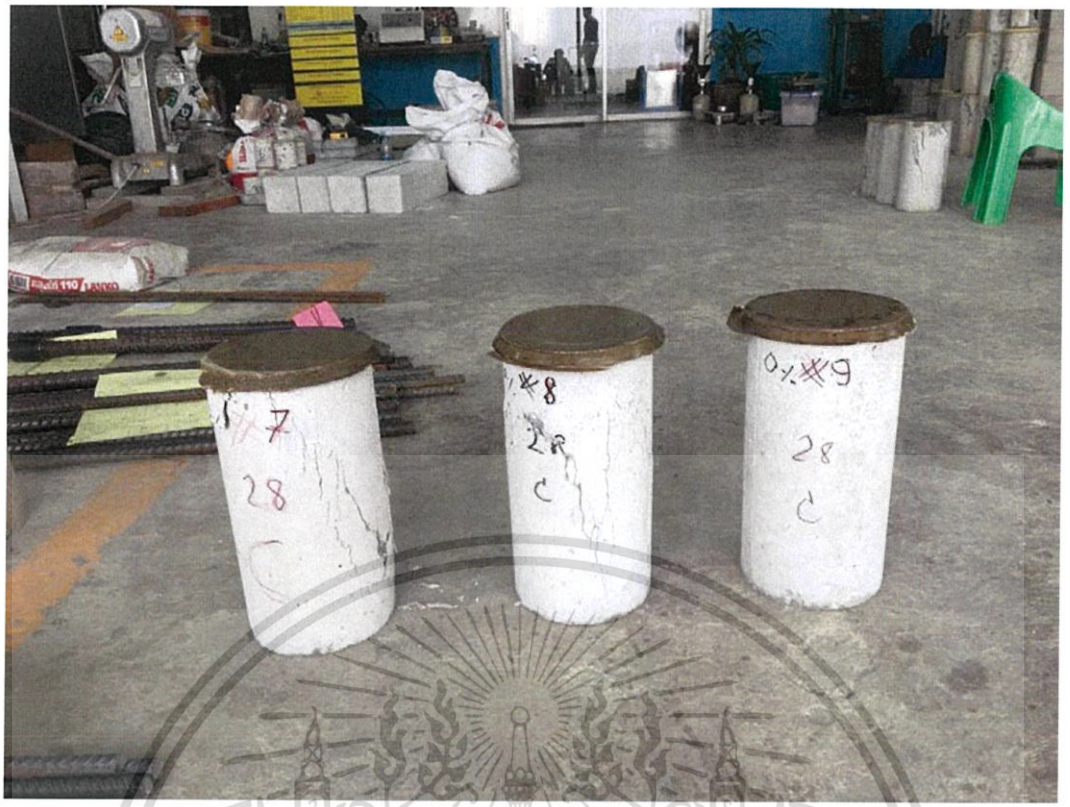
รูปที่ 6 การทดสอบกำลังรับแรงดึง(อัตราส่วน 0:100) ที่ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(อัตราส่วน 0:100) ที่ 14 วัน

รูปที่ 8 การทดสอบกำลังรับแรงดึง(อัตราส่วน 0:100) ที่ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(อัตราส่วน 0:100) ที่ 28 วัน

รูปที่ 10 การทดสอบกำลังรับแรงดึง(อัตราส่วน 0:100) ที่ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 11 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(อัตราส่วน 25:75) ที่ 7 วัน

รูปที่ 12 การทดสอบกำลังรับแรงดึง(อัตราส่วน 25:75) ที่ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 13 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(อัตราส่วน 25:75) ที่ 14 วัน

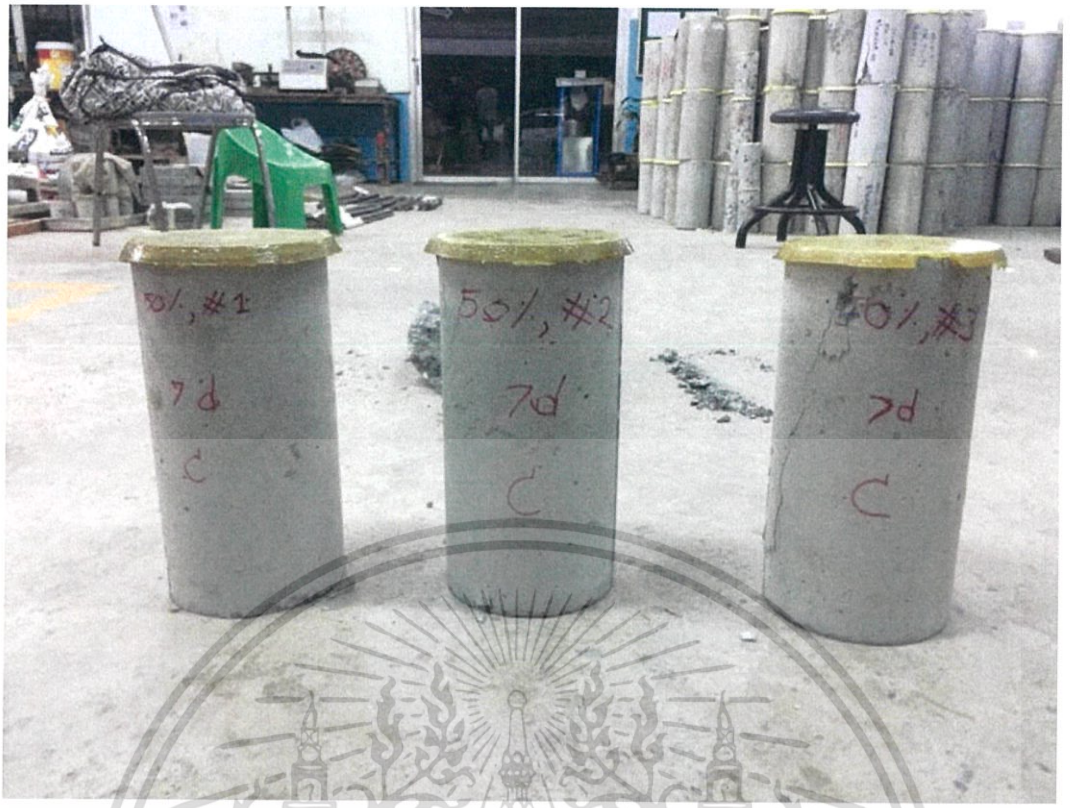
รูปที่ 14 การทดสอบกำลังรับแรงดึง(อัตราส่วน 25:75) ที่ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 15 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(อัตราส่วน 25:75) ที่ 28 วัน

รูปที่ 16 การทดสอบกำลังรับแรงดึง(อัตราส่วน 25:75) ที่ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(อัตราส่วน 50:50) ที่ 7 วัน

รูปที่ 18 การทดสอบกำลังรับแรงดึง(อัตราส่วน 50:50) ที่ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 19 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(อัตราส่วน 50:50) ที่ 14 วัน

รูปที่ 20 การทดสอบกำลังรับแรงดึง(อัตราส่วน 50:50) ที่ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 21 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(อัตราส่วน 50:50) ที่ 28 วัน

รูปที่ 22 การทดสอบกำลังรับแรงดึง(อัตราส่วน 50:50) ที่ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 23 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(อัตราส่วน 75:25) ที่ 7 วัน

รูปที่ 24 การทดสอบกำลังรับแรงดึง(อัตราส่วน 75:25) ที่ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 25 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(อัตราส่วน 75:25) ที่ 14 วัน

รูปที่ 26 การทดสอบกำลังรับแรงดึง(อัตราส่วน 75:25) ที่ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 27 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(อัตราส่วน 75:25) ที่ 28 วัน

รูปที่ 28 การทดสอบกำลังรับแรงดึง(อัตราส่วน 75:25) ที่ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้