การศึกษาคุณสมบัติและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นของคอนกรีตชนิดธรรมดาและชนิดเกิดแรงสูงเร็วที่มีการนำเศษคอนกรีตกลับมาใช้ใหม่

STUDY ON BASIC PROPERTIES AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ORDINARY AND HIGH-EARLY STRENGTH CONCRETE USING RECYCLED CRUSHED CONCRETE

จิรายุ สวัสดี
ณภัทร กีรติประภากุล
ธนภัทร สำราญวานิช

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาคุณสมบัติและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นของคอนกรีตชนิดธรรมดาและชนิดเกิดแรงสูงเร็วที่มีการนำเศษคอนกรีตกลับมาใช้ใหม่

STUDY ON BASIC PROPERTIES AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ORDINARY AND HIGH-EARLY STRENGTH CONCRETE USING RECYCLED CRUSHED CONCRETE

จิรายุ สวัสดี
ณภัทร กีรติประภากุล
ธนภัทร สำราญวานิช

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON BASIC PROPERTIES AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ORDINARY AND HIGH-EARLY STRENGTH CONCRETE USING RECYCLED CRUSHED CONCRETE

JIRAYU SAWADDEE
NAPAT KEERATIPRAPAKUL
THANAPAT SUMRANWANICH

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาคุณสมบัติและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นของคอนกรีตชนิดธรรมดาและชนิดเกิดแรงสูงเร็วที่มีการนำเศษคอนกรีตกลับมาใช้ใหม่
STUDY ON BASIC PROPERTIES AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ORDINARY AND HIGH-EARLY STRENGTH CONCRETE USING RECYCLED CRUSHED CONCRETE

นักศึกษา
นาย จิรายุ สวัสดี รหัสประจำตัว 56010207
นาย ณภัทร กีรติประภากุล รหัสประจำตัว 56010353
นาย ธนภัทร สำราญวานิช รหัสประจำตัว 56010541

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชดชนก อัฑฒพงศ์

คณะกรรมการหัวข้อโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร.ชดชนก อัฑฒพงศ์	
ผศ.ดร.ชลิดา อู่ตะเภา	
รศ.ดร.อุมา สีบุญเรือง	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 18 เมษายน 2560 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธาชั้น 1 (ห้องประชุมใหญ่)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาคุณสมบัติและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นของคอนกรีตชนิดธรรมดาและชนิดเกิดแรงสูงเร็วที่มีการนำเศษคอนกรีตกลับมาใช้ใหม่

นายจิรายุ สวัสดี รหัสประจำตัว 56010207

นายณภัทร กีรติประภากุล รหัสประจำตัว 56010353

นายธนภัทร สำราญวานิช รหัสประจำตัว 56010541

ดร. ชดชนก อัฑฒพงศ์

ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการก่อสร้างในประเทศไทยเกิดขึ้นมากและมีแนวโน้มจะมากขึ้นเรื่อยๆในอนาคต ทำให้เกิดของเสียจากสิ่งก่อสร้างมากขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะของเสียที่เป็นคอนกรีต ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อมีการรื้อถอน ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อที่จะนำเศษคอนกรีตเหล่านั้นที่เป็นของเสียจากการก่อสร้างมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งได้มีการทดลองนำเศษคอนกรีตเหล่านี้ไปใช้แทนมวลรวมหยาบ (หิน) ในการผสมคอนกรีตใหม่ อย่างไรก็ตาม การศึกษาผลของสัดส่วนเศษคอนกรีตต่อกำลังอัดของคอนกรีตใหม่ของคอนกรีตประเภทคอนกรีตธรรมดาและรวมถึงคอนกรีตประเภทกำลังอัดสูงยังไม่มีผู้ศึกษาเป็นที่แพร่หลาย โครงงานนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของสัดส่วนเศษคอนกรีตต่อกำลังอัดของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตประเภทกำลังอัดสูง ซึ่งได้นำเศษคอนกรีตเก่าไปบดให้มีขนาดคละเท่ากับมวลรวมหยาบ (หิน) ในการผสมคอนกรีตในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 3 อัตราส่วน ได้แก่ 25% , 50% และ 75% และใช้ปูนซีเมนต์ 2 ประเภทในการทดลอง คือ ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 (กำลังอัดสูง) เพื่อจะทดสอบวัดกำลังอัดของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสมของคอนกรีตเก่าต่างกัน ผลที่ได้จากการทดลอง ค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตประเภท 1 ที่ได้เท่ากับ 228.91, 210.50, 195.45, 227.45 กก./ซม.^{2} โดยมีเศษคอนกรีตเป็นส่วนผสมเท่ากับ 0%, 25%, 50% และ 75% ตามลำดับ ส่วนค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตประเภท 3 ที่ได้เท่ากับ 206.91, 202.97, 194.94, 186.67 กก./ซม.^{2} โดยมีเศษคอนกรีตเป็นส่วนผสมเท่ากับ 0%, 25%, 50% และ 75% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการทดสอบความเป็นกรด-ด่างของน้ำชะคอนกรีตที่ได้จากการผสมคอนกรีตเก่าอีกด้วย โดยมีการวัดค่า pH ทุกๆ 0, 1, 3, 5, 7, 10 และ 14 วัน เพื่อศึกษาผลกระทบเบื้องต้นต่อสิ่งแวดล้อม จะเห็นได้ว่าค่า pH เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มคงที่ที่ pH เท่ากับ 12.08 โดยประโยชน์ของโครงงานนี้คือเพื่อช่วยลดปริมาณการใช้หินใหม่ที่เกิดจากการระเบิดหิน โม่หิน มาใช้เป็นมวลรวมหยาบและยังช่วยลดปริมาณของเสียจากการก่อสร้างอย่างคอนกรีตเก่าอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON BASIC PROPERTIES AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ORDINARY AND HIGH-EARLY STRENGTH CONCRETE USING RECYCLED CRUSHED CONCRETE

JIRAYU SAWADDEE Student ID : 56010207
NAPAT KEERATIPRAPAKUL Student ID : 56010353
THANAPAT SUMRANWANICH Student ID : 56010541
DR. CHODCHANOK ATTAPHONG
Academic Year 2016

ABSTRACT

At the present time, construction industries are increasing continuously which result in high amount of construction waste from construction, especially, concrete waste from building destruction. Therefore, it might be necessary to study on using crushed concrete waste recycled as coarse aggregate in new concrete mixing. However, the effect of crushed concrete proportion on compressive strength of normal concrete and high-early strength concrete have not been studied yet. This research studied on the effect of crushed concrete proportion on compressive strength of normal concrete and high-early strength concrete by crushing waste of concrete into different sizes use as coarse aggregate in concrete mixed design in three different ratios including 25%, 50% and 75%. In addition, there are 2 types of cement port land used in this experiment which were Port land cement type 1 (normal) and Port land cement type 3 (high-early strength) for a comparison of compressive strength of concrete. The results were found that compressive strengths of concrete type 1 for C1, RCA1-25, RCA1-50 and RCA1-75 are 228.91, 210.50, 195.45, 227.45 kg/cm^2 (ksc) respectively while compressive strengths of concrete type 3 for C3, RCA3-25, RCA3-50 and RCA3-75 are 206.91, 202.97, 194.94, 186.67 kg/cm^2 (ksc), respectively. This demonstrated that increasing percent recycled crushed concrete decreased compressive strength for both types of concretes. Moreover, the pH values of leachate from crushed concrete waste were measured by pH meter at 0, 1, 3, 5, 7, 10 and 14 days. It can be seen that the pH values increased after 1 day and were stable with a final pH value at 12.08. The results of this research were expected to explore the technologies to reduce and add value to crushed waste concrete from construction destruction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ การให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์เอื้อเฟื้อต่อการศึกษาค้นคว้า และการทดลองจาก อาจารย์ ดร.ชดชนก อัฑฒพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา ขอขอบคุณ พี่เจี๊ยบ พี่มนิตย์ พี่สมบัติ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านทุกท่านที่ให้คำแนะนำ รวมถึงการจัดหาอุปกรณ์ ที่วางเก็บตัวอย่าง และให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดสอบในห้องปฏิบัติการ

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

จิรายุ สวัสดี
ณภัทร กีรติประภากุล
ธนภัทร สำราญวานิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....V
สารบัญรูป.....VI
บทที่ 1 บทนำ.....1
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมรวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....3
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....17
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....26
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....37
บรรณานุกรม
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 ประเภทของปูนซีเมนต์.....5
ตารางที่ 2-2 ขนาดคละของมวลรวมละเอียดตามมาตรฐาน.....7
ตารางที่ 3-1 ค่ายุบตัวสาหรับงานประเภทต่างๆ.....20
ตารางที่ 3-2 ปริมาณน้ำผสมคอนกรีตธรรมดา.....21
ตารางที่ 3-3 ปริมาณน้ำผสมคอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ.....22
ตารางที่ 3-4 ความสัมพันธ์ระหว่างกาลังคอนกรีตกับอัตราส่วนของน้ำ-ซีเมนต์.....23
ตารางที่ 3-5 อัตราส่วนน้ำ – ซีเมนต์ที่ยอมให้สำหรับงานภายใต้สภาวะพิเศษ.....23
ตารางที่ 3-6 ปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร.....24
ตารางที่ 3-7 น้ำหนักคอนกรีตสด.....25
ตารางที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบโดยวิธีน้ำหนัก และโดยวิธีปริมาตร.....28
ตารางที่ 4-2 แสดงข้อมูลการทดสอบ Compressive strength of concrete type 1.....30
ตารางที่ 4-3 แสดงข้อมูลการทดสอบ Compressive strength of concrete type 3.....31
ตารางที่ 4-4 ข้อมูลผลการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ของคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1.....33
ตารางที่ 4-5 ข้อมูลผลการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ของคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3.....34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปภาพที่ 2-1 ปริมาณความต้องการปูนซีเมนต์ในประเทศไทย.....11
รูปภาพที่ 2-2 ประเภทของงานคอนกรีตสำเร็จรูป.....12
รูปภาพที่ 2-3 ปริมาณการใช้มวลรวมสำหรับงานก่อสร้างในประเทศไทย.....12
รูปภาพที่ 3-1 ขั้นตอนในการทำการทดสอบ.....17
รูปภาพที่ 4-1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดสูงสุดระหว่างคอนกรีต.....32
รูปภาพที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบค่า pH ของคอนกรีตประเภทที่ 1.....35
รูปภาพที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบค่า pH ของคอนกรีตประเภทที่ 3.....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันอุตสาหกรรมการก่อสร้างได้เกิดมามากและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในอนาคต ทำให้เกิดของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนมากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อมเมื่อมีการรื้อถอน ขยะมูลฝอยจากการก่อสร้างมักไม่ได้รับการจัดการที่ถูกวิธีและเหมาะสม โดยมักจะถูกลักลอบไปทิ้งยังสถานที่สาธารณะ พื้นที่ว่างเปล่าตลอดจนเทลงแม่น้ำลำคลอง ทำให้เกิดสภาพที่ไม่น่าดู และลำน้ำตื้นเขินได้ ซึ่งตามหลักวิชาการจะต้องมีการกำจัดให้เหมาะสมกับประเภทของมูลฝอยและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ หรือการ Recycling ขยะมูลฝอยเหล่านี้ ได้แก่ เสาเข็มที่ตัดออก เศษคอนกรีต เศษไม้ เศษกระเบื้อง เครื่องสุขภัณฑ์เก่า ฯลฯ ดังนั้นจึงได้มีการนำเศษคอนกรีตเก่ามาใช้แทนมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) เพื่อลดปริมาณของเสียจากการสิ่งก่อสร้าง และยังช่วยลดการใช้หินใหม่ที่เกิดจากการระเบิดหิน โม่หิน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการนำเศษคอนกรีตเก่ามาเป็นมวลรวมหยาบเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบกำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ธรรมดา) และคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 (เกิดแรงสูงเร็ว) รวมคอนกรีตที่นำเศษคอนกรีตเก่านำกลับมาใช้ใหม่เป็นมวลรวมหยาบ

1.2.3 เพื่อศึกษาและทดสอบความเป็นกรด – ด่างของน้ำที่ชะล้างคอนกรีตใหม่กับคอนกรีตที่นำเศษคอนกรีตเก่ามาใช้ใหม่เป็นมวลรวมหยาบ ทั้งประเภทที่ 1 (ธรรมดา) และประเภทที่ 3 (เกิดแรงสูงเร็ว) โดยนำคอนกรีตประเภทดังกล่าวทั้งหมดมาทุบ และนำไปแช่น้ำในปริมาณที่เท่ากัน ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน แล้วนำเครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ทำการวัดในวันแรกและทุก 0,1,3,5,7,10 และ 14 วัน จนค่ากรด-ด่างคงที่ บันทึกผลที่ได้แล้วเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถนำเศษคอนกรีตเก่ามาใช้แทนมวลรวมหยาบได้

1.3.2 สามารถทราบถึงกำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ธรรมดา) และคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 (เกิดแรงสูงเร็ว)

1.3.3 สามารถทราบถึงกำลังอัดสูงสุดที่มาการนำกลับมาใช้ใหม่ของคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ธรรมดา) และคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 (เกิดแรงสูงเร็ว) ที่นำเศษคอนกรีตเก่ามาใช้เป็นมวลรวมหยาบ

1.3.4 สามารถทราบถึงความเป็นกรด – ด่างของน้ำที่ชะล้าง ซึ่งบ่งบอกถึงผลกระทบต่อแหล่งน้ำเบื้องต้น ของคอนกรีตใหม่กับคอนกรีตที่นำเศษคอนกรีตเก่ามาใช้เป็นมวลรวมหยาบทั้งประเภทที่ 1 (ธรรมดา) และประเภทที่ 3 (เกิดแรงสูงเร็ว)

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ในการทดสอบคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตเก่ามาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบกับคอนกรีตธรรมดาที่ใช้หินเป็นวัสดุมวลรวมหยาบนั้นจะพิจารณาควบคุมตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตดังต่อไปนี้

1.4.1 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ธรรมดา) และประเภทที่ 3 (เกิดแรงสูงเร็ว)

1.4.2 มวลรวมละเอียดที่ใช้เป็นทรายแม่น้ำ

1.4.3 มวลรวมหยาบที่ใช้มีขนาดอยู่ระหว่าง 1/2 นิ้ว และ 1 นิ้ว

1.4.4 ใช้การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Test for Compressive Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens)

1.4.5 ทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำชะล้างของคอนกรีตใหม่กับคอนกรีตที่นำเศษคอนกรีตเก่ามาใช้เป็นมวลรวมหยาบทั้งในคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ธรรมดา) และประเภทที่ 3 (เกิดแรงสูงเร็ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมรวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันในการก่อสร้างเราจะใช้คอนกรีตขึ้นรูปเป็นโครงสร้างอาคารต่างๆ เช่น เสา คาน พื้น ผนัง ในตอนแรกจะมีสถานะเป็นกึ่งของเหลว สามารถนำมาเทเป็นรูปแบบที่ต้องการได้ คอนกรีตมีคุณสมบัติในการรับแรงอัดที่ดี สามารถออกแบบค่ากำลังรับแรงอัดได้ตามอัตราส่วนผสม โครงงานนี้จึงเลือกนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 3 มาทำเป็นคอนกรีตรีไซเคิลแล้วเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัด เพราะปูนสองชนิดนี้มีส่วนแตกต่างกันที่เห็นได้ชัดตรงที่จำนวนวันในการบ่มคอนกรีตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 3 จะเร็วกว่าชนิดแรก

2.1 องค์ประกอบของคอนกรีต

คอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์ วัสดุมวลรวม และน้ำ โดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆ เหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้ ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำเรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทรายเรียกว่า มอร์ต้า (Mortar) มอร์ต้าผสมกับหินหรือกรวดเรียกว่า คอนกรีต (Concrete) โดยมีการคำนวนอัตราส่วนต่างๆเพื่อให้ได้กำลังอัดตามต้องการ รายละเอียดต่างๆเป็นไปดังนี้

2.1.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์แบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภท คือ ปูนซีเมนต์ธรรมชาติ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ โดยปูนซีเมนต์แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติ และความเหมาะสมในการใช้งานต่างกันไป ปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบหากำลังอัดสูงสุดที่คอนกรีตสามารถรับได้นั้นคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์รหัส ซี – 150 (C – 150 Portland cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เป็นปูนซีเมนต์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมากที่สุดในปัจจุบัน แบ่งเป็น 5 ประเภทได้แก่

(1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Type – l Normal Portland Cement หรือ Standard Portland Cement หรือ Ordinary Portland Cement) ใช้สำหรับงานก่อสร้างทั่วไปที่ไม่ต้องการสมบัติพิเศษ ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้กับงานคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา เช่น โครงสร้างอาคารคอนกรีต ทางเท้า ถนน สะพานยกระดับ และอื่น ๆ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับซัลเฟตและไม่ทนปฏิกิริยาเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Type – II Modified Portland Cement หรือ Moderate Heat Portland Cement) ได้มีการดัดแปลงให้มีความต้านทานต่อซัลเฟตปานกลาง ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะต่ำกว่าและเพิ่มช้ากว่าประเภทแรก จึงสามารถช่วยลดอุณหภูมิของ คอนกรีตในอากาศร้อนได้ดี ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะที่จะใช้งานในโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น ตอม่อขนาดใหญ่ สะพานเทียบเรือ เขื่อนหรือกำแพงกันดินในบริเวณที่สัมผัสน้ำเค็มเป็นครั้งคราว

(3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดแรงสูงเร็ว (Type – III High – Early Strength Portland Cement หรือ Rapid Hardening Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เม็ดปูนจะละเอียดกว่าประเภท 1 จึงทำให้แข็งตัวและรับแรงอัดได้เร็ว แต่ต้องบ่มให้ดี เมื่อคอนกรีตมีอายุเพียงประมาณ 1 ถึง 3 วัน ก็สามารถนำมารับแรงได้ จึงนิยมนำไปใช้กับงานเร่งด่วน นอกจากนั้นยังนิยมนำไปใช้กับงานผนังลิฟท์ แต่การเกิดปฏิกิริยาจะมีความร้อนสูง (Heat of Hydration) เพราะความร้อนนี้เองจึงไม่เหมาะสมกับการก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่

(4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Type – IV Low – Heat Portland Cement) ใช้ในงานที่ต้องการควบคุม ทั้งปริมาณและอัตราความร้อนให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด การเกิดกำลังของคอนกรีตจะเป็นไปอย่างช้า ๆ จึงนิยมนำไปใช้กับงานขนาดใหญ่ เช่น เขื่อน ซึ่งถ้ามีความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตมากเกินไปจะทำให้เกิดการแตกหรือร้าวได้ ความแข็งของคอนกรีตจะมีเท่ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และทนต่อสารเคมีมากกว่า

(5) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟตได้สูง (Type –V Sulphate Resistance Portland Cement) มีคุณสมบัติในการต้านทานซัลเฟตได้สูง จะใช้กับงานก่อสร้างบริเวณที่มีการสัมผัสกับซัลเฟตบ่อย เช่น ในบริเวณดินหรือน้ำที่มีความเป็นด่างสูง ระยะเวลาในการแข็งตัวจะช้ากว่าประเภทอื่น ๆ ในการผสม ไม่ควรใช้น้ำที่มีสารแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride, $CaCl_2$) หรือเกลือเพราะจะทำให้คอนกรีตไม่ทนต่อซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-1 ประเภทของปูนซีเมนต์ (วินิต ช่อวิเชียร, 2539)

ประเภทของปูนซีเมนต์	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
อัตราเกิดความแข็งแรง	ปานกลาง	ปานกลาง – สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ – ปานกลาง
อัตราการเกิดความร้อน	ปานกลาง	ต่ำ – ปานกลาง	สูง	ต่ำ	ต่ำ – ปานกลาง
การหดตัว เมื่อแห้ง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
การทนทานต่อซัลเฟต	ต่ำ	ปานกลาง	ต่ำ	ปานกลาง – สูง	สูง

2.1.2 วัสดุมวลรวม

มวลรวม คือ วัสดุที่ใช้สำหรับผสมกับซีเมนต์เพสต์ (ซีเมนต์ผสมน้ำ) ทำให้ผลผลิตที่ได้ออกมาเป็นคอนกรีต มวลรวมที่ใช้ทั่วไปคือ หิน และทราย โดยมีการกำหนดขนาดของมวลรวมแต่ละชนิดด้วย คอนกรีตทั่วไปจะมีหินและทรายผสมอยู่ประมาณ 70% - 80% ของปริมาตรคอนกรีต คุณภาพหินและทรายที่ใช้ต้องพิจารณาให้ดี เนื่องจากจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตเป็นอย่างมาก

(1) การแบ่งประเภทของมวลรวม

ก. แบ่งตามแหล่งกำเนิด

ก.1 จากธรรมชาติ (Natural Mineral Aggregate) เกิดจากขบวนการกัดกร่อนและเสียดสีตามธรรมชาติ ได้แก่ หินย่อย กรวดแม่น้ำ และทราย

ก.2. ที่มนุษย์ทำขึ้น (Artificial Aggregate) ได้แก่ ดินเหนียวเผา

ข. แบ่งตามหน่วยน้ำหนัก

ข.1. มวลรวมน้ำหนักเบา (Light Weight Aggregate) คือ ที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น Diatomite, Pumice, Scoria, Volcanic Cinder, Tuff มีการเผาวัสดุธรรมชาติ จนขยายตัวเนื่องจากก๊าซที่ดันออกมา เช่น การเผาดินเหนียว ดินดาน และ หินชนวน จะมีความหนาแน่นประมาณ 300 - 1,100 กก/ม^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2. มวลรวมน้ำหนักปกติ (Normal Weight Aggregate) คือ วัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตสำหรับอาคารคอนกรีตทั่วไป มีความหนาแน่น 1,500 – 1,800 กก./ม^3 และมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.5 - 2.8 ได้แก่ หินปูน หินแกรนิต หินทราย ทรายบก ทรายแม่น้ำ

ข.3. มวลรวมน้ำหนักมาก (Heavy Weight Aggregate) คือ วัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตสำหรับอาคารป้องกันการแพร่กระจายกัมมันตภาพรังสี เช่น เตาปฏิกรณ์ปรมาณู จะใช้หินธรรมชาติที่มีความหนาแน่น 2,400 - 3,100 กก./ม^3 และมีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 4 ขึ้นไป เช่น Barite, Hematite, Magnetite, Limonite

(2) การแบ่งขนาดเม็ดของมวลรวม

ก. มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) คือ มวลรวมที่มีขนาด 4.75 มม. ขึ้นไป ที่นิยมใช้ทั่วไปมีขนาด 10 มม. (3/8 นิ้ว) ถึง 25 มม. (1 นิ้ว) ส่วนใหญ่เป็นหินย่อย (Crushed Stone) ที่ได้จากการระเบิดภูเขาหิน แล้วนำไปย่อยให้เล็กลงตามขนาดที่ต้องการ การเลือกใช้วัสดุมวลรวมหยาบ อาจกำหนดขนาดเพื่อให้เหมาะสมกับโครงสร้างนั้น ๆ เช่น ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมหยาบ อาจเป็น 1 ใน 5 ของความหนาคาน หรือ 1 ใน 3 ของความหนาของแผงพื้น

ข. มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) คือ มวลรวมที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่า 4.75 มม. แต่มีขนาดใหญ่กว่า 0.074 มม. หรือเป็นเม็ดที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ ทรายแม่น้ำ ทรายบก หรือทรายเหมืองที่ผ่านการล้างสะอาดแล้ว

(3) คุณสมบัติของมวลรวมในงานคอนกรีต

ก. ความแข็งแรง (Strength) และกำลังอัด (Compressive Strength) ของคอนกรีตขึ้นอยู่กับความแข็งแกร่งของมอร์ต้าร์และมวลรวม ดังนั้นเมื่อมวลรวมมีความแข็งแกร่งสูงก็จะส่งผลให้คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้สูงขึ้นด้วยมวลรวมต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีตความแข็งแรงของหินปูนมีค่าประมาณ 700 - 1500 ก.ก./ ตร.ซม.

ข. รูปร่างและลักษณะผิว (Particle Shape and Surface Texture) รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมจะมีผลต่อคอนกรีตสดมากกว่าของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว มวลรวมที่มีผิวหยาบมีรูปร่างแบบยาวจะต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์มากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรูปร่างกลมมนหรือเหลี่ยมที่ระดับความสามารถเท (Workability) เดียวกัน มวลรวมที่มีรูปร่างแบนและยาวมีโอกาสที่จะแตกหักเนื่องจากแรงดัดได้ง่ายกว่ามวลรวมที่มีรูปร่างกลมหรือเหลี่ยมส่งผลให้กำลังของคอนกรีตลดต่ำลง ดังนั้นมวลรวมที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นแง่เหลี่ยมคม ไม่เป็นแผ่นแบนหรือชิ้นยาวควรมีผิวหยาบหรือด้านเพื่อช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนดีขึ้น

ค. ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability) มวลรวมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอกมวลรวมบางประเภทจะทำปฏิกิริยากับด่างในปูนซีเมนต์ทำให้เกิดการขยายตัวในคอนกรีตก่อให้เกิดรอยร้าว จะเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Alkali-Aggregate Reaction (AAR) โดยสารที่เป็นอันตรายในมวลรวมแบ่งออกได้ 3 จำพวก ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1. สารเจือปน คือสิ่งเจือปนที่ติดลงมากับมวลรวมส่วนมากเป็นอินทรีย์สารพบมากจากพืชที่เน่าและสลายตัว สารเจือปนอีกชนิดหนึ่ง คือ เกลือ มาจากมวลรวมที่อยู่บริเวณที่มีน้ำเค็ม

ค.2. วัสดุละเอียด เป็นวัสดุจำพวกดินเหนียว ทรายแป้ง หรืออาจเป็นฝุ่นของหินที่เกิดจากการย่อยหิน วัสดุจำพวกนี้ทำให้คอนกรีตต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดรอยร้าว

ค.3. อนุภาคที่ไม่คงตัว เช่น หินดินดาน ก้อนดินเหนียว เศษไม้ และถ่านหิน อนุภาคเหล่านี้สามารถทำให้ผิวคอนกรีตเป็นรอยร้าวและแตกเป็นหลุมได้

(4) ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (Maximum Size of Aggregate) ตะแกรงที่มีเปอร์เซ็นต์ของมวลรวมที่ค้างมากกว่าหรือเท่ากับ 15% คือ ตะแกรงเบอร์1/2" ดังนั้นขนาดใหญ่สุดของมวลคือขนาดของตะแกรงเบอร์ใหญ่กว่าถัดไป ดังนั้นขนาดใหญ่สุดของหินนี้คือ 3/4"มวลรวมขนาดใหญ่ต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมที่มีขนาดเล็ก เพื่อให้การเทได้ (Workability) เท่ากัน เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสโดยรอบน้อยกว่าเมื่อน้ำหนักของมวลรวมเท่ากัน คอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมขนาดใหญ่ก็จะให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่ามวลรวมขนาดเล็กแต่ทั้งนี้ควรระวังเรื่องของ Microcracking ซึ่งมีลักษณะเป็นรอยร้าวขนาดเล็กๆ เกิดจากกรรมวิธีการผลิตหินมักจะเกิดขึ้นกับหินที่มีขนาดใหญ่ เมื่อนำมาผสมทำคอนกรีตก็จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงได้ ในงานก่อสร้างทั่วไปมักจะมีขนาดไม่เกิน 40 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2-2 ขนาดคละของมวลรวมละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C33

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	ร้อยละของวัสดุมวลรวมที่ผ่านตะแกรง
9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว)	100
4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)	95-100
2.36 มิลลิเมตร (เบอร์ 8)	80-100
1.18 มิลลิเมตร (เบอร์ 16)	50-85
0.60 มิลลิเมตร (เบอร์ 30)	25-60
0.30 มิลลิเมตร (เบอร์ 50)	5-30
0.15 มิลลิเมตร (เบอร์ 100)	0-10

(5) ขนาดคละ (Gradation) ขนาดคละ คือ การกระจายของขนาดของมวลรวมในคอนกรีตประกอบด้วย มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด ซึ่งจะต้องมีขนาดใหญ่ เล็กคละกันไปคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละดีจะมีส่วนผสมที่เข้ากันสม่ำเสมอ มวลรวมที่มีขนาดคละดีจะทำให้ช่องว่างเหลือน้อยที่สุดทำให้ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุดซึ่งช่วยให้คอนกรีตมีราคาต่ำลง มวลรวมที่มีขนาดคละดีหมายถึง มวลรวมที่มีมวลรวมหยาบและละเอียดขนาดต่างๆกัน คละเคล้ากันให้เหลือช่องว่างน้อยที่สุด อัตราส่วนของทรายต่อมวลรวม (S/A) อยู่ในช่วง 0.40-0.50 โดยน้ำหนักหินที่ใช้มี SIZE NUMBER 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(หินกลาง) และ SIZE NUMBER 7 (หินเล็ก) นำมารวมกันในอัตราส่วน (SIZE 6/SIZE 7) เท่ากับ 50-65% โดยน้ำหนัก

(6) ค่าความละเอียด (Fineness Modulus) โมดูลัสความละเอียดเป็นค่าที่บอกความละเอียดของทรายโดยหาได้จากการรวมค่าเปอร์เซ็นต์ค้างสะสม (Cumulative Percentages Retained) บนตะแกรงเบอร์ 4,8,16,30, 50 และ 100 แล้วหารด้วย100 ทั่วไปแล้วทรายสำหรับผลิตคอนกรีต ควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดตั้งแต่ 2.2 - 3.2 ค่า F.M. น้อย (F.M. 2.2) แสดงว่า ทรายละเอียด และ ค่า F.M. มาก (F.M. 3.2) แสดงว่า ทรายหยาบ ค่า F.M. ที่เหมาะกับงานคอนกรีต = 2.7 ทรายที่มีความละเอียด (F.M. 2.2) จำเป็นต้องใช้น้ำมากเนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าเพื่อให้ได้ความสามารถเทได้ที่เท่ากัน ถ้าทรายมีความหยาบมากเกินไป ก็จะทำให้ความสามารถในการแทรกระหว่างช่องมวลรวมหยาบไม่ดีพอ ทำให้ต้องใช้ซีเมนต์ในการผสานมากขึ้นราคาจึงสูงขึ้นด้วย

(7) ความชื้นและการดูดซึม (Moisture and Absorption) มวลรวมมีรูพรุนภายในบางส่วนติดต่อกับผิวนอกจึงสามารถดูดความชื้นและน้ำบางส่วนดังนั้นมวลรวมที่เก็บอยู่ในสภาพธรรมชาติจึงมีความชื้นต่างๆ กันไป อาจแบ่งสภาพความชื้นออกได้เป็น 4 ลักษณะ ดังนี้

1. อบแห้ง (Oven-Dry) ความชื้นถูกขับออกด้วยความร้อนในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่
2. แห้งในอากาศ (Air-Dry) ผิวแห้งแต่อาจมีน้ำในรูพรุน
3. อิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface-Dry) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำแต่ผิวแห้ง
4. เปียก (Wet) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำ และมีน้ำบนผิวด้วยในการคำนวณออกแบบส่วนผสมทุกครั้งจะถือว่ามวลรวมอยู่ในสภาวะ “อิ่มตัว” ผิวแห้ง (SSD) แล้วจึงปรับปริมาณน้ำตามลักษณะของวัสดุ

$$\text{Total Moisture} = \frac{\text{น้ำหนักทราย} - \text{น้ำหนักทรายแห้ง}}{\text{น้ำหนักทรายแห้ง}} \times 100$$

$$\text{Absorption} = \frac{\text{น้ำหนักทรายอิ่มตัวผิวแห้ง} - \text{น้ำหนักทรายแห้ง}}{\text{น้ำหนักทรายแห้ง}} \times 100$$

Free Moisture = Total Moisture – Absorption

Absorption ของทราย = 0.7% โดยน้ำหนัก

Absorption ของหิน = 0.5% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(8) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ความถ่วงจำเพาะ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัตถุต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุนั้น แต่เนื่องจากมวลรวมมีโพรงที่น้ำซึมผ่านได้และโพรงที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ ดังนั้นปริมาตรของมวลรวมจึงมีอยู่หลายความหมาย ความถ่วงจำเพราะที่นิยมใช้กันมีอยู่ 3 ค่า คือ

1. ความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์ (Absolute Specific Gravity)
2. ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity)
3. ความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Specific Gravity)

ปริมาณสำหรับนำมาคิดความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์ เป็นปริมาตรของเนื้อมวลรวมเท่านั้น จึงจำเป็นต้องบดมวลรวมให้ละเอียดเพื่อขจัดโพรงภายในเนื้อมวลรวมออกแล้วจึงหาค่าได้ โดยปกติแล้วในงานคอนกรีตไม่มีความจำเป็นต้องรู้ค่าความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์ถ้ารวมปริมาตรของเนื้อมวลรวมกับโพรงที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ในการคำนวณ ความถ่วงจำเพาะที่ได้จะเป็นความถ่วงจำเพาะปรากฏ และคิดปริมาณของเนื้อมวลรวมกับโพรงทั้งหมด ความจำเพาะที่ได้จะเป็นความถ่วงจำเพาะรวม ความถ่วงจำเพาะที่ใช้กันมีอยู่ 2 ค่า คือ เมื่อมวลรวมอยู่ในสภาพอบแห้งและเมื่อมวลรวมอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ในการคำนวณส่วนผสมของคอนกรีตจะใช้น้ำนักของมวลรวมที่อิ่มตัวผิวแห้งดังนั้นความถ่วงจำเพาะรวมที่อิ่มตัวผิวแห้งจึงเป็นที่นิยมใช้ในงานคอนกรีตมากกว่างความถ่วงจำเพาะอีก 2 แบบ การทดสอบความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบมีอยู่ในมาตรฐาน ASTM C127 และสำหรับมวลรวมละเอียดใน ASTM C128 มวลรวมหยาบใช้วิธีชั่งน้ำหนักในอากาศและในน้ำรายละเอียดเพิ่มเติมดูได้จากสมการคำนวณหาค่าต่างๆได้ดังนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะรวมที่อบแห้ง} = \frac{A}{B-C}$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะรวมที่อิ่มตัวผิวแห้ง} = \frac{B}{B-C}$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะปรากฏ} = \frac{A}{A-C}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของมวลรวมแห้งชั่งในอากาศ
B = น้ำหนักของมวลรวมอิ่มตัวผิวแห้งชั่งในอากาศ
C = น้ำหนักของมวลรวมอิ่มตัวชั่งในน้ำ

(9) หน่วยน้ำหนัก และช่องว่าง (Unit Weight and Void) หน่วยน้ำหนัก คือ น้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร หน่วยน้ำหนักจะบอกถึงปริมาตรและช่องว่างระหว่างมวลรวม หน่วยน้ำหนักของมวลรวมที่ใช้อยู่ทั่วๆไปมีค่า 1,400-1,600 กก./ลบ.เมตร การนำเอามวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดมาผสมกันด้วยอัตราส่วนต่างๆ จะมีผลต่อหน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณมวลรวมละเอียดหน่วยน้ำหนักสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อใช้มวลรวมละเอียด 30 - 40% โดยน้ำหนักของมวลรวมทั้งหมดดังนั้นถ้าคำนึงความประหยัดในการใช้ซีเมนต์เราควรใช้เปอร์เซ็นต์ทรายในช่วงเหมาะสม แต่ในทางปฏิบัติต้องคำนึงถึงความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสดด้วย

2.1.3 น้ำ

ในการผสมทำคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างน้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญที่จะทำให้คอนกรีตมีคุณภาพ มีความแข็งแรง เช่น ระยะเวลาก่อตัว เวลาการแข็งตัว ความต้านแรงอัด ความสามารถในการเท และสีของคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ การเกิดคลอไรด์ในคอนกรีต เป็นต้น

(1) น้ำเป็นส่วนประกอบหลักของการผลิตคอนกรีตมีหน้าที่สำคัญดังนี้

1. น้ำผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เพื่อให้เกิดการก่อตัว แข็งตัว และเกิดความคงทนของคอนกรีต
2. ทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทได้
3. ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้นและเป็นการป้องกันปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีต
4. ใช้ล้างมวลรวมให้สะอาดเพื่อที่จะใช้ผสมคอนกรีตได้

(2) วิธีสังเกตอย่างง่ายว่าน้ำที่ใช้สามารถนำมาผสมคอนกรีตได้หรือไม่ มีดังนี้

1. ความสะอาดของน้ำ น้ำต้องไม่เน่า ไม่มีสิ่งปฏิกูล หรือตะไคร่น้ำ
2. สี น้ำต้องใส ถ้ามีสีแสดงว่ามีสารแขวนลอยต่างๆมาก
3. กลิ่น น้ำต้องไม่มีกลิ่นเน่า ถ้ามีกลิ่นเน่า ถ้ามีกลิ่นก็มักจะมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก
4. รส น้ำต้องไม่มีรส ถ้ามีรสกร่อย หรือ เค็ม แสดงว่ามีเกลือแร่อยู่มาก ถ้ามีรสเปรี้ยว แสดงว่าเป็นกรด ถ้าฝาดแสดงว่าเป็นด่าง

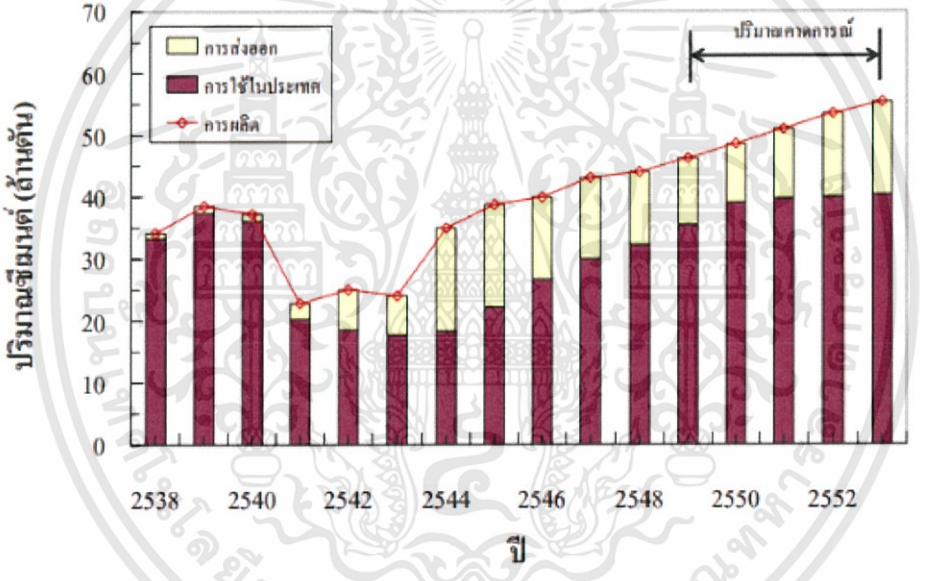
2.2 ปัญหาจากสิ่งก่อสร้างในประเทศไทย

ในประเทศไทยมีโครงสร้างของอาคาร ถนน สิ่งก่อนสร้าง จากคอนกรีตเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ของเสียจากการรื้อถอนและก่อสร้างจะพบคอนกรีตเป็นปริมาณมาก ของเสียจากคอนกรีตส่วนใหญ่ได้มาจากโครงสร้างหรือถนนคอนกรีตที่ถูกทุบทำลาย การปรับปรุงโครงสร้าง วัสดุคอนกรีตที่ไม่ผ่านมาตรฐานการควบคุมคุณภาพ สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดขยะจากสิ่งก่อสร้างจำนวนมากและมีการลักลอบนำเอาเศษคอนกรีตไปทิ้งโดยไม่ผ่านกระบวนการที่ถูกต้องตามกฎหมาย ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและทรัพยากรน้ำ แม้ว่าจะวางแผนการใช้วัสดุก่อสร้างไว้ดีมากเพียงใดก็ตาม ก็มักจะเกิดปัญหาการทิ้งขยะจากสิ่งก่อสร้างเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ปริมาณการใช้มวลรวมในประเทศไทย

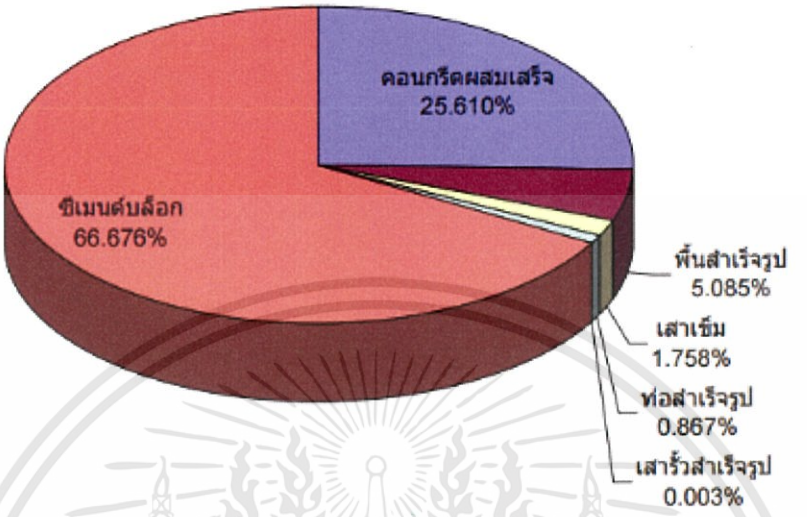
มวลรวมส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้จากทรายและกรวดจากการดูดทรายหรือหินจากการทำเหมืองหิน ความต้องการของมวลรวมจากธรรมชาติขึ้นอยู่กับต้องการของอุตสาหกรรมการก่อสร้างและมีความแปรผันค่อนข้างมากขึ้นอยู่กับการขยายตัวของสภาพเศรษฐกิจ การลงทุน และการกระตุ้นเศรษฐกิจของภาครัฐบาลโดยรัฐบาล โดยสาธารณูปโภคพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่ อาทิเช่นโครงการทางรถไฟและโครงการทางด่วนเป็นต้น รวมทั้งการพัฒนาธุรกิจทางด้านอสังหาริมทรัพย์ของทางภาคเอกชน ซึ่งโครงการต่างๆเหล่านี้ต้องใช้หินและทรายจากธรรมชาติเป็นส่วนประกอบในการผลิตปูนซีเมนต์ โดยมีปริมาณความต้องการปูนซีเมนต์ดังรูปที่ 2.1



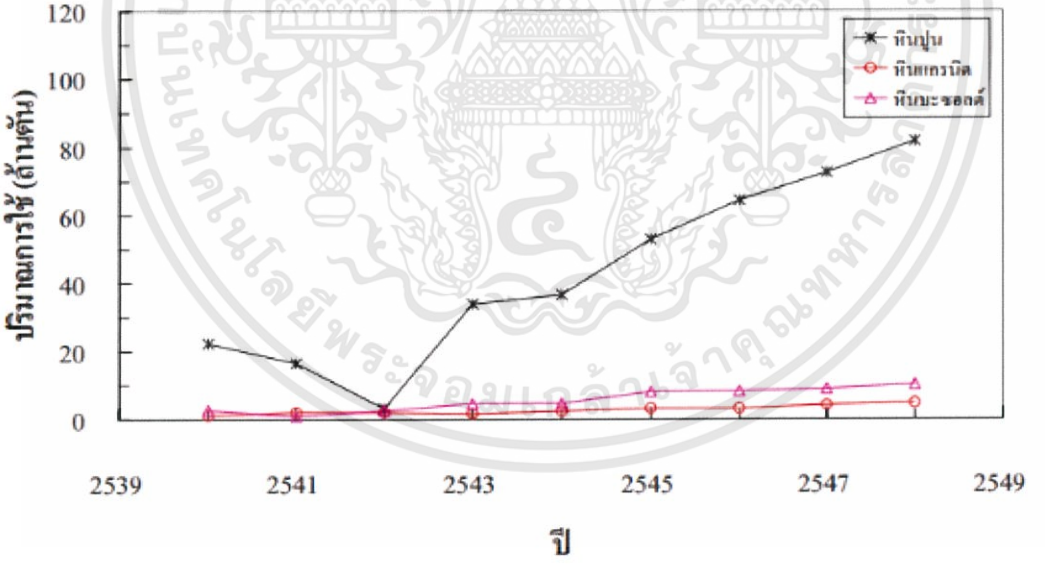
รูปที่ 2-1 ปริมาณความต้องการปูนซีเมนต์ในประเทศไทย
(สำนักงานเหมืองแร่และสัปทาน กรมอุสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับงานที่มีแนวโน้มที่จะมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นคือคอนกรีตสำเร็จรูป เนื่องจากสะดวกต่อการใช้งานและง่ายต่อการควบคุมคุณภาพ โดยคอนกรีตสำเร็จรูปจำแนกได้ตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2-2 ประเภทของงานคอนกรีตสำเร็จรูป
(กรมอุสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2546)



รูปที่ 2-3 ปริมาณการใช้มวลรวมสำหรับงานก่อสร้างในประเทศไทย
(กรมทรัพยากรธรณี, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการก่อสร้าง การย่อยหิน และการระเบิดหิน

1. **ผลกระทบต่อเสียงและการสั่นสะเทือน** เสียงและการสั่นสะเทือนเกิดจากการระเบิดหิน การย่อยขนาดหินและการขนส่งวัสดุ

2. **ผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศ** โดยทั่วไปเกิดจากการระเบิดหิน การย่อยขนาดหิน และการขนส่งวัสดุนอกจากนั้นแล้วถ้ามีการเผาไหม้ที่ไม่ดีสามารถก่อให้เกิด ไนโตรเจนไดออกไซด์ ไนโตรเจนมอนอกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์

3. **ผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำ** การขุดแร่และหินมีโอกาสก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพ ระดับและรูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน ผลกระทบเหล่านี้สามารถแพร่ไปได้ไกลกว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมอื่นเพราะมีการไหลเป็นตัวกลาง

4. **ผลกระทบต่อการจราจรและการขนส่ง** ผลกระทบจากการนำของเสียจากการก่อสร้างนำกลับมาใช้ใหม่จะน้อยกว่าผลกระทบจากการขนส่งมวลรวมจากธรรมชาติ

5. **ผลกระทบต่อปริมาณทรัพยากรธรรมชาติ** หากยังคงใช้มวลรวมจากธรรมชาติ จะทำให้ต้องขุดแร่และหินมาใช้ในปริมาณมาก ส่งผลให้ทรัพยากรที่สะสมไวลดปริมาณลงและอาจทำให้เกิดภาวะขาดวัสดุก่อสร้างในอนาคตซึ่งจะส่งผลกระทบต่อราคาวัสดุ

6. **เพิ่มการใช้งานพื้นที่ฝังกลบขยะ** หากไม่มีการนำของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนมารีไซเคิลใช้จะทำให้ต้องใช้พื้นที่ฝังกลบเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่อการใช้ที่ดินและ มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการขนส่งของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนไปฝังกลบ

2.3 แหล่งกำเนิดและองค์ประกอบของของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนคอนกรีต

2.3.1 **ของเสียจากสถานที่ที่มีการรื้อถอน** ปรับปรุง ซ่อมแซมอาคาร หรือสิ่งปลูกสร้าง เช่น การตกแต่งภายใน ปรับปรุงอาคาร เป็นต้น อาจมีการรื้อถอนบางส่วนของอาคารเพื่อปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งาน หรือ การรื้อถอนอาคาร สิ่งปลูกสร้าง จะทำให้มีของเสียหลายประเภท รวมทั้งเศษคอนกรีตจำนวนมาก

2.3.2 **ของเสียจากสถานที่ก่อสร้างอาคารและสิ่งปลูกสร้างต่างๆ** ซึ่งในที่นี้รวมถึงสถานที่ก่อสร้างใหม่จากพื้นที่ว่างเปล่าหรือไม่เคยมีสิ่งปลูกสร้างใดๆมาก่อน โดยในขั้นตอนการก่อสร้างจะมีของเสีย เศษวัสดุต่างๆ รวมถึงเศษคอนกรีตจำนวนมากด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 **ของเสียจากโรงงานผลิตวัสดุสำเร็จรูป** ของเสียที่เกิดจากแหล่งกำเนิดประเภทนี้มักจะมีลักษณะที่ค่อนข้างคงที่ไม่มีการผสมปนเปกันของวัสดุแต่ละประเภท ของเสียที่เกิดสามารถจำแนกได้เป็นของเสียที่เกิดจากการผลิต ของเสียที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานและของเสียที่ได้ผลิตเสร็จสิ้นแล้วเกิดการแตกหักเสียหายในระหว่างบรรจุหรือเก็บในคลังสินค้า

2.4 ประโยชน์จากการใช้ซ้ำหรือนำกลับมาใช้ใหม่

ประโยชนของการใช้ซ้ำหรือการนำกลับมาใช้ใหม่มีดังนี้

2.4.1 **ลดการทิ้งที่ผิดกฎหมาย** การนำของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนกลับมาใช้จะช่วยลดการทิ้งที่ผิดกฎหมาย เพราะการนำเศษวัสดุเหลานี้กลับมาใช้จะเพิ่มรายได้ให้แก่ผู้ที่จะทิ้ง

2.4.2 **ลดการใช้พื้นที่ฝังกลบ** การนำของเสียจากการสิ่งก่อสร้างและรื้อถอนกลับมาใช้ประโยชน์จะชวยลดปริมาณของเสียที่จะต้องฝั่งกลบ ทำให้หลุมฝังกลบมีอายุการใช้งานได้นานขึ้น

2.4.3 **ลดอัตราการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ** การนำของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนกลับมาใช้จะช่วยทำให้ลดการใช้วัสดุลง ทำให้สามารถอนุรักษทรัพยากรธรรมชาติ ไว้ใช้ได้นาน

2.4.4 **ลดการใช้พลังงานและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก** พลังงานที่ใช้ในการผลิตวัสดุทุติยภูมิน้อยกว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตวัสดุปฐมภูมิซึ่งทำให้ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้

2.4.5 **ลดการทำลายสิ่งแวดล้อม** การทิ้งของเสียโดยผิดกฎหมายการฝังกลบและการเผาของเสียการนำทรัพยากรมาใช้มากเกินไปจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจาก มลพิษทางน้ำ ดิน และอากาศ การนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ทำให้ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติซึ่งจะทำให้ประชาชนที่อยู่ในพื้นที่ที่มีทรัพยากรมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

2.4.6 **ประหยัดค่าใช้จ่าย** ถ้ามีการรีไซเคิลที่สถานที่ก่อสร้างหรือรื้อถอนสำหรับโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และกำจัดของเสียตลอดจนค่าใช้จ่ายในการซื้อวัสดุใหม่ๆได้

2.4.7 **ทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม** เชน การวิจัยและพัฒนาใช้ของเสียบางชนิดมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมบางประเภท ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีที่สะอาดขึ้น

2.4.8 **เพิ่มรายได้และสร้างงานใหม่** การนำของเสียกลับมาใช้ใหม่จะเพิ่มรายได้ให้แก่บุคลากรในอุตสาหกรรมการนำกลับมาใช้ใหม่และช่วยสร้างงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิรติกร เจริญพร้อม และคณะ (2555) งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลจากโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จต่อความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์และกำลังอัดคอนกรีต โดยใช้อัตราส่วนมวลรวมรีไซเคิลต่อมวลรวมหยาบธรรมชาติที่ร้อยละ 10, 25, 50 และ 100 โดยใช้ระยะเวลาในการบ่มน้ำ 28, 56 และ 91 วัน จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลต่อมวลรวมหยาบสูงขึ้นส่งผลให้ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์และกำลังอัดของคอนกรีตต่ำลง

รัฐพล อ้นสุวรรณ และคณะ (2553) ได้มีการทำโครงงานเกี่ยวกับการใช้เศษคอนกรีตหักนำมาแทนมวลรวมหยาบ โดยวัตถุประสงค์ของการทาโครงงานพิเศษนี้ก็คือ เพื่อเปรียบเทียบกาลังรับแรงอัดสูงสุดระหว่างคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตซึ่งมีกาลังอัดต่างๆ มาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบกับคอนกรีตธรรมดาที่ใช้หินเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ รวมถึงมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้เศษปูนฉาบคละกับอิฐมอญในส่วนที่เป็นผนังที่ไม่ได้คัดกาลังอัดมาผสมเพื่อเปรียบเทียบกับกาลังอัดของหินอีกด้วย ทั้งนี้ทั้งนั้นทั้งหมดถูกควบคุมด้วยขนาดคละของมวลรวมหยาบในช่วงเดียวกัน และค่า Water Cement Ratio เดียวกัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร ว่าการนำเศษคอนกรีตมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีตนั้นประหยัดกว่าการนำหินมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบในราคาต่างกันเท่าไร

สุวรรณา จุ่งรุ่งเรือง (2557) จากรายงานการศึกษาและสำรวจเพื่อการจัดตั้งศูนย์กำจัดหรือนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษมูลฝอยวัสดุก่อสร้างและรื้อถอนสิ่งปลูกสร้าง พ.ศ. 2554 ระบุว่า มีของเสียจากเศษวัสดุเหลือใช้เฉลี่ย 5.81 ตัน ต่อพื้นที่ขออนุญาต 100 ตารางเมตร ส่วนการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างจะเกิดของเสียเฉลี่ย 56.20 ตัน ต่อพื้นที่อาคาร 100 ตารางเมตร ทั้งนี้ คาดการณ์ว่า ของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนสิ่งปลูกสร้าง ภายหลังจากการคัดแยกวัสดุที่มีมูลค่าทางการตลาดออกแล้วในปี 2554 มีประมาณถึง 1,160,613 ตัน หรือเฉลี่ย 3,179 ตัน/วัน คอนกรีตที่เกิดจากการรื้อถอนสิ่งก่อสร้าง การรื้อถอนถนน หรือคอนกรีตที่ผ่านการทดสอบกำลังรับแรงอัดก็ล้วนเป็นของเสียด้วยกันทั้งสิ้น และจากการศึกษาพบว่าของเสียประเภทคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติดีมากเหมาะแก่การนำไปทดแทนหินซึ่งเป็นมวลรวมหยาบตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S R Yadav (2009) ขณะนี้อินเดียกำลังผลิตของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอน โดยเฉพาะคอนกรีต เป็นจำนวน 2375 ล้านตันต่อปีและตัวเลขดังกล่าวน่าจะเพิ่มเป็นสองเท่าในอีก 7 ปีข้างหน้า งานวิจัยเกี่ยวกับการนำกลับมาใช้ใหม่ได้เน้นย้ำว่าถ้าคอนกรีตเก่ามีการใช้งานในคอนกรีตรุ่นที่สองผลิตภัณฑ์ควรให้ความสำคัญกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต การสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าแรงอัดขึ้นอยู่กับการยึดติดของปูนขาว,การดูดซึมน้ำ, รูปร่างและขนาดของมวลรวม, ความแข็งแรงของคอนกรีตที่นำกลับมาใช้ใหม่, เวลาในการบ่มและการเปลี่ยนแปลงสภาพความชื้นและสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการทบทวนงานวรรณกรรมที่มีอยู่สำหรับการใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นวัสดุมวลรวมในคอนกรีตโดยส่วนใหญ่จะเป็นแรงอัดและเสนอแนวทางสำหรับการใช้คอนกรีตรีไซเคิลโดยไม่ลดทอนความแข็งแรง

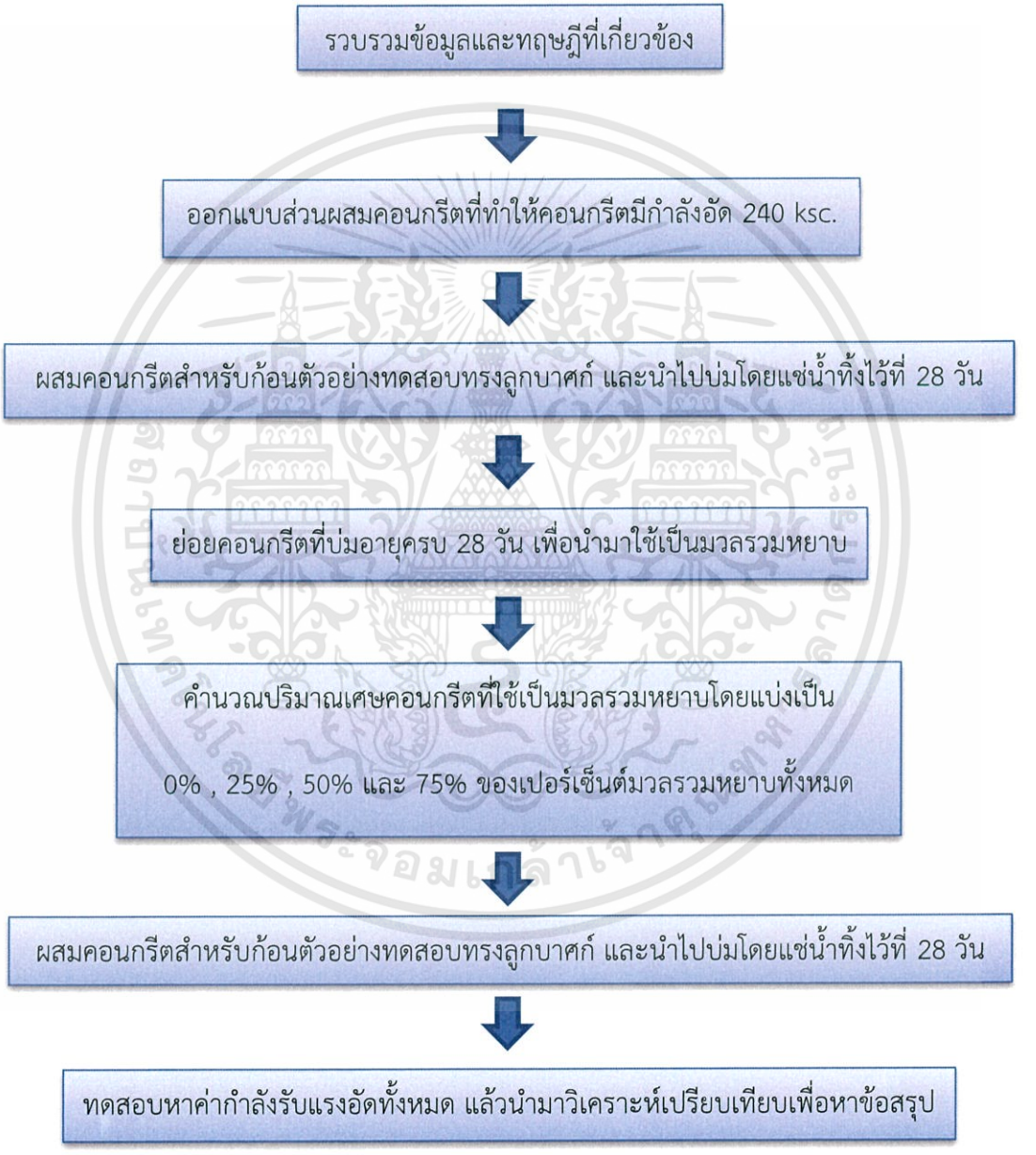
Ashraf M. Wagih (2012) ในเมืองใหญ่ ๆ ในอียิปต์มีการรื้อถอนของเสีย ทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม การใช้ของเสียดังกล่าวเป็นวัสดุรีไซเคิลรวมในคอนกรีตจะเป็นประโยชน์ต่อทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและด้านการประหยัดในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง การศึกษานี้กล่าวถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้ทดแทนมวลรวมในคอนกรีตรีไซเคิล การตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีตรีไซเคิลคือการใช้การบดและการคัดแยกเศษหินหรืออิฐคอนกรีตที่เก็บจากสถานที่รื้อถอนที่แตกต่างกันและสถานที่ฝังกลบ มวลรวมที่ใช้ในการศึกษาคือทรายธรรมชาติและคอนกรีตบดที่ได้จากแหล่งรื้อถอน เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของคุณภาพต่อปริมาณมวลรวมหยาบรีไซเคิล,ปริมาณปูนซีเมนต์, การใช้สารผสมเพิ่มและซิลิกาฟูม โดยการทดสอบได้ดำเนินการเพื่อหากำลังรับแรงอัดความและโมดูลัสยืดหยุ่น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอาจจะมีการเปลี่ยนมวลรวมหยาบที่เป็นเศษคอนกรีตเป็นวัสดุรีไซเคิลและใช้ในการผลิตคอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการใช้งานคอนกรีต

ดังนั้นโครงงานนี้จึงศึกษาเกี่ยวกับการนำเศษคอนกรีตเก่ากลับมาใช้ใหม่เพื่อลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและเป็นการลดค่าใช้จ่ายในเรื่องของการใช้มวลรวมลง รวมถึง การเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ธรรมดา) กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 3 (เกิดแรงสูงเร็ว) และทำการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำที่ชะล้างคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการและขั้นตอนในการดำเนินงานของคอนกรีตที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้ส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานของ ACI (American Concrete Institute) และใช้วิธีการทดสอบหาคุณสมบัติตามมาตรฐานของ ASTM



รูปที่ 3-1 ขั้นตอนในการทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลก่อนทำ Concrete Mixed Design

1. การทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ (Text for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates)
2. การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม (Test for Unit Weight and Voids in Aggregate)
3. การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ (Test for Specific Gravity and Absorbtion of Coarse Aggregates)
4. การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด (Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate)
5. การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม (Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying)

(1) ขอบเขต

วิธีและหลักการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตที่จะได้กล่าวถึงต่อไปนี้ จะใช้กับคอนกรีตปรกติทั่วไปที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคารและใช้กำหนดให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานได้เหมาะสมกับสภาพการเท อย่างไรก็ตามถือว่าเป็นเพียงการประมาณอัตราส่วนในชั้นแรกเท่านั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบผลของอัตราส่วนนี้ จากห้องทดลองปฏิบัติการหรือในสนาม และมีการปรับปรุงตามความจำเป็นและเหมาะสมกับคุณสมบัติตามต้องการ

(2) กล่าวนำ

โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตนั้น คือวัสดุผสม ซึ่งมีวัสดุที่เป็นหลักอยู่ 3 ชนิด คือ ซีเมนต์ มวลรวมคละ (หยาบและละเอียด) และน้ำ นอกจากนี้ยังอาจมีสิ่งอื่นเพิ่มเติมเข้ามาอีกได้ แล้วแต่ความต้องการและความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ อาจจะเป็นสารกระจายฟองอากาศหรือสารเพิ่ม (Admixtures) ต่างๆ สำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมนั้น มีข้อควรระวังอยู่ 2 ข้อ ข้อแรกคือ การประหยัดวัสดุที่สมเหตุสมผล อีกข้อหนึ่ง คือความต้องการในความสามารถที่จะรับแรง ความสามารถในการทำงาน ตลอดจนความคงทน เป็นต้น

(3) ความสัมพันธ์ขั้นมูลฐาน

จากที่ได้กล่าวนำไป จะสามารถทราบว่า ความสามารถในการทำงาน กำลังความคงทนสิ่งต่างเหล่านี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน พอสรุปได้ย่อยๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. **ความสามารถในการทำงาน (Workability)** โดยทั่วไปเรามุ่งถึงคอนกรีตที่สามารถจะทำได้ง่ายสาหรับการผสม การขนส่ง การเทลงในแบบหล่อ การอัดแน่น การตกแต่ง ตลอดจนความแข็งแรงของคอนกรีต

2. **ความข้นเหนียว (Consistency)** คือ ความเหลวหรือความเปียกของคอนกรีตสดนั่นเอง ความเหลวหรือความเปียกนี้ สามารถตรวจสอบได้จากการยุบตัว (Slump) คอนกรีตที่มีความยุบตัวสูงก็จะมีความเหลวมาก ความเหลวในที่นี้ไม่เกี่ยวกับคุณสมบัติความสามารถในการทำงานของคอนกรีต ในการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตนั้น ปริมาณน้ำที่จะใช้เป็นสิ่งสาคัญซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง

3. **ความแข็งแรง (Strength)** กำลังความแข็งแรงของคอนกรีตนับว่าเป็นคุณสมบัติที่สาคัญอย่างยิ่ง ในสภาวะทั่วไปกำลังของคอนกรีตคำนวณจากปริมาณน้ำสุทธิที่ใช้เทียบกับซีเมนต์หนึ่งหน่วย ปริมาณน้ำสุทธิที่ว่านี้ไม่รวมถึงน้ำที่ถูกซึมเข้าไปในมวลรวมคละ อย่างไรก็ตามกำลังของคอนกรีตที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำกับซีเมนต์จำนวนหนึ่งนี้ อาจจะแตกต่างกันไปเนื่องจากขนาดของมวลรวมคละ รูปทรงของมวลรวม ความแกร่งของมวลรวม หรือการใช้ซีเมนต์ต่างชนิดกันตลอดจนกระทั่งปริมาณอากาศและการใช้สารผสมเพิ่ม

4. **ความคงทน (Durability)** คอนกรีตที่ดีต้องมีความสามารถในการคงทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ในขณะที่อยู่ในสภาวะกำลังใช้งาน อาจจะเป็นอากาศหนาวจัด ร้อนจัด ฝนตกหรือแดดออกหรือผลจากสารเคมี ซึ่งสิ่งต่างเหล่านี้ควรมีการใช้สารผสมเพิ่ม เพื่อให้คอนกรีตเกิดความคงทนภายใต้สภาวะดังกล่าวให้กำหนดค่า water-cement ratio ต่างๆ อาจมีส่วนช่วยยืดอายุคอนกรีตให้คงทนขึ้นได้มาก

5. **ความหนาแน่น (Density)** คอนกรีตบางชนิดอาจมีความจำเป็นที่ต้องใช้คุณสมบัติจากน้ำหนักของตัวมันเอง ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุหรือความหนาแน่นก็ควรจะให้เป็นไปตามที่ต้องการ

(4) ข้อมูลพื้นฐาน

ในการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีต จำเป็นต้องทราบข้อมูลพื้นฐานบางอย่างจากวัสดุที่นำมาเป็นส่วนผสม ดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมหยาบและละเอียดด้วยตะแกรง
2. ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ
3. ค่า Bulk specific gravities และค่าอัตราการดูดซึมของมวลรวมคละ
4. ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้สำหรับการผสมคอนกรีต
5. ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกับอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลดังกล่าวอาจกำหนดได้จากตารางคำนวณเช่น ข้อมูลที่ 4 และ 5 อาจดูได้จากตารางที่กำหนดไว้ให้หรือข้อมูลที่ 3 อาจไม่จำเป็นต้องทราบเลยก็สามารถจะหาอัตราส่วนผสมของคอนกรีตได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) ขั้นตอนการคำนวณ

ขั้นตอนสำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีต ในที่นี้ควรกระทำไปตามลำดับขั้นตอนที่กำหนด สิ่งแรกก็คือต้องทราบ ความต้องการหรือคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่จะใช้ ซึ่งมีดังนี้

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

โดยมีหลักและวิธีการปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

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

ตารางที่ 3-1 ค่ายุบตัวสำหรับงานประเภทต่างๆ (คมสัน มาลีสี, 2556)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดปริมาณน้ำผสมและปริมาณอากาศ : ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตในหนึ่งหน่วยปริมาตรที่จะทาให้เกิดค่ายุบตัวตามกำหนดในขั้นตอนแรกนั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโตสุด รูปทรงและขนาดเรียงของมวลรวมคละ และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณฟองอากาศอีกด้วย ในตารางที่ 3.2 เป็นตารางที่ช่วยในการประมาณการของจำนวนน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตสำหรับมวลรวมคละขนาดต่างๆ ทั้งที่เป็นคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตกักฟองอากาศ เนื่องจากขนาดและรูปร่างของมวลรวมที่อาจวัดได้ไม่แน่นอน อาจทำให้ค่าในตารางที่วัดให้ไว้ผิดพลาดไปบ้างเล็กน้อย แต่ก็คิดว่าจะยังคงถูกต้องเพียงพอสำหรับใช้ในการประมาณขั้นแรกนี้ และจำนวนน้ำที่แตกต่างกัน จากความที่น่าจะเป็นจริงเพียงเล็กน้อยนี้ ไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของคอนกรีตเลย ทั้งนี้เพราะยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกมากมายนักที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 3-2 ปริมาณน้ำผสมคอนกรีตธรรมดา (คมสัน มาลีสี, 2556)

ค่ายุบตัวของคอนกรีต ซม.	ปริมาณน้ำ,กก./ลบ.ม. สำหรับคอนกรีตที่มีมวลรวมคละขนาดโตสุดเป็น มม.							
	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	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-3 ปริมาณน้ำผสมคอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ (คมสัน มาลีสี, 2556)

ปริมาณอากาศที่เกิดใน คอนกรีตธรรมดา,%	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

ขั้นตอนที่ 4 การเลือกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR) : ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต้องการในการผสมคอนกรีตนั้น มิใช่เพียงเพื่อให้คอนกรีตเกิดกาลังตามต้องการนั้น แต่ยังเพื่อช่วยให้เกิดความคงทนและความสามารถที่จะตกแต่งได้อีกด้วย จะเห็นว่าค่า WCR เดียวกันนี้อาจจะทาให้คอนกรีตมีกำลังแตกต่างกันได้ ถ้าใช้มวลรวมคละหรือประเภทของซีเมนต์ที่แตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้ควรจะได้ก่อให้เกิดการปรับปรุงหรือแก้ไขค่า WCR ให้สอดคล้องกันกับวัสดุที่นำมาใช้จริงๆ สำหรับงานคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 โดยต้องการให้กำลังคอนกรีตเกิดที่ระดับต่างๆ นั้น จะดูได้จากตารางที่ 3.4 ค่าในตารางเป็นค่าโดยประมาณของ WCR และกำลังคอนกรีตที่ระดับต่างๆ คิดจากคอนกรีตที่ได้รับการบ่มอย่างดีในห้องปฏิบัติการครบรอบ 28 วัน ซึ่งจากข้อความนี้แน่นอนเมื่อต้องการจะเลือกใช้ค่า WCR ในการทำงานจริงๆ ควรเลือกใช้ค่า WCR ของกำลังคอนกรีตที่สูงกว่าต้องการไว้บ้าง ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ค่ากำลังเฉลี่ยในงานจริงต่ำกว่ากำหนด สำหรับสภาวะที่ทารุณเหลือหลาย (Severe Condition) ค่า WCR ควรจะต่ำเป็นพิเศษเพื่อที่จะทำให้ได้กำลังของคอนกรีตตามต้องการ ซึ่งถ้าเป็นสภาวะเช่นนี้ให้ดูตารางที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคอนกรีตกับอัตราส่วนของน้ำ-ซีเมนต์ (คมสัน มาลีสี, 2556)

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

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

ตารางที่ 3-5 อัตราส่วนน้ำ – ซีเมนต์ที่ยอมให้สำหรับงานภายใต้สภาวะพิเศษ (คมสัน มาลีสี, 2556)

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกชื้นตลอดเวลา หรือทนต่ออากาศหนาว	คอนกรีตสัมผัสน้ำทะเล หรือซัลเฟต
ชิ้นส่วนเล็กๆอาทิ ราว , ขอบกั้น, บัวหรือหน้าตัด ที่มีระยะหุ้มต่ำกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างทั่วไป	0.50	0.45*

ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณปริมาณซีเมนต์ : ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรนั้นขึ้นอยู่กับค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ที่ผ่านมา โดยที่จำนวนซีเมนต์นี้เท่ากับ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 6 การประมาณปริมาณมวลรวมหยาบ : ปริมาณมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต หาได้จากตารางที่ 3.6 คูณด้วยค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง (Dry Unit Weight) ของมวลรวมซึ่งมีหน่วยเป็น กก./ลบ.ม. จะเห็นว่าสำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถในการทำงานที่เท่ากันนั้น ปริมาณของมวลรวมหยาบขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวมหยาบและค่า Fineness Modulus ของมวลรวมละเอียดเท่านั้น

ตารางที่ 3-6 ปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร (คมสัน มาลีสี, 2556)

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

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

ขั้นตอนที่ 7 การประมาณปริมาณมวลรวมละเอียด : การประมาณปริมาณมวลรวมละเอียดนั้น สามารถกระทำ ได้สองวิธีคือ วิธีน้ำหนัก (The "Weight" Method) หรือวิธีปริมาตร (The "Absolute Volume" Method)

วิธีน้ำหนัก เริ่มต้นจากน้ำหนักของคอนกรีตจะต้องถูกสมมุติขึ้นก่อน โดยอาจประมาณเอาจากประสบการณ์ จากนั้นน้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่ต้องการก็จะหาได้ง่าย จากการเอาน้ำหนักคอนกรีตสดหักออกจากน้ำหนักของวัสดุผสมต่างๆ แต่อย่างไรก็ตาม อาจใช้ตารางที่ 3.7 ช่วยในการประมาณน้ำหนักของคอนกรีตก็จะได้ที่ใกล้เคียงขึ้น สำหรับน้ำหนักคอนกรีตสด ถ้าต้องการคำนวณให้ค่าถูกต้องจริงๆ จะหาได้จะสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$UM = 10Ga(100 - A) + Cm(1 - Ga/Gc) - Wm(Ga - 1)$$

โดย

UM = น้ำหนักคอนกรีตสด, กก./ลบ.ม.

Ga = ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของมวลรวมคละ (หยาบ+ละเอียด)

Gc = ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

A = ปริมาณอากาศ, %

Wm = ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับผสมคอนกรีต,กก./ลบ.ม.

Cm = ปริมาณซีเมนต์ , กก./ลบ.

ตารางที่ 3-7 น้ำหนักคอนกรีตสด (คมสัน มาลีสี, 2556)

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

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

ขั้นตอนที่ 8 การปรับค่าสำหรับความชื้นในมวลรวมคละ : ปริมาณของมวลรวมคละที่ได้จากการชั่งน้ำหนักนั้น จะต้องอยู่ในขอบข่ายของความชื้นที่ยอมให้ได้ในมวลรวมคละ โดยทั่วไปมวลรวมคละจะต้องมีความชื้น โดยจะมีเปอร์เซนต์ของน้ำที่ถูกซึมเคลือบผิวอยู่ ดังนั้น ปริมาณน้ำที่จะใส่เข้าไปผสมจะต้องลดลงตามจำนวนของความชื้นในมวลรวมคละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและผลจากการทดลอง ซึ่งแต่ละการทดลองนั้นได้กล่าววิธีการทดลองไว้แล้วในบทที่ 3 และมีการนำข้อมูลต่างๆที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์เพื่อที่จะแปรผลข้อมูลในบทนี้ ส่วนการเรียกชื่อจะแบ่งออกเป็น 2 type โดยจะมีหลักการกำหนดชื่อดังนี้

1. C-X-Y = Concrete – Type X – Determination Number Y

(1) Type C-1-1 (ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 , ตัวอย่างที่ 1)

(2) Type C-3-1 (ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 , ตัวอย่างที่ 1)

2. RCA-X-Y-Z = Recycled Coarse Aggregate – Type X – Percent RCA Y % – Determination Number Z

ยกตัวอย่าง เช่น

(1) Type RCA1 25-1 (ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1, เศษคอนกรีตคัดมาจากกำลังอัด 240 ksc. จำนวน 25%, ตัวอย่างที่ 1)

(2) Type RCA3 25-1 (ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3, เศษคอนกรีตคัดมาจากกำลังอัด 240 ksc. จำนวน 25%, ตัวอย่างที่ 1)

4.1 ขั้นตอนในการคำนวณปริมาณส่วนผสมคอนกรีต

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าคอนกรีตนั้น คือวัสดุผสมซึ่งมีวัสดุที่เป็นหลักอยู่ 3 ชนิด คือ ซีเมนต์ มวลรวมคละ (หยาบและละเอียด) และน้ำ สำหรับการเลือดอัตราส่วนที่เหมาะสมนั้น มีข้อควรคำนึงอยู่ 2 ข้อ ที่มีความสำคัญเท่าๆกัน ข้อแรกคือ การประหยัดวัสดุที่สมเหตุสมผล ข้อสองคือ ความต้องการในความสามารถที่จะรับแรง ความสามารถในการทำงาน ตลอดความคงทนเป็นต้น

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

- ต้องการกำลังอัดคอนกรีต = 240 ksc.
- ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8-10 ซม.
- มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 40 มม.
- หน่วยน้ำหนักแห้งของมวลรวมหยาบ = 1265 กก. /ม.^{3}
- มวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.8
- ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบแห้ง = 1600 กก./ม.^{3}

* อ้างอิงผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการแลปคอนกรีตภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ขั้นตอนที่ 1 : ต้องการค่ากายุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8-10 ซม.

ขั้นตอนที่ 2 : มวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 : จากตารางที่ 3.2 ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา ค่าการยุบตัวที่อยู่ระหว่าง 8-10 ซม. และมวลรวมหยาบที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด 40 มม. จะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ เท่ากับ 175 กก./ม.^{3}

ขั้นตอนที่ 4 : จากตารางที่ 3.4 ในบทที่ 3 คอนกรีตธรรมดา กำลังอัดคอนกรีต = 240 ksc. จากการ Interpolation จะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR.) = 0.636

ขั้นตอนที่ 5 : การคำนวณปริมาณซีเมนต์ที่ได้ = $\frac{\text{จำนวนน้ำที่ใช้ผสม}}{\text{ค่า WCR}}$

$$= \frac{175}{0.636} = 275.16 \text{ กก./ม.}^3$$

ขั้นตอนที่ 6 : ปริมาณมวลรวมหยาบ หาได้จากตารางที่ 3.6 ในบทที่ 3 สำหรับมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 2.8 และ มวลรวมหยาบมีขนาดโตสุด 40 มม. จะได้ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต = 0.72 ม.^{3} ดังนั้นน้ำหนักมวลแห้งเท่ากับ 0.72 x 1600 = 1152 กก.

ขั้นตอนที่ 7 : ปริมาณของมวลรวมละเอียดหรือทรายก็คำนวณได้โดย **วิธีน้ำหนัก** จากตารางที่ 3.7 น้ำหนักของคอนกรีตในหนึ่งลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีมวลรวมหยาบขนาดโตสุด 40 มม. เท่ากับ 2420 กก. สำหรับน้ำหนักวัสดุผสมอื่นๆที่หามาได้แล้วมีดังต่อไปนี้

น้ำหนัก น้ำ (สุทธิ)	175	กก.
น้ำหนัก ซีเมนต์	275	กก.
น้ำหนักมวลรวมหยาบ	1152	กก.
น้ำหนักรวม	1602	กก.

ดังนั้น น้ำหนักทรายจะหาได้จาก 2420 – 1602 = 818 กก.

วิธีปริมาตร : จากตารางที่ 3.3 ได้ปริมาณอากาศที่มีอยู่ในคอนกรีตอย่างประมาณได้ 1% ดังนั้นปริมาตรของวัสดุต่างๆจะหาได้ดังต่อไปนี้

ปริมาตรน้ำ	$= \frac{175}{1000}$	= 0.175 ม.^{3}
ปริมาตรซีเมนต์	$= \frac{275}{3.15 \, x \, 1000}$	= 0.087 ม.^{3}
ปริมาตรมวลรวมหยาบ	$= \frac{1152}{2.68 \, x \, 1000}$	= 0.430 ม.^{3}
ปริมาตรอากาศ		= 0.010 ม.^{3}
ปริมาตรวัสดุผสมทั้งหมดยกเว้นทราย		= 0.702 ม.^{3}
ปริมาตรของทรายที่ต้องการ	= 1 – 0.702	= 0.298 ม.^{3}
น้ำหนักของทรายแห้งที่ต้องการ	= 0.298 x 2.64 x 100	= 781 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการคำนวณที่ผ่านมาทั้งหมด เปรียบเทียบน้ำหนักของวัสดุต่างๆให้เห็นได้จากตารางที่ 4.1 โดยเป็นการเปรียบเทียบกันโดยวิธีน้ำหนัก และโดยวิธีปริมาตร

ตารางที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบโดยวิธีน้ำหนัก และโดยวิธีปริมาตร

วัสดุ	โดยวิธีน้ำหนัก (กก.)	โดยวิธีปริมาตร (กก.)
น้ำ (สุทธิ)	175	175
ซีเมนต์	275	275
มวลรวมหยาบ	1152	1152
ทราย (แห้ง)	818	781

ขั้นตอนที่ 8 : จากผลการทดลองปรากฏว่าค่าความชื้นรวมของมวลรวมหยาบเป็น 2% และมวลรวมละเอียดเป็น 6% ดังนั้นต้องปรับปริมาตรทั้งสองใหม่ ดังนี้

มวลรวมหยาบ (ชื้น) = 1152 x 1.02 = 1175 กก.

มวลรวมละเอียด (ชื้น) = 818 x 1.06 = 867 กก.

น้ำที่เคลือบผิวของมวลรวมหยาบจะเป็นจำนวน 2 - 0.5 = 1.5% และมวลรวมละเอียดเท่ากับ 6 - 0.7 = 5.3% และปริมาตรน้ำที่ใส่ผสมจะเปลี่ยนแปลงเท่ากับ

175 – 1152(0.0015) – 818(0.053) = 130 กก.

ดังนั้น น้ำหนักของวัสดุผสมครั้งสุดท้ายสำหรับคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร คือ

น้ำ (ที่ต้องใส่)	130	กก.
ซีเมนต์	275	กก.
มวลรวมหยาบ (ชื้น)	1175	กก.
มวลรวมละเอียด (ชื้น)	867	กก.
รวมทั้งสิ้น	2447	กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ

ในหัวข้อย่อยนี้จะกล่าวถึงความสามารถในการรับแรงอัดของวัสดุแบบ Unconfined compression test คือ เป็นการทดสอบแรงอัด โดยใส่แรงเข้าไปเพียงแกนเดียว ที่ส่วนผสมออกแบบที่กำลังอัด 240 ksc. โดยหล่อคอนกรีตเป็นรูปทรงลูกบาศก์ ขนาดกว้าง 15 ซม. ยาว 15 ซม. และความสูง 15 ซม. ตาม ASTM C 192 ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า คอนกรีต Type 1 at Recycle aggregates 0%, 25%, 50% และ 75% ที่อายุของคอนกรีต 28 วัน ได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 228.19, 210.50, 195.45 และ 227.45 ksc. ตามลาดับ โดยเหตุผลที่กำลังอัดของคอนกรีตลดลง เพราะว่า เมื่อมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ Recycle aggregates เพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง แต่เหตุผลที่กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของ RCA Type 1 at Recycle aggregate 75% มีค่าโดดขึ้นมาเป็นเพราะหลายปัจจัย เช่น ความชื้นของมวลรวม การหล่อคอนกรีตเข้าแบบ รวมถึงอุณหภูมิของน้ำบ่มคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงตลอด และในส่วนผลการทดสอบคอนกรีต Type 3 at Recycle aggregates 0%, 25%, 50% และ 75% ที่อายุของคอนกรีต 7 วัน ได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 206.91, 202.97, 194.94 และ 186.67 ksc. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ ตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

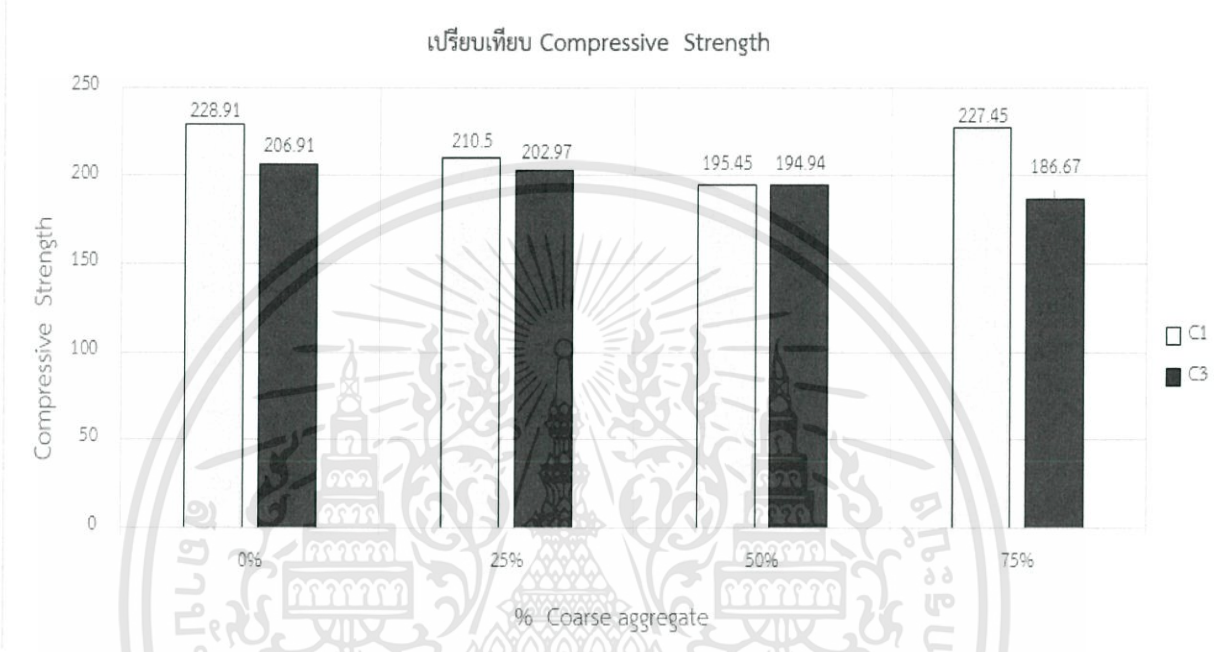
ตารางที่ 4-2 แสดงข้อมูลการทดสอบ Compressive strength of concrete type 1

Specimen No.	Wide1 (cm)	Wide2 (cm)	Area $(cm)^2$	Height (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Slump (cm)	Ultimate Load (kN)	compressive (ksc.)
Type 1 at Recycle aggregates 0%									
C1-1	15.1	15.4	231.79	15.4	8.260	28	8.4	517.11	227.42
C1-2	15.2	14.7	223.43	14.9	8.208	28	8.4	499.59	227.93
C1-3	15.4	14.8	227.77	15.1	8.299	28	8.4	519.99	232.72
C1-4	14.9	15.4	228.84	14.9	8.290	28	8.4	510.86	227.56
RCA Type 1 at Recycle aggregates 25%								Average	228.91
RCA1 25-1	15.1	15.1	228.77	15.1	8.198	28	8.7	454.56	202.55
RCA1 25-2	15.2	15.2	229.52	15.4	8.040	28	8.7	522.68	232.14
RCA1 25-3	15.7	15.0	234.42	14.8	8.114	28	8.7	493.15	214.45
RCA1 25-4	15.6	15.0	234.00	15.5	8.114	28	8.7	442.71	192.86
RCA Type 1 at Recycle aggregates 50%								Average	210.50
RCA1 50-1	14.9	14.5	215.91	15.2	7.81	28	9.1	407.56	192.42
RCA1 50-2	14.8	15.3	224.94	14.8	7.888	28	9.1	427.06	193.53
RCA1 50-3	15.2	15.2	230.89	14.9	7.970	28	9.1	468.41	206.80
RCA1 50-4	15.1	14.8	223.92	15.0	7.831	28	9.1	415.26	189.04
RCA Type 1 at Recycle aggregates 75%								Average	195.45
RCA1 75-1	15.0	14.9	223.50	15.1	7.690	28	8.3	542.64	247.49
RCA1 75-2	14.9	14.9	221.27	14.9	7.671	28	8.3	403.64	185.96
RCA1 75-3	15.2	15.1	230.12	14.9	7.758	28	8.3	520.65	230.63
RCA1 75-4	14.5	15.4	223.19	15.2	7.721	28	8.3	538.03	245.73
								Average	227.45

ตารางที่ 4-3 แสดงข้อมูลการทดสอบ Compressive strength of concrete type 3

Specimen No.	Wide1 (cm)	Wide2 (cm)	Area $(cm)^2$	Height (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Slump (cm)	Ultimate Load (kN)	compressive (ksc.)
Type 3 at Recycle aggregates 0%									
C3-1	15.1	15.3	231.79	15.3	7.999	7	8.5	442.49	194.60
C3-2	15.1	14.7	222.72	14.9	8.011	7	8.5	454.2	207.89
C3-4	15.3	14.8	226.58	15.1	8.067	7	8.5	478.38	215.22
C3-5	14.9	15.4	229.00	14.9	8.106	7	8.5	471.62	209.93
RCA Type 3 at Recycle aggregates 25%								Average	206.91
RCA3 25-1	15.2	15.3	232.407	15.5	8.199	7	8.6	481.22	211.07
RCA3 25-2	15.1	15.3	231.030	15.6	8.088	7	8.6	427.25	188.51
RCA3 25-3	14.9	15.0	223.053	15.2	8.094	7	8.6	473.81	216.53
RCA3 25-4	15.3	15.1	231.030	15.0	8.215	7	8.6	443.67	195.76
RCA Type 3 at Recycle aggregates 50%								Average	202.97
RCA3 50-1	14.8	15	222.000	15.1	7.920	7	8.6	468.92	215.32
RCA3 50-2	15.1	15.1	228.010	15.2	8.141	7	8.6	431.24	192.80
RCA3 50-3	15.3	15.3	234.090	15.2	7.906	7	8.6	439.31	191.30
RCA3 50-4	14.9	14.9	222.010	15.3	7.991	7	8.6	392.78	180.35
RCA Type 3 at Recycle aggregates 75%								Average	194.94
RCA3 75-1	15.0	15.3	229.653	15.4	7.732	7	9.4	441.09	195.79
RCA3 75-2	15.1	15.2	229.520	15.2	7.981	7	9.4	456.58	202.78
RCA3 75-3	15.3	15.4	235.620	15.3	7.855	7	9.4	389.76	168.62
RCA3 75-4	14.9	15.2	226.480	15.0	8.163	7	9.4	398.74	179.47
								Average	186.67

เมื่อนำค่าเฉลี่ยกำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต Type 1 และคอนกรีต Type 3 at Recycle aggregates 0%, 25%, 50% และ 75% มาเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่าค่ากำลังอัดสูงสุดลดลงเมื่อ % Coarse aggregates เพิ่มขึ้น โดยกำลังอัดของคอนกรีต Type 3 จะมีค่าน้อยกว่าคอนกรีต Type 1 เล็กน้อยเนื่องจากใช้ระยะเวลาการบ่มน้อยกว่า สามารถเปรียบเทียบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4-1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดสูงสุดระหว่างคอนกรีต Type 1 และ Type 3 at Recycle aggregates 0%, 25%, 50% และ 75%

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติความเป็นกรด-ด่างของวัสดุ

ในหัวข้อย่อยนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติความเป็นกรด-ด่างของวัสดุออกแบบที่กำลังอัด 240 ksc. โดยหล่อคอนกรีตเป็นรูปทรงลูกบาศก์ ขนาดกว้าง 15 ซม. ยาว 15 ซม. และความสูง 15 ซม. ตาม ASTM C 192 ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า คอนกรีต Type 1 at Recycle aggregates 0%, 25%, 50% และ 75% โดยนำตัวอย่างที่ได้ย่อยขนาดเป็นเศษคอนกรีตแล้วเป็นจำนวน 1 กิโลกรัม ใส่ในน้ำปริมาตร 2 ลิตร แช่น้ำเป็นเวลา 14 วัน ได้ค่า pH ในส่วนผลการทดสอบคอนกรีต Type 3 at Recycle aggregates 0%, 25%, 50% และ 75% โดยนำตัวอย่างที่ได้ย่อยขนาดเป็นเศษคอนกรีตแล้วเป็นจำนวน 1 กิโลกรัม ใส่ในน้ำปริมาตร 2 ลิตร แช่น้ำเป็นเวลา 14 วัน ได้ค่า pH ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5

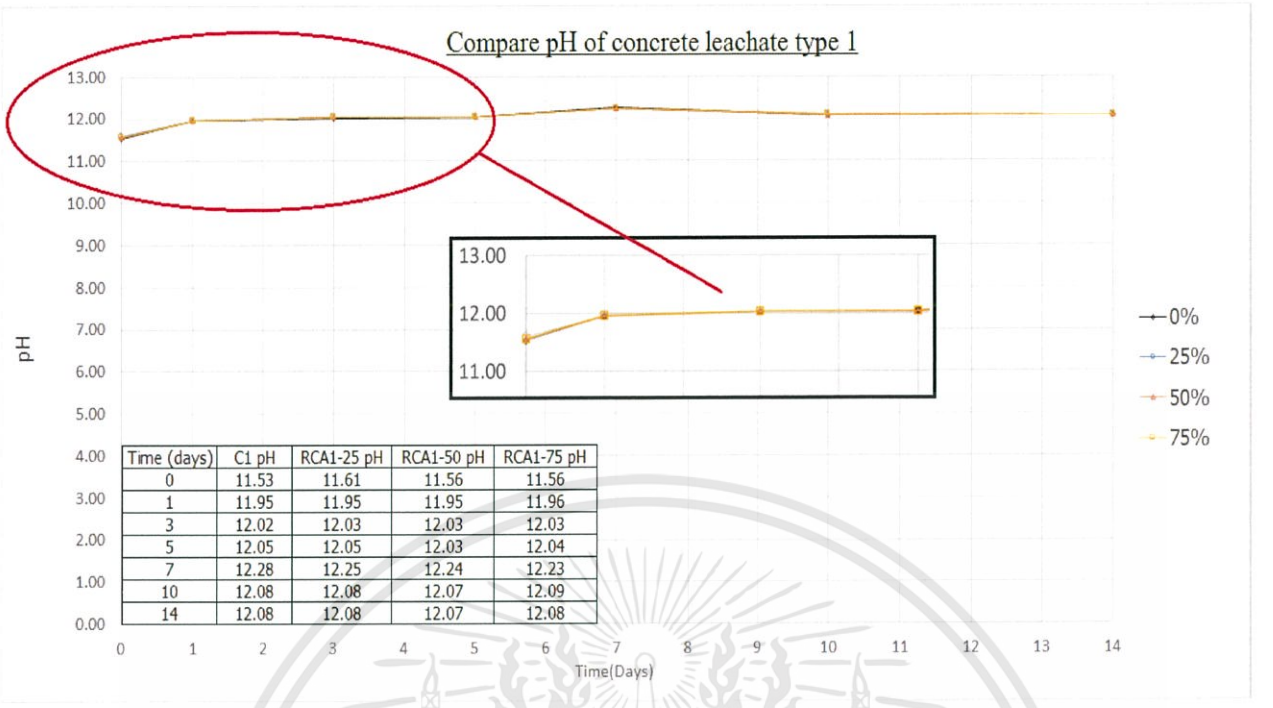
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-4 แสดงข้อมูลผลการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำชะล้างคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ตารางค่า pH ของคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1							
ตัวอย่างที่	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 14
C1-1	11.49	11.95	12.02	12.06	12.27	12.07	12.06
C1-2	11.59	11.96	12.04	12.05	12.28	12.07	12.07
C1-3	11.51	11.94	12.00	12.05	12.28	12.06	12.07
เฉลี่ย	11.53	11.95	12.02	12.05	12.28	12.07	12.07
RCA1 25-1	11.55	11.95	12.03	12.06	12.25	12.07	12.07
RCA1 25-2	11.62	11.94	12.02	12.02	12.23	12.09	12.10
RCA1 25-3	11.63	11.95	12.03	12.07	12.26	12.08	12.08
เฉลี่ย	11.60	11.95	12.03	12.05	12.25	12.08	12.08
RCA1 50-1	11.57	11.94	12.02	12.04	12.23	12.07	12.07
RCA1 50-2	11.57	11.95	12.04	12.04	12.24	12.07	12.07
RCA1 50-3	11.54	11.95	12.03	12.01	12.24	12.06	12.07
เฉลี่ย	11.56	11.95	12.03	12.03	12.24	12.07	12.07
RCA1 75-1	11.57	11.96	12.01	12.05	12.24	12.09	12.08
RCA1 75-2	11.53	11.96	12.02	12.04	12.23	12.08	12.08
RCA1 75-3	11.58	11.96	12.06	12.02	12.22	12.09	12.09
เฉลี่ย	11.56	11.96	12.03	12.04	12.23	12.09	12.08

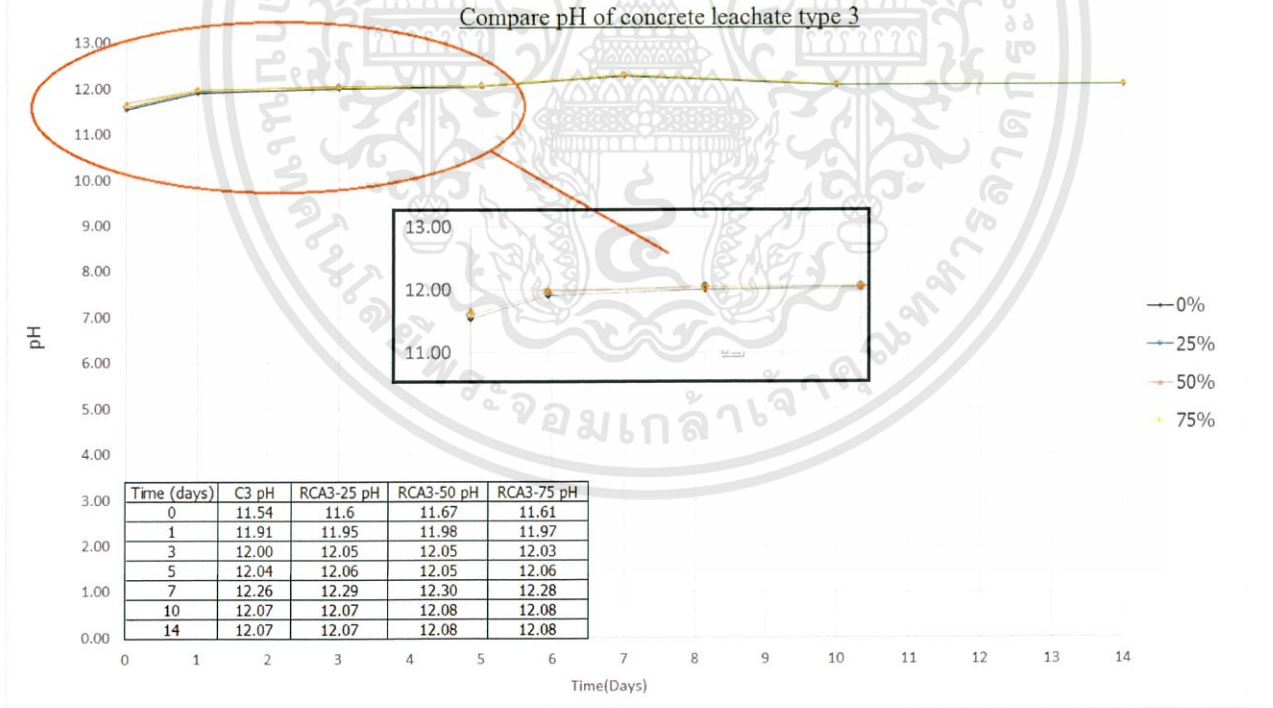
ตารางที่ 4-5 แสดงข้อมูลผลการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำชะล้างคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3

ตารางค่า pH ของคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3							
ตัวอย่างที่	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 14
C3-1	11.69	11.92	12.02	12.06	12.28	12.08	12.08
C3-2	11.60	11.97	12.03	12.08	12.27	12.08	12.08
C3-3	11.32	11.84	11.95	11.99	12.22	12.09	12.08
เฉลี่ย	11.54	11.91	12.00	12.04	12.26	12.08	12.08
RCA3 25-1	11.56	11.94	12.04	12.06	12.28	12.07	12.06
RCA3 25-2	11.64	11.99	12.07	12.06	12.29	12.07	12.08
RCA3 25-3	11.62	11.95	12.04	12.07	12.30	12.08	12.08
เฉลี่ย	11.61	11.96	12.05	12.06	12.29	12.07	12.07
RCA3 50-1	11.62	11.98	12.05	12.05	12.30	12.07	12.07
RCA3 50-2	11.69	11.98	12.04	12.06	12.29	12.08	12.08
RCA3 50-3	11.69	11.98	12.06	12.05	12.30	12.08	12.08
เฉลี่ย	11.67	11.98	12.05	12.05	12.30	12.08	12.08
RCA3 75-1	11.66	12.00	12.05	12.08	12.30	12.09	12.08
RCA3 75-2	11.66	11.97	12.03	12.06	12.29	12.08	12.08
RCA3 75-3	11.52	11.93	12.01	12.03	12.26	12.07	12.07
เฉลี่ย	11.61	11.97	12.03	12.06	12.28	12.08	12.08



Time (days)	C1 pH	RCA1-25 pH	RCA1-50 pH	RCA1-75 pH
0	11.53	11.61	11.56	11.56
1	11.95	11.95	11.95	11.96
3	12.02	12.03	12.03	12.03
5	12.05	12.05	12.03	12.04
7	12.28	12.25	12.24	12.23
10	12.08	12.08	12.07	12.09
14	12.08	12.08	12.07	12.08

รูปที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบค่า pH ของคอนกรีตประเภทที่ 1



Time (days)	C3 pH	RCA3-25 pH	RCA3-50 pH	RCA3-75 pH
0	11.54	11.6	11.67	11.61
1	11.91	11.95	11.98	11.97
3	12.00	12.05	12.05	12.03
5	12.04	12.06	12.05	12.06
7	12.26	12.29	12.30	12.28
10	12.07	12.07	12.08	12.08
14	12.07	12.07	12.08	12.08

รูปที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบค่า pH ของคอนกรีตประเภทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบความเป็นกรด-ด่างของน้ำชะล้างคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และคอนกรีตปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ที่มีน้ำหนักเศษคอนกรีตหัก 1 กิโลกรัม และแช่ในน้ำปริมาตร 2 ลิตร เป็นเวลา 14 วัน จะเห็นได้ว่าค่า pH ของวันที่ 0 จะเริ่มต้นด้วยค่า pH ประมาณ 11.6 และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สูงสุดในวันที่ 7 แล้วเริ่มคงที่ในวันที่ 10 จนถึงวันที่ 14 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายที่ทำการทดสอบ โดยค่า pH ที่ได้เท่ากับ 12.08 โดยเปอเซ็นรีไซเคิลคอนกรีตละประเภท ไม่มีผลต่อ pH ซึ่งหมายความว่ามีความเป็นด่างสูงมากแต่ ทำให้มีโอกาสเกิดผลกระทบทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อมได้หากเศษคอนกรีตหักบริเวณนั้นมีปริมาณมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ เพื่อมาศึกษาเปรียบเทียบกำลังอัดโดยทดลองกับคอนกรีตประเภทที่ 1 และประเภทที่ 3 เพื่อเปรียบเทียบกำลังอัดโดยแบ่งอัตราส่วนของคอนกรีตที่ผสมในมวลรวมหยาบเป็น 25%, 50% และ 75% โดยออกแบบกำลังรับแรงอัดไว้ที่ 240 ksc.

(1) จากการทดสอบกำลังอัดของเศษคอนกรีตประเภทที่ 1 ที่อัตราส่วนผสมเศษคอนกรีตในมวลรวมหยาบที่อัตราส่วน 25%, 50% และ 75% มีค่า กำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 210.50, 195.45 และ 227.45 ksc. ตามลำดับ และจากการทดสอบกำลังอัดของเศษคอนกรีตประเภทที่ 3 ที่อัตราส่วนผสมเศษคอนกรีตในมวลรวมหยาบที่อัตราส่วน 25%, 50% และ 75% มีค่า กำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 202.97, 194.94 และ 186.67 ksc. ตามลำดับ

(2) ค่ากำลังต้านทานหน่วยแรงอัดจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด กำลังอัดของเศษคอนกรีตประเภทที่ 1 ที่อัตราส่วนผสมเศษคอนกรีตในมวลรวมหยาบที่อัตราส่วน 25%, 50% และ 75% มีค่า กำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 210.50, 195.45 และ 227.45 ksc. ซึ่งลดลงจากที่ออกแบบไว้ที่ 240 ksc. ประมาณ 12%, 19% และ 5% ตามลำดับ เช่นเดียวกับกำลังอัดของเศษคอนกรีตประเภทที่ 3 ที่อัตราส่วนผสมเศษคอนกรีตในมวลรวมหยาบที่อัตราส่วน 25%, 50% และ 75% มีค่า กำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 202.97, 194.94 และ 186.67 ksc. ซึ่งลดลงจากที่ออกแบบไว้ที่ 240 ksc. ประมาณ 15%, 19% และ 22% ตามลำดับ เนื่องจากการนำคอนกรีตเก่ามาใช้แทนมวลรวมหยาบ(หิน)ซึ่งคอนกรีตเก่ามีความหนาแน่นน้อยกว่าหินอยู่แล้ว ทำให้เมื่อนำมาให้แทนหินในการออกแบบคอนกรีตจึงทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงจากที่ออกแบบไว้ โดยที่ยิ่งเปอร์เซ็นของคอนกรีตเก่าที่นำมาใช้แทนมวลรวมหยาบมากขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดก็จะยิ่งลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การทดสอบความเป็นกรด-ด่างของคอนกรีตประเภทที่ 1 และคอนกรีตประเภทที่ 3 โดยผสมคอนกรีตเก่าที่อัตราส่วน 0%, 25%, 50% และ 75% โดยนำตัวอย่างที่ได้ย่อยขนาดเป็นเศษคอนกรีตแล้วเป็นจำนวน 1 กิโลกรัม ใส่ในน้ำปริมาตร 2 ลิตร แช่น้ำเป็นเวลา 14 วัน ได้ค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 12.08 และค่า pH จะคงที่หลังจากแช่น้ำไว้ 1 วัน โดยจะสรุปได้ว่าค่า pH ของคอนกรีตที่เกิดจากการรีไซด์เคิลไม่ต่างจากค่า pH ของคอนกรีตทั่วไป ทั้งประเภทที่ 1 และประเภทที่ 3

5.2 ปัญหาและอุปสรรค์ในการดำเนินงาน

(1) ช่วงเวลาที่ทำการทดลองหาความชื้นในมวลรวม เป็นช่วงฤดูฝนทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลรวมได้ง่าย ทำให้มีปัญหาในการหาที่จัดเก็บ และต้องเพิ่มความระมัดระวังในเกี่ยวกับความชื้นในการทดลอง

(2) ในการทำการย่อยก้อนคอนกรีตสำหรับใช้เป็นเศษคอนกรีตในการทดลอง ไม่มีเครื่องมือที่ใช้สำหรับการย่อยโดยเฉพาะ ต้องใช้วิธีย่อยด้วยแรงงานคน ซึ่งทำได้ยากเวลาใช้เวลาในการย่อยมาก

(3) เนื่องจากการทดสอบโครงงาน ต้องการคอนกรีตประเภทที่ 1 และคอนกรีตประเภทที่ 3 ในการทดสอบ การหาซื้อคอนกรีตประเภทที่ 3 นั้นค่อนข้างยาก และต้องสั่งซื้อในจำนวนมาก ทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นตามไปด้วย

(4) เศษคอนกรีตที่นำมาใช้แทนมวลรวมหยาบที่ได้จากหิน จะมีค่าการซึมน้ำที่มากกว่าหิน ทำให้ผสมยากกว่า และจำเป็นต้องมีการทดสอบคุณสมบัติด้านการซึมน้ำ รวมถึงการหาค่าความชื้นก่อนทำการผสม และผสมอย่างมีความรอบคอบกว่าการใช้หิน

(5) การใช้แรงงานคนในการย่อยคอนกรีตทำโดยการทุบด้วยค้อน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าในการทุบคอนกรีตที่มีกำลังอัดมากกว่าจะต้องทุบแรง และทุบด้วยจำนวนครั้งมากกว่า จนบางครั้งเมื่อก้อนคอนกรีตแตกจะแตกเป็นก้อนเล็กหรือเป็นผง ทำให้ขนาดของมวลรวมหยาบที่ได้เล็กกว่าขนาดที่ต้องการ จึงต้องทุบจำนวนก้อนคอนกรีตหลายก้อนมากขึ้นเพื่อให้ได้ขนาดมวลรวมหยาบที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การนำไปใช้ประโยชน์

(1) การนำเศษคอนกรีตใช้แล้วมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบสามารถที่จะลดค่าใช้จ่ายในส่วนของมวลรวมหยาบของคอนกรีตได้ ด้วยจะการคำนวณสามารถลดค่าใช้จ่าย พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปกับมวลรวมหยาบประมาณครึ่งหนึ่ง ซึ่งต้นทุนของการใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบขึ้นอยู่กับระยะทางในการขนส่งเศษคอนกรีตด้วย

(2) สามารถช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดจากเศษคอนกรีตที่เกิดจากการรื้อถอนอาคาร และสามารถลดปัญหาต่างๆที่เกิดจากเศษคอนกรีตได้ เช่น ปัญหาสภาพแวดล้อม, ปัญหาเมื่อมีการก่อสร้างใหม่ไม่สามารถตอกเสาเข็มได้ เนื่องจากตอกเสาเข็มไปติดเศษคอนกรีตเป็นต้น

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

5.4 ข้อเสนอแนะ

(1) ในการนำเศษคอนกรีตที่ได้จากการรื้อถอนจริงนั้นจะไม่สามารถทำการตรวจสอบกำลังอัดได้เนื่องจากลักษณะชิ้นของเศษคอนกรีตจากการรื้อถอน ไม่ได้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกตามมาตรฐานเหมือนกับตอนทำการทำโครงงาน การจะทราบกำลังอัดของเศษคอนกรีตอาจทำได้โดยการเจาะตัวอย่างมาทดสอบ ก่อนที่จะทำการรื้อถอน

(2) ในการที่จะใช้งานจริง นำเศษคอนกรีตมาเป็นใช้เป็นมวลรวมหยาบแทนหินนั้น เป็นไปไม่ได้ที่ใช้การย่อยโดยวิธีการใช้แรงงานคน จึงต้องใช้วิธีใช้เครื่องจักร ดังที่กล่าวไว้ในขั้นตอนของการประมาณราคา ซึ่งวิธีการย่อยเศษหินอาจมีผลต่อคุณสมบัติของมวลรวมหยาบได้ ซึ่งอาจจะต้องทดสอบคุณสมบัติให้ เช่น การทดสอบขนาดคณะ การสอบหน่วยน้ำหนัก และอาจรวมถึงการทดสอบกำลังอัดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ในการประมาณราคา การใช้เศษคอนกรีตมาเป็นมวลรวมหยาบ เนื่องจากในบางโครงการรื้อถอนที่จะมีการก่อสร้างใหม่ทันที โดยปกติแล้วเศษคอนกรีตที่หรืออยู่จะเป็นขยะที่ก่อให้เกิดปัญหาแก่การสร้างใหม่ได้ทำให้เจ้าของโครงการทำการจ้างรถให้นำเศษคอนกรีตไปทิ้ง ซึ่งสามารถนำค่าจ้างนี้มาหักลบกับต้นทุนที่ได้จากการคำนวณในบทที่ 4 ทำให้ต้นทุนในการใช้เศษคอนกรีตถูกมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หินเป็นมวลรวมหยาบ

(4) เนื่องจากในขั้นตอนการย่อยเศษคอนกรีตอาจทำให้เกิดมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดที่ต้องการหรืออาจละเอียดเป็นผง ซึ่งในโครงการนี้ไม่ได้มีการศึกษาถึงปริมาณอัตราส่วนการเกิดผง ทำในการนำไปใช้จริงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม ถึงปริมาณการเกิดผง และคุณสมบัติของผงว่าสามารถนำไปใช้เป็นมวลรวมละเอียดได้หรือไม่ถ้าไม่ได้ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมว่าเศษผงที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และ การเสียค่าใช้จ่ายในการนำไปทิ้งเพิ่มเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ทีพีไอ คอนกรีต. 2551. **คอนกรีตเทคโนโลยี.** กรุงเทพฯ : ทีพีไอ คอนกรีต.

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

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

[4] คมสัน มาลีสี. **ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[5] Ashraf M. Wagih.,"Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete,", 2012

[6] S R Yadav.,"Use of recycled concrete aggregate in making concrete - An overview,", 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

รูปภาพที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.1 วัสดุมวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีต

รูปที่ ก.2 วัสดุมวลรวมละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.3 คอนกรีตที่ผ่านการบ่ม ทำการตากแดดเพื่อให้แรงแล้วนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัด

รูปที่ ก.4 ทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.5 เครื่องมือ และอุปกรณ์ทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง

รูปที่ ก.6 ตัวอย่างที่นำมาเพื่อทำการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้